ชตว
CBWM

เล่ม
2

นานาสาระ ชั่งตวงวัด

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures

ชตว
CBWM

นานาสาระ ชั่งตวงวัด

เล่ม 2

เรียบเรียงโดย

จรินทร สุทธนารักษ์

สาธิต ชูสุวรรณ

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

Central Bureau of Weights & Measures

คำนำ

งานด้านชั่งตวงวัดเป็นงานที่รวมความรู้จากศาสตร์หลายสาขา เกี่ยวข้องกับภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมตลอดจนชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนโดยทั่วไปภายในประเทศ อีกทั้งยังเชื่อมโยงกันทั้งในประเทศและต่างประเทศ การสะสมความรู้ แลกเปลี่ยนประสบการณ์เพื่อส่งมอบระหว่างบุคคลากรผู้เกี่ยวข้องงานด้านชั่งตวงวัดในภาครัฐและภาคเอกชนรวมถึงสถาบันการศึกษาเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นในการพัฒนาบุคคลากรของประเทศให้มีศักยภาพสูงขึ้นเพื่อรักษาผลประโยชน์ของประชาชนและประเทศ โดยเฉพาะบุคคลากรผู้ปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัด

ด้วยเหตุนี้สำนักงานกลางชั่งตวงวัดจึงได้รวบรวมเรียบเรียงเรื่องราวประสบการณ์ เกร็ดความรู้ที่ควรรู้สำหรับการปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ให้มีประสิทธิผล มีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัย จัดทำเป็นหนังสือฉบับรวมเล่มชื่อว่า “**นานาสาระชั่งตวงวัด เล่ม 2**” ถือเป็นเล่มที่ 2 แล้วเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถศึกษาค้นคว้า นอกจากนั้นยังมีความมุ่งหวังที่จะเผยแพร่ความรู้ดังกล่าวแก่ผู้ที่มีความสนใจทั่วไปด้วย

หวังว่าหนังสือเล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัดและผู้ที่เกี่ยวข้องตามสมควร

นายบุณยฤทธิ์ กัลยาณมิตร
อธิบดีกรมการค้าภายใน

คำนำผู้เรียบเรียง

หลายปีผ่านไป... ตามกาลเวลา ในระหว่างทางก็เจอปัญหาที่ต้องแก้ไข เจอคำถามที่ดีและคิดว่าน่าจะมีประโยชน์กับทุกคน เจอเนื้อหาที่เราควรรู้เพื่อประกอบการทำงาน เจอ.... และสิ่งที่เจออยู่ทุกวันคือการเปลี่ยนแปลง เราจึงต้องกระหายที่จะเรียนรู้อยู่ตลอดเวลา งานด้านชั่งตวงวัดจึงจะเจริญ เป็นที่พึ่งและรักษาปกป้องผลประโยชน์ของประชาชนในราชอาณาจักรไทยได้

เมื่อเขียนหนังสือเล่มแรก “นานาสาระชั่งตวงวัด” นั้นก็คาดหวังว่าจะมีหนังสือเล่มต่อๆ ไปในอนาคต “นานาสาระชั่งตวงวัด เล่ม 2” ผ่านมาหลายปีจึงถูกเข็นออกมาจนได้ ซึ่งเนื้อหาอาจมีสาระหนักไปบ้างแต่มันจำเป็นเพื่อเรียนรู้งานด้านชั่งตวงวัดในมุมๆหนึ่ง เช่นเดิมโดยทั่วไปเนื้อหาสาระที่เรียบเรียงมาไม่ได้มีความเชื่อมโยงหรือต่อเนื่องกันเลยเสียทีเดียว อยากจะอ่านเรื่องใดก่อนก็อ่าน ไม่ต้องเรียงบทลำดับก่อนหลัง

ต้องขอขอบคุณ..คุณปรวุฒิ วิริยะเกิดชัย ที่อดทนอ่านและช่วยตรวจแก้ไขคำผิดเพื่อทำให้หนังสือดีที่สุดเท่าที่ทำได้

งานชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ในมุมหนึ่งต้องอยู่ร่วมกับเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ฉะนั้นจำเป็นต้องยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นโดยเฉพาะในสังคมผู้มีความรู้ในปัจจุบัน ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ข้าราชการชั่งตวงวัดและผู้ที่มีความสนใจ..... สาธุ

ผู้เรียบเรียง
กระทรวงพาณิชย์
สนามบินน้ำ นนทบุรี

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		
1	เรียนรู้งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย....ผ่านทาง.... คำศัพท์ (Learning Legal Metrology Via Vocabulary of Terms in Legal Metrology)	1
2	ความสูงระดับของเหลวภายในถังสำรองฯ กับสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง	38
3	เล่าสู่กันฟัง 1	61
4	พื้นที่อันตราย (Hazardous Area)	71
5	เส้นทาง...ปัญหาและอุปสรรค มาตรวัดแบบมาตราชนิดมาตรวัดมวลคอริออริสเมื่อสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก	96
6	มาตรวัดปริมาตรของเหลว (แบบมาตรา)	181
7	เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Phase Separator or Air/Gas Eliminator)	191
8	ขอบเขตของการจุดติดไฟ (Explosive Limits)	272
9	แนวปฏิบัติการสอบเทียบแบบมาตราทางด้านปริมาตร	280
10	คำนิยามและความเป็นมาของหน่วยมวล (Definition and Realization of the Unit of Mass)	331
11	ความรู้พื้นฐานก๊าซเหลว LPG (Liquefied Petroleum Gas)	365
12	เล่าสู่กันฟัง 2	378
13	Bernoulli Equation, Continuity Equation (Conservation of Mass), Reynolds Number	394
14	การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) ด้วยถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank) สถานที่ Truck Loading	412

15	มาตรวัดมวลคอริออริสกับการไหลของเหลวภายในท่อที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ	431
16	การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing test using substitution of standard weights)	458
17	การวัดปริมาตรก๊าซ LPG ที่จ่าย ณ สถานีบริการเมื่ออุณหภูมิก๊าซ LPG และความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลง	480
18	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valve in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 1 บททั่วไป	501
19	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valves in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 2 โครงสร้างทั่วไป	515
20	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valves in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 3 ชนิดของวาล์ว	541
21	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valves in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 4 ปัจจัยที่กำหนดคุณลักษณะวาล์ว (Valve Parameters)	612
22	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valves in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 5 การกำหนดขนาดวาล์วควบคุม (Valve Sizing)	706
23	วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Control Valves in Dynamic Measuring Systems) ตอนที่ 6 Valve Actuators	743
หนังสืออ้างอิง (Bibliography)		784

เรียนรู้งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย ....ผ่านทาง....คำศัพท์ (Learning Legal Metrology Via Vocabulary of Terms in Legal Metrology)

งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) หลายคนหลายประเทศรวมทั้งภายในประเทศอาจมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนไม่ตรงกัน ดังนั้นเพื่อให้แต่ละประเทศสามารถคุยกันบนภาษาเดียวกันทั้งในระดับภายในประเทศหรือในระดับระหว่างประเทศ ทางองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML; International Organization of Legal Metrology) จึงได้ออกเอกสาร OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) เพื่อสร้างความเข้าใจในคำศัพท์ที่ใช้กับกิจกรรมของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย โดยแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ และอาจขาดความเชื่อมโยงทางความคิดหลักการทั่วไปของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายว่าสิ่งใดต้องดำเนินการ และ/หรือจัดให้มีในกิจกรรมด้านใด และควรมีเอกสารบทบัญญัติใดเพื่ออำนวยการบริหารงานชั่งตวงวัดเพื่อให้สอดคล้องและสอดรับกับความต้องการทางด้านกฎหมายของแต่ละประเทศ ในบทความนี้จึงนำความเชื่อมโยงดังกล่าวมานำเสนอ

OIML ได้ออกเอกสารชื่อ OIML V1 มาก่อนหน้าที่เรียกว่า OIML V1:2000. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ประกอบด้วย

1. Basic term in Legal Metrology จำนวน 3 คำศัพท์
2. Legal Metrology activities จำนวน 24 คำศัพท์

3. Documents and marks within Legal Metrology จำนวน 10 คำศัพท์

4. Units and measuring instruments จำนวน 7 คำศัพท์

จากนั้นได้ทำการปรับปรุงและออกเอกสารฉบับล่าสุดคือ OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ประกอบด้วย

0. Basic terms จำนวน 15 คำศัพท์

1. Metrology and its legal aspects จำนวน 6 คำศัพท์

2. Legal metrology activities จำนวน 24 คำศัพท์

3. Documents and marks within Legal Metrology จำนวน 7 คำศัพท์

4. Classification of measuring instruments จำนวน 16 คำศัพท์

5. Construction and operation of measuring instruments จำนวน 22 คำศัพท์

6. Software in legal metrology จำนวน 8 คำศัพท์

เป็นการขยายความชัดเจนของเครื่องชั่งตวงวัด (measuring instrument) แต่ที่สำคัญได้นำเรื่องละมุนภัณฑ์ (Software) ซึ่งประกอบและทำงานร่วมกับเครื่องชั่งตวงวัดหรือระบบชั่งตวงวัดเข้ามาบัญญัติให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากละมุนภัณฑ์ดังกล่าวมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของเครื่องชั่งตวงวัดโดยตรง ทั้งนี้ก็เป็นผลการปฏิวัติของตัว Integrated Circuit (I.C.) หรือที่เรียกว่าวงจรรวม เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่รวมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆประกอบเป็นวงจรหรือส่วนของวงจรที่มีขนาดเล็กไว้ในตัวเดียว ชิ้นส่วนต่างๆเหล่านี้ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ไดโอด เป็นต้น ส่งผลก่อให้เกิดคอมพิวเตอร์และเรื่องมากมายที่ชั่งตวงวัดต้องเผชิญและเตรียมคนที่จบทางด้านนี้เข้ามาช่วยทำงานกันต่อไป ถ้าเตรียมไม่ทันให้ไปถามผู้บริหารกระทรวงฯ ครับเพื่อท่านจะได้เมตตา

I กรอบความคิดและมุมมองของงานในด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Metrology and its legal aspects)

อย่างไรก็ตามถึงแม้คำศัพท์ทั้งหมดนี้ถูกบัญญัติไว้แต่ก็ยังไม่ทันสมัยและครอบคลุมงานชั่งตวงวัดในปัจจุบันที่มีการปรับตัวขยับขยายอย่างรวดเร็วพร้อมกับโลกที่หมุนเร็วขึ้น (เพราะเรามี Internet ?) และที่สำคัญคือ บริบทของสังคมแต่ละประเทศที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่สำคัญและต้องคำนึง เรามาดูรูปที่ 1 ซึ่งเป็นเรื่องกรอบความคิดและมุมมองของ**งานในด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Metrology and its legal aspects)** และในด้าน **“เอกสารและเครื่องหมายบังคับใช้”(Documents and marks within Legal Metrology)** เราให้เส้นตรงแล้วแยกย่อยออกไปจากศัพท์คำหนึ่งนั้นหมายถึงศัพท์คำนั้นมีองค์ประกอบแยกย่อยลงไป ส่วนเส้นตรงที่มีหัวลูกศรที่ปลายทั้ง 2 ข้างหมายถึงคำศัพท์นั้นๆมีความสัมพันธ์กัน ส่วนจุดไข่ปลา 3 จุดนั้นคืออื่นๆอีกมากมาย (JCGM 200: 2012E)

โดยตัวเลขนำข้างหน้าเป็นตัวเลขลำดับที่คำศัพท์ปรากฏอยู่ใน OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) หากอ่านไม่เข้าใจก็ไปเปิดอ่านเพิ่มเติม เรามาเริ่มพิจารณากันพร้อมๆกัน พร้อมทั้งโยงความคิดไปสู่หลักการและเนื้อหาสาระของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย

[1.01 Legal Metrology] : ชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย

จากคำว่า “ชั่งตวงวัด (Weight & Measure)” หรือยุคสมัยใหม่เรียก “มาตรวิทยา (Metrology)” มาจากภาษากรีก “Metron” และ “Logos” หมายถึง การศึกษาการวัด (the study of measurement) โดยสำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM) ให้นิยามว่า “**the science of measurement, embracing both experimental and theoretical determination at any level of uncertainty in any field of science and technology**” จากนิยามครอบจักรวาลนี้เองพรรคพวกก็

ตีความคลุมไปทุกอย่างที่มีอยู่ในสากลโลกขยายขอบเขตไปถึง หน่วยการวัด (Unit of Measurement), แบบมาตรา (Standards), เครื่องชั่งตวงวัด (Measuring Instrument) ตลอดจนขอบข่ายของการประยุกต์ใช้งานและทุกโจทย์ในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติที่เกี่ยวกับการชั่งตวงวัด ขอนอกเรื่องหน่อยเพื่อสร้างความเข้าใจกับบุคคลทั่วไปถือเป็นเครื่องเคียงก็แล้วกัน คือว่าหลายคนอาจสับสนว่าทำไมเราชั่งตวงวัดจึงใช้คำว่า “แบบมาตรา” ในขณะที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติใช้คำว่า “มาตรฐาน” ทั้งที่มันก็ถูกแปลมาจากคำศัพท์เดียวคือ “Standard” ทั้งนี้ก็เพราะคำว่าแบบมาตราเป็นคำไทยและถูกใช้ตาม พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ตั้งแต่รัชสมัยพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 6 นั่นเองครับ ส่วนคำว่า “มาตรฐาน” ถือเป็นคำของคนรุ่นใหม่ก็แล้วกัน แต่ผมภูมิใจในคำนี้ครับมันสะท้อนความเป็นไทยอย่างลึกซึ้งดีครับ รวมทั้งคำว่า “อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด” ซึ่งแปลมาจาก “Tolerance” หรือ “Maximum Permissible Error” เข้าเรื่องต่อดีกว่า

ด้วยเหตุนี้พอจะแบ่งขอบเขตงานชั่งตวงวัด หรือมาตรวิทยาได้หลักใหญ่ๆ เป็น 3 ด้าน แต่ก็มีหลายผู้รู้ ท่านก็อาจแบ่งขอบเขตงานย่อยลงไปอีก แต่ในที่นี้เพื่อตีกรอบความคิดและมุมมองของงานในด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายจึงขอแบ่งเพียงเท่านี้ก่อน

1. **Scientific metrology** ขอแปลว่า “มาตรวิทยาวิทยาศาสตร์” เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทั่วๆไปเกี่ยวกับการวัด โดยเป็นงานที่ต้องหาคำตอบทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติการวัดนั้นรวมไปถึงค่าผลผิดและค่าความไม่แน่นอนในการวัด (error and uncertainty) รวมทั้งการดูแลงานพื้นฐานชั้นสูงของงานชั่งตวงวัดโดยเฉพาะหน่วยการวัดเพื่อจัดตั้งและพัฒนาระบบปริมาณหน่วยวัด (Quantity System, Unit of Measurement, Unit System) เช่น 7 Base Units เป็นต้น รวมทั้งระบบการวัดใหม่ (measurement system) เพื่อพัฒนาแบบมาตราให้กับวงการอุตสาหกรรมและสังคมของประเทศทำให้ในบางครั้งจึงถูกมองว่าเป็นมาตรวิทยาพื้นฐาน (Fundamental Metrology) โลกนี้จึงมีจุดศูนย์กลางในงานด้านนี้ที่หน่วยงานที่มีชื่อย่อว่า “BIPM” นั้นเอง

2. **Industrial metrology** ขอแปลว่า “มาตรวิทยาอุตสาหกรรม” มุ่งเน้นไปกับการวัดและเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในการผลิตและการควบคุมคุณภาพ จึงเป็นเรื่องเกี่ยวกับการเลือกเครื่องชั่งตวงวัดที่เหมาะสม ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดและการบำรุงรักษาเครื่องชั่งตวงวัดในภาคอุตสาหกรรมเพื่อให้แน่ใจว่าผลผลิตจากภาคอุตสาหกรรมเป็นไปตามความต้องการของผู้ซื้อ

3. **Legal metrology** คือ งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย เป็นงานภาคปฏิบัติและขั้นตอนดำเนินการที่ถูกกำหนดไว้โดยกฎหมายและโครงสร้างทางกฎหมาย การบังคับใช้กฎหมายและระเบียบที่มีอยู่ต่องานชั่งตวงวัดของประเทศ ตั้งแต่หน่วยชั่งตวงวัดที่ใช้ ลักษณะและคุณสมบัติเครื่องชั่งตวงวัดที่ให้ใช้ วิธีการชั่งตวงวัดกับกิจกรรม เช่นเรากำหนดให้ซื้อขายข้าวสาร ข้าวเปลือก ข้าวเหนียวด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักเท่านั้นตามมาตรา 10 พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ตลอดจนระบุหน่วยงานที่รับผิดชอบบังคับใช้กฎหมาย เป็นต้น เป็นงานเพื่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศหรืออีกนัยหนึ่งคือความมั่นคงของชาติ ส่วนใครสงสัยว่ามันจะเป็นความมั่นคงของชาติแค่ไหนก็ลองนึกจินตนาการแบบสนุก (เพราะมันคงไม่จริง) ถึงการจำนำข้าวเปลือกดูครับหากบอกว่าเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกและเครื่องวัดความชื้นข้าววัดผิดไป 7% ค่าความเสียหายที่เกิดกับชาวนาจะมากแค่ไหน หากชาวนารู้เข้าว่าตัวเองโดยโกงและรัฐไม่กำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดไม่ให้ความช่วยเหลือชาวนาชาวนาจึงรวมตัวกันและตัดสินใจเดินขบวนเข้าสู่กรุงเทพเพื่อร้องหาความยุติธรรมหรือชาวนาผูกคอตายประท้วง แค่นึกก็หวาดเสียวแล้วครับ ...เลยตกใจตื่นขึ้นมา... ดังนั้นหากการชั่งตวงวัดใดไม่ถูกกำหนดไว้โดยกฎหมายเราจะไปกระทำการใดๆไม่ได้ทันที เช่น กฎหมายไม่ได้บัญญัติไว้ว่าเครื่องวัดรังสีออร่าที่เปล่งออกจากมนุษย์ต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรอง เราก็ไปตรวจสอบให้คำรับรองไม่ได้ เป็นต้น แต่ผู้รู้ผู้วิจารณ์ก็จะบอกว่าต้องตรวจซิเรามันชั่งตวงวัดนิหรือเราก็ตรวจได้โดยใช้วิธีเทียบเคียงวิธีการตรวจนั้นได้... เจออย่างนี้มึนละซิ พนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจเหนือกฎหมายหรือทำแล้วไม่ผิดกฎหมายเพราะไม่ฝ่าฝืนกฎหมาย กฎหมายไม่ได้บัญญัติว่าไม่ให้ทำ จัดไป....

ออ! ได้อ่านบางบทความพบว่าบางผู้เขียนพยายามยัดเยียดว่าเราควรเรียกตัวเองว่า “มาตรวิทยา” ไม่ควรเรียกว่า “ชั่งตวงวัด” อีกต่อไปเราก็มึนๆครับ เพราะเรามี “พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466” คนโบราณก็แปลว่า “Weights & Measures Act, B.C. 2466” และหน่วยงานซึ่งใช้ชื่อ “สำนักงานกลางชั่งตวงวัด” ตามพระราชบัญญัติดังกล่าว คนโบราณเค้าก็แปลให้ว่า “Central Bureau of Weights & Measures” อีกทั้งเราก็เป็นตัวแทนประเทศไทยในการเป็นสมาชิกสำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM) ก่อนสละความเป็นตัวแทนของประเทศไทยให้สถาบันมาตรวิทยา (NIMT) และผันตัวเองไปเป็นสมาชิกองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML; International Organization of Legal Metrology) แทน พอเวลาผ่านไป “ผู้รู้และผู้วิจารณ์” ท่านก็อยากให้เราใช้คำว่า “มาตรวิทยา” แทน “ชั่งตวงวัด” อย่างนี้ต้องกลับไปเรียนรู้ประวัติศาสตร์ก่อนครับ เพราะเราก็ยังเป็นคนธรรมดายังติดยึดกับกิเลส ตัณหา อุปาทาน...อยู่ (...สามารถอ่าน “ประวัติชั่งตวงวัดไทย” จาก www.cbwmthai.org..ครับ) สำหรับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายของโลกใบนี้จึงมีจุดศูนย์กลางของงานด้านนี้ที่หน่วยงานที่มีชื่อย่อว่า “OIML”

ขอแถมนิยามงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ของ OIML

“Legal Metrology is the entirety of the legislative, administrative and technical procedures established by, or by reference to public authorities, and implemented on their behalf in order to specify and to ensure, in a regulatory or contractual manner, the appropriate quality and credibility of measurements related to ***official controls****,* ***trade****,* ***health****,* ***safety*** *and* ***the environment****.”*

เมื่อมีความชัดเจนในแนวความคิดและขอบเขตของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย [1.01 Legal Metrology] เราก็ขยับลงมาดูเทอม **[1.02 Law on Metrology]** ซึ่งก็คือตัว พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 กฎกระทรวงฯ, ประกาศกระทรวงฯ, คำสั่งสำนักงานกลางชั่งตวงวัด, ประกาศสำนักงานกลางฯ และระเบียบต่างๆ ตามโครงสร้างทางกฎหมายของประเทศไทย เพื่อกำหนดหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบบังคับใช้กฎหมาย โครงสร้างแบบมาตรา ลักษณะและคุณสมบัติเครื่องชั่งตวงวัด อัตราเผื่อเหลือเหลือเผื่อขาด กติกาและระบบการควบคุมผู้เข้ามาเล่นในกิจกรรมชั่งตวงวัดและ ฯลฯ โดยหากเรื่องใดที่มีความสำคัญและกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมสูงอีกทั้งเป็นการป้องกันการลุแก่อำนาจของผู้ที่มีอำนาจจะเข้ามาแก้ไขตามอำเภอใจ เรื่องนั้นๆก็จะถูกบรรจุในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และกฎกระทรวงฯ จากนั้นลดลั่นกันไปตามระบบโครงสร้างทางกฎหมายของประเทศ [1.02 Law on Metrology] ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

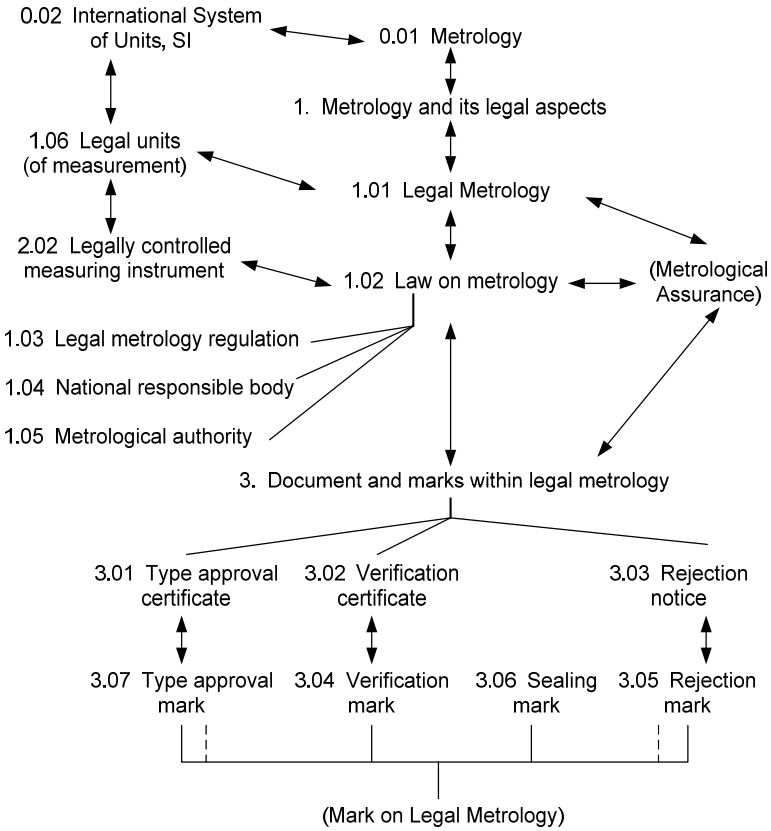
ก. **[1.03 Legal metrology regulation] : กฎระเบียบด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย** เป็นเรื่องของกฎระเบียบทางเทคนิคและเทคโนโลยีในงานชั่งตวงวัด โดยกฎระเบียบดังกล่าวนี้จะถูกจัดอยู่ในระบบโครงสร้างทางกฎหมายกลุ่มที่สามารถปรับเปลี่ยนได้คล่องตัวตามความเหมาะสมและรวดเร็วตามเทคโนโลยี (ถ้าตั้งใจทำงาน...นะ) และควรมีเนื้อหาสาระสอดคล้องกับ OIML Recommendation ทั้งนี้เพื่อให้เป็นไปตามความตกลงว่าด้วยอุปสรรคทางเทคนิคต่อการค้า (Agreement on Technical Barriers to Trade: TBT Agreement) ซึ่งเป็นความตกลงที่อยู่ภายใต้กรอบขององค์การการค้าโลกโดยประเทศไทยเป็นสมาชิกอยู่ ...อย่านึกว่าชั่งตวงวัดจะไม่เกี่ยวกับ WTO งานนี้เกี่ยวเต็มๆ เพราะเป็นเรื่องผลประโยชน์ของชาติประเทศสมาชิกเต็มๆครับและชาติสมาชิกต่างใช้สิทธิปกป้องผลประโยชน์ทางการค้า (Trade) ทั้งสินค้าและบริการอย่างเต็มที่ นอกจากนี้ [1.03 Legal metrology regulation] ควรมีขอบเขตครอบคลุมถึง

- การคุ้มครองผลประโยชน์ของรายบุคคลจนถึงหน่วยงานองค์กรต่างๆในประเทศ
- การคุ้มครองผลประโยชน์ของประเทศในระดับระหว่างประเทศ
- การคุ้มครองผลประโยชน์ทางด้านสุขภาพสาธารณะ (Public Health) ด้านความปลอดภัย (Safety) ด้านสิ่งแวดล้อม (environment) และด้านสาธารณะสุข (Medical Service)
- เป็นไปตามข้อกำหนดความต้องการทางด้านการค้าเชิงพาณิชย์

ข. [1.04 National responsible body] : หน่วยงานกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายของชาติ จัดให้มีองค์กรของชาติในการกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย อ่านเรื่องนี้แล้วมันกระแทกใจ ไม่ดีต่อใจเพราะงานด้านชั่งตวงวัดมีผลต่อประโยชน์ของประเทศโดยหลักการจึงต้องกำหนดให้เป็นหน่วยงานระดับชาติ (National Level) เพื่อทำหน้าที่รับผิดชอบในการพัฒนา และ/หรือ บังคับใช้กฎหมายชั่งตวงวัด ส่งเสริมอำนวยความสะดวกและเป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของชาติ เหมือนเช่นกับจัดให้มีการประปา การไฟฟ้า โทรศัพท์ ถนนหนทาง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเราก็เท่ครับตั้งแต่ พ.ศ. 2466 เราก็ระดับชาติตามชื่อ “สำนักงานกลางชั่งตวงวัด (Central Bureau of Weights & Measures)” ผมอ่านคำนี้ทำให้นึกถึงและเคลิ้มไปถึง FBI ; (The Federal Bureau of Investigation) ของประเทศไอ้กันทุกทีไปไม่รู้เป็นไง แต่ในปัจจุบันสำหรับประเทศไทย “สำนักงานกลางชั่งตวงวัด” ยังคงเป็นหน่วยงานระดับติ่งๆของชาติไปก่อนครับ..(ภายใต้การบริหารกระทรวงพาณิชย์ ..) เจอกันเมื่อชาติต้องการ.....

ค. [1.05 Metrology authority] : หน่วยงานทางด้านชั่งตวงวัด คำนี้อย่าไปสับสนกับคำก่อนหน้านี้ หน่วยงานนี้อาจจะเป็นหน่วยงานของรัฐหรือหน่วยงานภาคเอกชนซึ่งจะถูกออกแบบหรือมอบหมายไว้โดยกฎหมายหรือรัฐบาลให้ทำหน้าที่รับผิดชอบกิจกรรมชั่งตวงวัดเป็นเฉพาะเรื่องๆ ไป เช่นทำการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัด (Type Approval) แต่ประเทศไทยเราล้ำหน้า

กว่าครับโดยเฉพาะการตรวจสอบต้นแบบเราร่างกฎหมายขยายอำนาจขอบเขตออกไปให้รัฐบาลมีอำนาจมอบให้ทั้งหน่วยงานภายในประเทศและหน่วยงานต่างประเทศสามารถตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดได้ด้วย ?? ก็แล่วแต่ !!!



รูปที่ 1 กรอบความคิดของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Metrology and its legal aspects) และงานด้านเอกสารและเครื่องหมายบังคับใช้ในงานชั่งตวงวัด (Documents and marks within Legal Metrology)

นอกจากนี้กรอบความคิดของงานในด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Metrology and its legal aspects) แล้วยังมีความสัมพันธ์ระหว่างคำศัพท์ในเรื่องอื่นๆ อีกด้วย คือ

[1.06 Legal unit (of measurement)] : **หน่วยชั่งตวงวัด** หน่วยการชั่งตวงวัดที่ต้องถูกบัญญัติไว้โดยกฎหมาย สำหรับไทยเรานั้นมีปรากฏและกำหนดไว้โดยพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 (ฉบับเดิม) และพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 (ฉบับปัจจุบัน) ให้ใช้หน่วยการวัดระบบเมตริก (IS Unit) เท่านั้น เพราะอะไรหรือ? เพราะกระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอกรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสนาบดีกระทรวงได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) หรือ The Metre Convention (สนธิสัญญาเมตริก) ซึ่งเป็นสนธิสัญญาที่ถูกก่อตั้งด้วยความร่วมมือของ 17 ประเทศ โดยร่วมกันลงนามในสนธิสัญญาเมตริกจัดตั้งเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875) ที่ประเทศฝรั่งเศส พร้อมกับจัดตั้งหน่วยงานรองลงมาเพื่อปฏิบัติงานอีก 3 หน่วยงานได้แก่ General Conference on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศส คือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) สำหรับการประชุมใหญ่ของประเทศสมาชิก, คณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ The Comitè Internation des Poids et Mesure; CIPM) คณะกรรมการที่ถูกคัดเลือกจากประเทศสมาชิกเพื่อคอยกำกับการทำงานและทิศทางของ BIPM และสำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM) เป็นหน่วยงานขับเคลื่อนภายใต้คณะกรรมการอีกทีหนึ่ง ประเทศไทยได้เข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริกและรับเอาวิธีเมตริกมาเป็นหลักการชั่งตวงวัดของประเทศเมื่อ พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ดังนั้นผู้ใดไม่ใช้หน่วยวัดระบบเมตริกในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) แล้วไซร้โปรดทำการเลี้ยวหันหลังกลับในบัดดล

ถามว่าสำคัญหรือเปล่าในการกำหนดหน่วยชั่งตวงวัดที่ใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย คำตอบคือสำคัญมากชิครับ สำคัญในระดับชาติเลยละครับขนาดพระเจ้าแผ่นดินจีน “จิ๋นซีฮ่องเต้” ของจีนกำหนดให้เป็น 1 ในนโยบายรวมราชอาณาจักรจีนในสมัยโบราณณณณ.....กาลลลลล...ของพระองค์เช่นมีนโยบายให้ใช้ภาษาจีนและอักษรจีนชนิดเดียวกันทั่วทั้งประเทศเพื่อให้สามารถใช้กฎหมายเดียวกันทั่วทั้งประเทศ (คนอ่านออกเขียนได้ ทำให้อ่านกฎหมายรู้ ดูกฎหมายเป็น ในท้องทะเลต้องมีฉลาม ในท้องสภาต้องมีเฉลิม !) ซึ่งจะได้ผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อมอื่นๆอีกมากมายเช่น การส่งและมอบถ่ายองค์ความรู้ในสังคม ศิลปวัฒนธรรม เป็นต้น มีนโยบายให้ใช้ระบบชั่งตวงวัดเดียวกันทั่วทั้งประเทศในการค้าขายส่งผลให้ใช้ระบบเงินตราเดียวกันทั่วทั้งประเทศก่อให้เกิดระบบการบริหารการปกครองที่พ่วงตามมา เช่น ระบบการเงินการคลัง ระบบจัดเก็บภาษีอากร การจ่ายเงินเดือนทหาร ฯลฯ เป็นต้น ส่วนประเทศไทยพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 ทรงรับทราบและตระหนักถึงความวุ่นวายของชาติไทยเช่นเดียวกัน เราลองนึกและคิดตามมาครับ สมมุตภาคใต้ใช้หน่วยการวัดน้ำหนักมีหน่วยเป็นปอนด์ ภาคเหนือใช้หน่วยวัดเป็นชั่งจีน กรุงเทพใช้หน่วยวัดน้ำหนักเป็นกิโลกรัม เมื่อส่งข้าวสารจากภาคใต้มาขายกรุงเทพต้องแปลงหน่วยน้ำหนักจากปอนด์เป็นกิโลกรัมและการเทียบหรือการแปลงหน่วยชั่งจะใช้ค่าเท่าไหร่เอาทศนิยม 1 ตำแหน่ง หรือ 5 ตำแหน่ง? เอาหอมกระเทียมจากภาคเหนือชั่งเป็นหน่วยชั่งจีนแล้วส่งมาขายภาคใต้หน่วยปอนด์ก็มีปัญหาเช่นกัน ผลตามมาที่เห็นได้ชัดคือการแลกเปลี่ยนสินค้าไม่สะดวกราบรื่นหรือเกิดอุปสรรคทางการค้าชนิดหนึ่งภายในประเทศนั่นเอง เกิดการเอารัดเอาเปรียบในสังคมระหว่างผู้รู้กับผู้ไม่รู้ แปลงหน่วยผิดๆถูกๆ สังคมก็จะเริ่มสะสมปัญหา เริ่มสะสมขัดแย้งในเรื่องผลประโยชน์เพราะจ่ายเงินไปแล้วได้สินค้าที่ไม่ครบและเกิดความไม่ยุติธรรม เราควรเข้าใจด้วยว่ามนุษย์นอกจากมีความต้องการปัจจัย 4 ในการดำรงชีวิตแล้ว “ความยุติธรรม” เป็นเรื่องที่มนุษยชาติโหยหาและต้องการเสียยิ่งกว่า ลองพิจารณาดู

ประเทศไทยไม่ได้อยู่ในโลกใบนี้เพียงชาติเดียวแต่เราต้องอยู่ร่วมกับนานาประเทศ ปัญหาการค้าขายระหว่างประเทศหากใช้หน่วยชั่งตวงวัดไม่เหมือนกันก็มีปัญหาไม่ต่างจากปัญหาที่ยกตัวอย่างระหว่างภูมิภาคภายในประเทศไทย ดังนั้นเราจึงต้องเกี่ยวข้องกับหัวข้อถัดไป คือ

[0.02 International System of Units. SI] : ระบบหน่วยวัดเมตริก ในระบบหน่วยวัดเมตริก (SI Unit) นั้นจัดให้มีหน่วยวัดเพียงหน่วยเดียวสำหรับปริมาณทางฟิสิกส์ โดยมีหลักการแบ่งชั้นของหน่วยดังกล่าวเป็น 2 ชั้นคือ 7 หน่วยมูลฐาน (7 Base Units) และ Derived Units ซึ่งเป็นหน่วยที่ได้จากการคูณหารของหน่วยมูลฐานเกิดเป็นหน่วยวัดใหม่ขึ้นอีกมากมาย เช่น ค่าความหนาแน่น คือ ค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

มีผู้รู้ผู้วิจารณ์มองว่างานชั่งตวงวัดไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (ภายใต้การบริหารงานกระทรวงพาณิชย์) ได้ เช่นเกิดมีเครื่องชั่งตวงวัดสามารถวัดภายใต้หน่วย Derived Units ซึ่งมีอยู่หลายสิบค่า ถามว่าเราสามารถออกกฎหมายบังคับไปเลยได้หรือไม่ ตอบว่าได้ครับ แต่ผลที่ตามมามีมากมายถามว่าใครจัดให้มีและถ่ายทอดแบบมาตรา แบบมาตราสามารถเชื่อมโยงและถ่ายทอดไปยังแบบมาตราที่เก็บรักษาไว้ที่สถาบันมาตรวิทยา หรือ BIPM ได้หรือไม่ การจัดทำโครงสร้างแบบมาตราสำหรับหน่วยวัดใหม่ต้องใช้คนจากหลายสาขา (แต่ต้องฉลาดด้วย) ต้องใช้งบประมาณเท่าไร กำลังคน (Man hours) การอบรมบุคคลากรเพื่อให้บังคับใช้กฎหมายได้อย่างเท่าเทียมกัน ระยะเวลาดำเนินการเพื่อให้สอดคล้องและสอดรับกับสภาวะบริบทสังคมคนไทยอย่างไร สังคมต้องการเวลาปรับตัวมากน้อยเพียงใด ขีดความสามารถของเทคโนโลยีของเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ เสถียรและราคาสมควรแก่เหตุหรือไม่ มีผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดทั้งจากภายในและภายนอกประเทศเพียงพอหรือไม่และประชาชนเข้าถึงเครื่องชั่งตวงวัดได้ง่ายสะดวกรวดเร็วเพียงพอหรือไม่? และ ฯลฯ....คงใช้นิ้วชี้ 1 นิ้วกับ 1 ลิ้นไม่ได้หรอกครับ.....เพราะการเพิ่มหน่วยชั่งตวงวัด 1 หน่วยในการเพิ่มการกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายต้องใช้งบประมาณ กำลังคน ระยะเวลา บริบท

ของสังคมและการจัดการที่ยาวนานพอสมควรทีเดียว ผมเฝ้าสังเกตเฉพาะเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกหน่วยวัดเป็นสัดส่วนของหน่วยวัดเมตริก คือ กรัม/กรัม (ในเทอมค่าความชื้นในข้าวเปลือก) ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 10 ปี ก็ยังต้องปรับปรุงต่อเลยโดยเฉพาะค่าความชื้น 35% มันทำแบบมาตราข้าวเปลือกไม่ได้แต่กฎหมายยังบัญญัติอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไว้แบบไม่มีเพดานค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น..มึนครับ

สำหรับหน่วยงานหลักระดับโลกที่ดูแลเรื่อง [0.02 International System of Units. SI] นี้ก็คือ สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM) โดยมีหน่วยงานระดับประเทศ (ระดับประเทศจริงๆ) ที่ดูแลเรื่องนี้คือ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) ขอเสริมข่าวลือเล็กๆ ว่าตอนแรกได้ยินมาว่าสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติจะใช้อักษรย่อภาษาอังกฤษว่า “NIM” แต่ดันไปซ้ำกับชื่อย่อของหน่วยงานมาตรวิทยาของประเทศจีนเข้าให้เลยต้องหลบเป็น “NIMT” ส่วนจะเท็จจริงประการใดขอให้ผู้อ่านสอบถามอีกทีฟังหูไว้หูนะครับท่าน

[2.02 Legally controlled measuring instrument] : เครื่องชั่งตวงวัดภายใต้การกำกับของกฎหมาย เรื่องการกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายให้ถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือตลอดเวลาใช้งาน ก่อเกิดธรรมระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าว มีการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องชั่งตวงวัดอย่างถูกต้องถูกวิธี และ ฯลฯ ดังนั้นงานนี้จึงเป็นหัวใจและปลายทางที่ผู้ทำงานอย่างเรามุ่งหวังอีกทั้งถือเป็นภารกิจหลักที่สำคัญยิ่งยวดงานหนึ่งของชั่งตวงวัดในการที่จะรักษาผลประโยชน์ของคนไทย

สำหรับหน่วยงานหลักระดับโลกที่ดูแลเรื่องนี้คือ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML; International Organization of Legal Metrology) หน่วยงานระดับประเทศ (ระดับประเทศปลอมๆ คือมีความสำคัญแค่ในระดับ “กอง”) ที่ดูแลเรื่องนี้คือ สำนักงานกลางชั่งตวงวัด (CBWM) ภายใต้กระทรวงพาณิชย์งับครับ

II กรอบความคิดด้านเอกสาร และเครื่องหมายบังคับใช้ในงานชั่งตวงวัด (Documents and marks within Legal Metrology)

ปรากฏนิยามของคำศัพท์โดย OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ในหัวข้อที่ 3 ถือเป็นการวางจังหวะทางความคิดของการกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดตลอดช่วงอายุขัยของเครื่องชั่งตวงวัดที่มีใช้งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายภายในประเทศ ดังนั้นเพื่อให้สามารถมุ่งสู่จุดหมายเดียวกันคือ **“เครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือตลอดเวลาใช้งานก่อเกิดธรรมะระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าว มีการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องชั่งตวงวัดอย่างถูกต้องถูกวิธี”** เรามาดูการเรียงลำดับวงจรชีวิตเครื่องชั่งตวงวัดซึ่งเหมือนกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ถูกผลิตในภาคอุตสาหกรรมทั่วๆไปเพียงแต่เป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคงของประเทศ (ดูรูปที่ 1 และรูปที่ 2) ประกอบด้วย

ก. การออกแบบเครื่องชั่งตวงวัด (Design) ต้องออกแบบให้มีการทำงานที่ให้ผลการวัดที่ถูกต้องเที่ยงตรง ต้องมีความน่าเชื่อถือ ไม่ฉ้อโกงได้ง่าย และเป็นไปตามมาตรฐานอ้างอิง คือ OIML Recommendations

ข. ผลิตต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัด (Measuring Instrument Prototype) ตามที่ได้ออกแบบไป

ค. [3.01 Type approval certificate] : ใบรับรองการตรวจสอบต้นแบบ การส่งต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดไปตรวจสอบหรือที่เรียกว่าตรวจสอบต้นแบบ (Type Approval หรือ Pattern Approval) หน่วยงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดต้องเป็นหน่วยงานกลางหรือหน่วยงานของรัฐเพื่อป้องกันผลประโยชน์ทับซ้อนเนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดเป็นเรื่องของคนที่มีจิตใจสูงต้องมีสามัญสำนึกรับผิดชอบต่อสาธารณเพราะเป็นผลประโยชน์ของสาธารณะส่วนรวม หากผลการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวผ่านตามที่กำหนด

เจ้าของต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดสามารถนำไปผลิตเป็นจำนวนมากต่อไปหรือที่เรียกว่า “Mass Production”

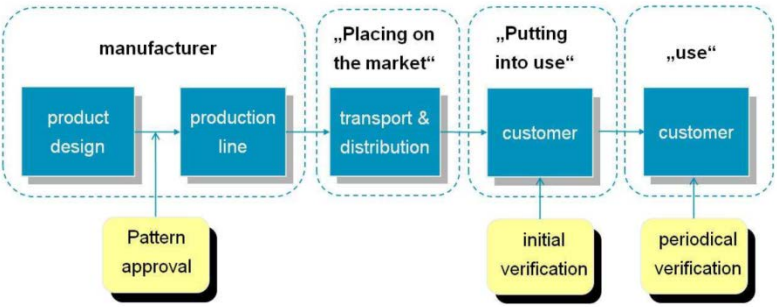
Type (pattern) approval certificate ถือเป็นเอกสารการรับรองเครื่องชั่งตวงวัดนั้นว่าได้ผ่านการทดสอบตามขบวนการและขั้นตอนทางวิศวกรรมเพื่อแสดงว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวได้รับการออกแบบและให้ผลการวัดถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมค่าหนึ่ง หรือภายใต้การใช้งานปกติตามที่ออกแบบไว้และเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายนั้นเอง ส่วนขบวนการและขั้นตอนทดสอบเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวจะเป็นอย่างไรและได้รับความไว้วางใจหรือน่าเชื่อถือเพียงไร ก็ต้องมีกลุ่มผู้รู้มากำหนดแนวทางและขั้นตอนทดสอบที่เป็นกลางและครบสมบูรณ์ในทุกด้านเพื่อให้แน่ใจ ดังนั้นไม่ใช่ใครก็อยากจะทดสอบได้

[3.07 Type approval mark] : เครื่องหมายการตรวจสอบต้นแบบ เป็นสัญลักษณ์ที่ประทับหรือมอบให้ต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดที่ผ่านการตรวจสอบต้นแบบ เจ้าของต้นแบบสามารถนำเครื่องหมาย (Type Approval Mark) และเอกสารรับรอง (Type Approval Certificate) ที่ได้รับเพื่อไปเพิ่มมูลค่าสินค้าตนเองในการตลาดได้ ทำให้มีการแข่งขันเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและให้เครื่องชั่งตวงวัดของตัวเองมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ สังคมก็จะมีนวัตกรรมที่ดีขึ้นมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาชีวิตของผู้ประกอบธุรกิจ ผู้ทำงานวิจัย ผู้ทดสอบ ฯลฯ และที่สำคัญที่สุดเพื่อคนไทยจะมีเครื่องชั่งตวงวัดที่มีคุณภาพสูงขึ้นน่าเชื่อถือมากขึ้น ไม่ใช่เครื่องชั่งตวงวัดถูกต้องแบบแดดเดียว (เจอแดดที่ 2 มันเดี้ยงในทันใด..)

ง. เพื่อให้แน่ใจว่าในขั้นตอนการผลิตได้ผลิตตามต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดที่ได้รับการอนุมัติไปแล้ว การเข้าไปสุ่มตรวจระหว่างการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งในรูปที่ 2 ไม่มีกิจกรรมดังกล่าว

จ. **[3.02 Verification certificate] : ใบรับรองการตรวจสอบให้คำรับรอง** การตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) เมื่อผลิตเครื่องชั่งตวงวัดแล้วเสร็จก็ต้องส่งไปตรวจสอบให้ได้คำรับรองก่อนนำเครื่องชั่งตวงวัดไปใช้จริงโดยขั้นตอนการตรวจสอบให้คำรับรองนั้นหน่วยงานที่ทำการตรวจสอบต้นแบบเครื่อง

ชั่งตวงวัดดังกล่าวควรหรือต้องย่อยรายการที่ต้องตรวจสอบและเสริมขั้นตอนการตรวจสอบให้คำรับรองให้กับหน่วยงานที่ทำการตรวจสอบให้คำรับรอง ทั้งนี้เพราะหน่วยงานตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดโดยปกติแล้วจะเป็นหน่วยงานที่มีความรู้ความสามารถในเชิงลึกไม่แพ้ผู้ผลิตเพื่อสามารถไล่ตามกันทันและควรรู้ว่าขั้นตอนการตรวจใดควรดำเนินการและขั้นตอนใดสามารถละเว้นไปได้ เพราะอะไรหรือครับเพราะหากเราให้คะแนนความเข้มข้นของกิจกรรมการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดเท่ากับ 10 กิจกรรมการตรวจสอบให้คำรับรองจะมีคะแนนความยากง่ายอยู่ที่ประมาณ 2-3 เองครับ ในประเทศที่เจริญแล้วหน่วยงานมาตรวิทยาของประเทศนั้นๆหรือหน่วยงานภาคเอกชนที่ได้รับการตรวจประเมินขีดความสามารถแล้วทำหน้าที่ตรวจสอบต้นแบบและให้งานตรวจสอบให้คำรับรองเป็นงานของชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายแบบเราๆ นี้แหละครับถือว่าเป็นการตรวจสอบถ่วงดุลกันและเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรด้านมนุษย์ของชาติให้คุ้มค่าจ้าง เพราะจะให้ชั่งตวงวัดเราจ้างคนจบ Ph.D. มานั่งทำงานตรวจเครื่องชั่งสปริงก็ประหลาดไป เอาแค่นักเรียนทุนรัฐบาลจบปริญญาโทหรือนักเรียนทุนรัฐบาลญี่ปุ่นมาตรวจรับรองเครื่องชั่งสปริงก็พอ เดียวมันก็ลาออกไปเองอ่ะ555....เศร้าใจ....ก.พ. คุณได้ยินเสียงนี้หรือไม่ครับ?



รูปที่ 2 วงจรชีวิตเครื่องชั่งตวงวัดและการกำกับดูแลในสหพันธ์ธารณรัฐเยอรมันที่ PTB บอกว่า The “***Old Approach***” in Germany until 31 Dec 2014

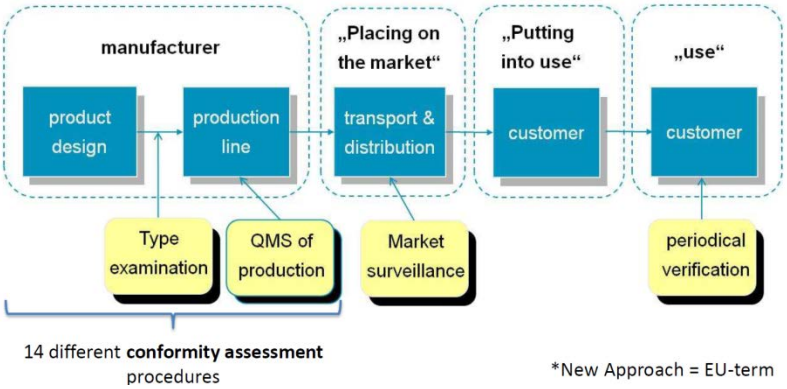
[3.04 Verification mark] : เครื่องหมายการให้คำรับรอง

เครื่องหมายคำรับรองเป็นสัญลักษณ์ที่ประทับบนเครื่องชั่งตวงวัดที่ผ่านการตรวจสอบให้คำรับรองเพื่อบ่งบอกว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นไปและครบถ้วนตามข้อกำหนดของกฎหมาย เราจึงเรียกว่า “งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย” ว่างั้นเถอะ หากกฎหมายไม่บัญญัติเราก็ทำอะไรไม่ได้ครับ ตามตัวซื่อๆ จะให้เรียก “ชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมาย” หรือ “มาตรวิทยา” มันต้องแปลแล้วแปลอีก แต่อย่างไรก็แล้วแต่..... นอกจากนี้เครื่องหมายคำรับรอง (Verification Mark) อาจมีองค์ประกอบหรือข้อมูลบ่งบอกถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบในการตรวจสอบให้คำรับรอง และ/หรือ วันเดือนปีที่ตรวจสอบฯ รวมทั้งวันหมดอายุคำรับรองก็สามารถกระทำได้ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการบริหารงานชั่งตวงวัดของแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทยเครื่องหมายคำรับรองที่ประทับจะเป็นรูปขอบนอกตราครุฑ ส่วนข้อมูลหน่วยงานที่รับผิดชอบในการตรวจสอบให้คำรับรอง และ/หรือ วันเดือนปีที่ตรวจสอบฯ รวมทั้งวันหมดอายุคำรับรองจัดทำเป็นสติ๊กเกอร์ติดแสดงไว้บนเครื่องชั่งตวงวัดในบริเวณที่เห็นได้ชัดเจน เป็นต้น

มีเรื่องเล่าเกร็ดประวัติศาสตร์ให้ทราบบ้างเล็กน้อยเกี่ยวกับเครื่องหมายตรวจสอบให้คำรับรองว่าเดิมทีในตอนร่างกฎกระทรวงฯ กำหนดเครื่องหมายคำรับรองคณะทำงานร่างฯ บางท่านมีข้อกังวลว่าเราจะยังคงสามารถใช้รูปตราครุฑทำเป็นเครื่องหมายคำรับรองได้หรือไม่ จึงทำการสอบถามไปยังสำนักงานกฤษฎีกาท่านให้คำตอบว่าหากกฎกระทรวงหรือกฎหมายเดิมมีการใช้ตราครุฑเป็นเครื่องหมายคำรับรองอยู่แล้ว การร่างกฎกระทรวงใหม่สามารถใช้ตราครุฑเป็นเครื่องหมายคำรับรองได้ต่อไป ปรากฏว่าเข้าทางชั่งตวงวัดเพราะพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 และกฎกระทรวงที่ออกภายใต้พระราชบัญญัติฯ ดังกล่าวเราได้ใช้ตราครุฑเป็นเครื่องหมายตรวจสอบให้คำรับรองอยู่แล้ว ดังนั้นเราชั่งตวงวัดจึงสามารถใช้ตราครุฑได้ต่อไปแม้เปลี่ยนเป็นพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 แล้วก็ตาม....

ภายใต้ข้อกำหนดของกฎหมายเครื่องหมายคำรับรองของเราชั่งตวงวัดมี 3 ชนิด คือ ชนิดตราตอกประทับ ชนิดคีมบีบประทับ และชนิดแถบผนึก การเลือกใช้ก็ดูตามความเหมาะสมและหลักการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดแต่ละชนิดๆ ไป

[3.06 Sealing mark] : เครื่องหมายการซีล เป็นเครื่องหมายที่เราประทับหรือร้อยลวดผูกซีล บนเครื่องชั่งตวงวัดเพื่อป้องกันการดัดแปลง ปรับแต่งใหม่ เปลี่ยนแปลงหรือถอดชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนหรือการกระทำใดๆ ที่มีผลต่อความเที่ยงเครื่องชั่งตวงวัดโดยผู้ไม่มีอำนาจตามที่บัญญัติไว้โดยกฎหมาย คำศัพท์คำนี้จึงค่อนข้างใช้งานผสมร่วมกันระหว่าง Verification Mark และ Sealing Mark สำหรับการปฏิบัติงานชั่งตวงวัดเรา ซึ่งบางครั้งก็แยกกันไม่ออกเพราะเราปฏิบัติไปพร้อมกันทั้ง 2 อย่างในคราวเดียวกัน เช่น ร้อยลวดผูกซีลแล้วบีบตราครุฑบนซีลตะกั่ว เป็นต้น



รูปที่ 3 วงจรชีวิตเครื่องชั่งตวงวัดและการกำกับดูแลในสหพันธ์ธารณรัฐเยอรมันที่ PTB บอกว่า The “***New Approach***” in Germany from 2015 on

ฉ. การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน หรือที่เรียกว่า “Inspection” หรือ “In Service” หรือ “Market surveillance” ภายหลังจากเครื่องชั่งตวงวัดออกสู่สาธารณแล้วและถูกนำไปใช้ชั่ง ตวง หรือวัด หน่วยงานของรัฐคือพวกเราชั่งตวงวัดจึงต้องออกไปสำรวจตรวจสอบว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวยังคงมีเครื่องหมายประทับให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดอยู่หรือไม่ เพราะโดยปกติเครื่องหมายดังกล่าวจะอยู่ในตำแหน่งป้องกันการดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไข ดูว่าผู้ครอบครองเครื่องชั่งตวงวัดไม่ทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแต่บางที “ผู้ไม่ครอบครองเครื่องชั่งตวงวัด” ก็ทำการแก้ไขดัดแปลงก็ได้ (คือไปแกล้งเค้า) ทำการตรวจสอบอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเครื่องชั่งตวงวัดอยู่ในขอบเขตตามข้อกำหนดของกฎหมายหรือไม่ เป็นต้น

งานนี้ไม่มีคำศัพท์ “Inspection Mark” และประเทศไทยเราไม่มี Inspection Mark เช่นกันแต่เรามีสติ๊กเกอร์แทนโดยจะทำการติดสติ๊กเกอร์เมื่อตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดที่กำลังใช้งานอยู่นั้นยังคงสภาพใช้งานปกติและมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตามที่กฎหมายบัญญัติไว้

ช. การห้ามใช้ การยึด อายัดเครื่องชั่งตวงวัด ในกรณีตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดแล้วผลปรากฏว่าไม่ผ่านการตรวจสอบตามข้อกำหนดของกฎหมายและหากกฎหมายยินยอมให้นำเครื่องกลับไปแก้ไขปรับปรุงแล้วนำกลับมาตรวจสอบให้คำรับรองแต่ยังคงตรวจสอบไม่ผ่าน หรือในกรณีเครื่องชั่งตวงวัดที่เราได้ออกไปสำรวจตรวจสอบระหว่างการใช้งานแล้วมีสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งอาจจะเกิดจากการดัดแปลง หรือปรับแต่ง หรือมีสภาพไม่เหมาะแก่การใช้งานอีกต่อไป หรือมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเกินที่กำหนดไว้ในกฎหมายจากอายุการใช้งานหรือดัดแปลง หรือฯลฯ การดำเนินการก็จะขึ้นอยู่กับกรรมหรือการกระทำนั้นๆว่ามีเจตนาหรือไม่อย่างไร จากนั้นพนักงานเจ้าหน้าที่จะทำเครื่องหมายแสดงการห้ามใช้ ยึด หรืออายัดเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ ตามแต่กรณีไป

[3.03 Rejection notice] : บัตรห้ามใช้ เป็นเอกสารเพื่อยืนยันว่าเครื่องชั่งตวงวัดนั้นมีคุณลักษณะและคุณสมบัติไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งสำหรับเราแล้วคือ “การผูกบัตรห้ามใช้”

[3.05 Rejection mark] : เครื่องหมายห้ามใช้ เครื่องหมายที่ประทับบนเครื่องชั่งตวงวัดเพื่อบ่งบอกว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวมีคุณลักษณะและคุณสมบัติไม่เป็นไปตามที่กฎหมายบัญญัติไว้รวมทั้งลบล้างเครื่องหมายคำรับรอง (Verification mark) เดิมที่ให้ไว้สิ้นสุดผลการรับรองลงทันทีเพื่อแสดงว่าคำรับรองเดิมใช้ไม่ได้ สำหรับประเทศไทยเราก็คือการทำ “กากบาท” ที่ชัดเจนและลบเลือนได้ยากทับบนเครื่องหมายคำรับรองเดิมของเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ

ซ. การตรวจสอบให้คำรับรองชั้นหลัง (Reverification) ในกรณีเครื่องชั่งตวงวัดที่กฎหมายกำหนดให้มีอายุคำรับรองเมื่อถึงระยะสิ้นสุดคำรับรองที่ระบุไว้ในกฎหมาย และ/หรือในกรณีเครื่องชั่งตวงวัดที่กฎหมายยอมให้ทำการซ่อมแซมแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้เครื่องชั่งตวงวัดกลับคืนสภาพให้ใช้งานได้ตามหลักวิศวกรรม แล้วดังนั้นภายหลังการปรับปรุงซ่อมแซมเครื่องชั่งตวงวัดแล้วเสร็จเครื่องชั่งตวงวัดในกรณีที่ยกตัวอย่างมานั้นต้องถูกตรวจสอบให้คำรับรองใหม่อีกครั้งก่อนนำไปใช้ต่อสาธารณต่อไปและหากผลการตรวจสอบให้คำรับรองเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายให้ประทับเครื่องหมายคำรับรอง (Verification Mark) จึงสามารถนำออกไปใช้งานได้ต่อไป

เราจะเห็นว่าถึงแม้จะเป็นคำศัพท์ที่กล่าวถึงกรอบความคิดด้านเอกสารและเครื่องหมายบังคับใช้ในงานชั่งตวงวัด (Documents and marks within Legal Metrology) แต่กว่าจะถึงขั้นตอนสุดท้ายของกรอบความคิดดังกล่าวนี้มันมีงานอีกมากมายที่ต้องทำงานอย่างหนัก อย่างเป็นระบบสอดคล้องและสอดรับในทุกระดับ รวมทั้งต้องทุ่มเทอย่างยิ่งยวด พูดภาษาแบบผมก็คือ เหนื่อยครับ.... ถ้าทนเหนื่อยได้งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายก็เจริญ รักษาผลประโยชน์ของประชาชน และประเทศไทย แต่ชีวิตจริงๆคนจริงๆถ้าทนไม่ได้หรือทนเหนื่อยได้น้อย มันก็.....

III กรอบความคิดงานกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology Activities)

เช่นเคยคำศัพท์ในหมวดนี้จะนิยามในลักษณะรูปแบบของแต่ละกิจกรรมกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายแต่ขอบอกว่าเบื้องหลังการถ่ายทำเพื่อให้เราเห็น 30 วินาทีนี้ (สมมุติเอา) ต้องทำงานทำการเป็นปี (โอเวอร์.. เล็กๆน้อยๆ เพื่อความมัน) เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจให้ดูรูปที่ 4 ควบคู่กับการอ่านไปด้วยเมื่อพบว่าเริ่มสับสน เมื่อเรียงลำดับหัวข้อสับสน

[2.01 Legal metrological control] : การกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย เป็นคำศัพท์ที่มีความหมายครอบคลุมกิจกรรมการกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายในกิจกรรมหลักๆ แต่ถือเป็นแกนงานหลัก เพื่อให้ไปสู่จุดมุ่งหมายเจตนารมณ์ของกฎหมายชั่งตวงวัดของแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทยก็คือ พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 นั้นเอง กิจกรรมหลักที่สำคัญพอแบ่งออกได้ 3 กิจกรรม

1. [2.02 Legal control of measuring instruments] : การกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัด เป็นคำศัพท์ที่มีความหมายครอบคลุมการดำเนินการทางด้านข้อกำหนดของกฎหมายใดๆก็ตามของเครื่องชั่งตวงวัดที่ต้องได้รับการปฏิบัติและกำกับดูแล ที่สำคัญ หลักๆคือ

1.1. [2.04 Type (pattern) evaluation] : การประเมินต้นแบบ ขั้นตอนการประเมินผลความสอดคล้อง หรือขั้นตอนการรับรอง (Conformity Assessment) เครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ มีคุณสมบัติครบถ้วนและเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดไว้จากนั้นรายงานผลการประเมินออกมาในรูปของ Evaluation report และ/หรือ Evaluation certificate โดย OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ได้บ่งบอกว่าคำว่า “Pattern” นั้นมีความหมายเดียวกันกับ “Type” แต่ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายเราจะเลือกใช้คำว่า “Pattern” อย่างไรก็ตามภาษามันก็

รูปที่ 4 กรอบความคิดงานกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology Activities)

ดิ้นไปมาเอาเป็นว่าเราเจอใบรายงานผลการรับรองว่า “Type Evaluation” หรือ “Pattern Evaluation” ก็แสดงว่ามันคือๆกัน แต่จะมีความหมายที่แตกต่างกับ “Pattern Approval” เรามาดูกันต่อไป

[2.05 Type Approval หรือ Pattern Approval] : การตรวจสอบต้นแบบ คือรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบของเครื่องชั่งตวงวัดซึ่งจะมีความหมายบ่งบอกถึงการตัดสินใจให้ผ่านหรือไม่ผ่านบนเกณฑ์การตัดสินที่กฎหมายกำหนดไว้และจึงใช้คำนี้เฉพาะกับงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายอย่างไรก็ตามหากใบรายงานผลการรับรองเครื่องชั่งตวงวัดเป็น “Type Evaluation” หรือ “Pattern Evaluation” แต่มีข้อมูลครบถ้วนและเป็นไปตามที่กำหนดของกฎหมายก็สามารถยอมรับได้ กิจกรรมของ Type Approval หรือ Pattern Approval ยังอาจเป็น

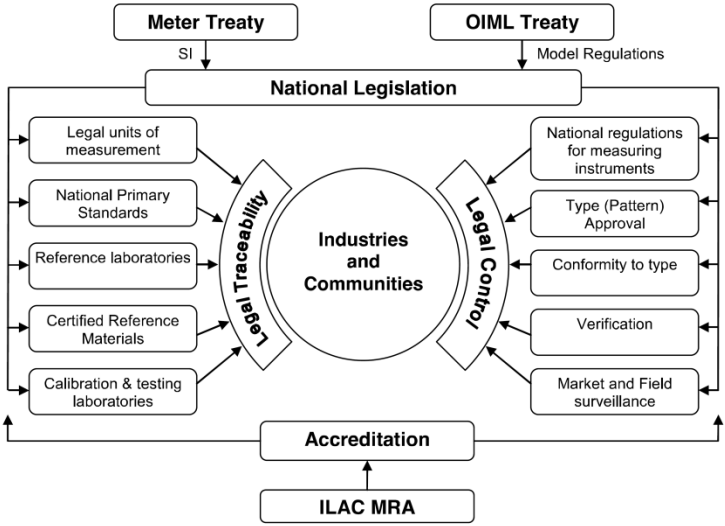
ก. **[2.06 Type approval with limited effect] : การตรวจสอบต้นแบบภายใต้เงื่อนไขจำกัดของการตรวจสอบ** หน่วยงานที่น่าเชื่อถือและมีขีดความสามารถเมื่อทำการทดสอบและตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายไปแล้วจากนั้นรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบของเครื่องชั่งตวงวัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขจำกัดโดยหากกระทำการใดๆที่ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้อจำกัดที่ระบุไว้ในรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบแล้วรายงานฉบับดังกล่าวจะถือว่าเป็นโมฆะไปทันที ตัวอย่างเงื่อนไขข้อจำกัด เช่น อายุการรับรองผลไว้ระยะหนึ่งเมื่อเกินระยะอายุการรับรองการตรวจสอบต้นแบบ รายงานผลการตรวจสอบต้นแบบจะถือว่าสิ้นสุดลงอัตโนมัติ หรือในกรณีที่ระบุจำนวนชิ้นส่วนที่ครอบคลุมเฉพาะการรับรองหากนำเครื่องชั่งตวงวัดไปใช้กับอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่ไม่ได้ระบุการรับรองการตรวจสอบต้นแบบจะถือว่าสิ้นสุดลงอัตโนมัติ หรือหากในรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบระบุหน่วยงานเฉพาะที่มีขีดความสามารถในการติดตั้งเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆก่อนใช้งาน แต่เจ้าของเครื่องชั่งตวงวัดให้หน่วยงานอื่นที่ไม่ได้ระบุในรายงานดังกล่าวการรับรองการตรวจสอบต้นแบบจะถือว่าสิ้นสุดลงอัตโนมัติ หรือแม้แต่การระบุวิธีการใช้เครื่องชั่งตวงวัดหากมีการใช้เครื่องชั่งตวงวัด

ต่างจากที่ระบุในการรับรองการตรวจสอบต้นแบบจะถือว่าสิ้นสุดลงอัตโนมัติทั้งนี้เพราะจะให้ผลการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆคลาดเคลื่อนหรืออาจเป็นสาเหตุอื่นๆสุดจะคาดเดาต้องดูเป็นเรื่องๆไป เป็นต้น

ข. **[2.08 Withdrawal of type approval] : การยกเลิกรับรองการตรวจสอบต้นแบบ** เป็นการตัดสินใจบนเกณฑ์การตัดสินที่กฎหมายกำหนดไว้ถึงเงื่อนไขการยกเลิก Type Approval หรือ Pattern Approval หรือรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบของเครื่องชั่งตวงวัด ตัวอย่างของสาเหตุการถอดถอนรายงานผลการตรวจสอบต้นแบบของเครื่องชั่งตวงวัด เช่น มีการเปลี่ยนรุ่น (Type หรือ Pattern) เครื่องชั่งตวงวัด, เครื่องชั่งตวงวัดที่ได้ผ่านการตรวจสอบต้นแบบแล้วไปทำการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนการทำงานที่สำคัญ, ตรวจพบในภายหลังและมีข้อสงสัยและกังวลถึงความคงทน และ/หรือ ความน่าเชื่อถือทางด้านชั่งตวงวัด, มีผลกระทบใดๆก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องชั่งตวงวัดตามกำหนดของกฎหมายในภายหลังที่ได้รับผลการตรวจสอบต้นแบบของเครื่องชั่งตวงวัด เป็นต้น

ดูรูปที่ 3 จะเห็นแนวคิดของ PTB มีรูปแบบใหม่คือเปลี่ยนจาก Type Approval เป็น Type Examination (ผมก็ยังสับสนระหว่าง 2 คำนี้อยู่เหมือนกัน แต่ดูแล้ว Type Examination น่าจะเป็นกิจกรรมที่เข้มข้นเบาลง) พร้อมเพิ่มระบบ Quality Management System (QMS) of Production มาเสริมเพื่อประกันคุณภาพในขั้นตอนสายการผลิต (Production Lines) แทนเพราะมีหน่วยงานและองค์กรที่รับรองกิจกรรมนี้พร้อมการกำหนดวิธีการและขั้นตอนทดสอบที่ชัดเจนให้ยืดหยุ่นกับวงการอุตสาหกรรมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันเองด้วย ส่งผลให้เปลี่ยนแนวคิดไม่ต้องมีการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) ก่อนนำเครื่องชั่งตวงวัดออกไปใช้งานทั้งนี้อาจเป็นเพราะสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันเป็นประเทศเจริญอีกทั้งเป็นผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดที่มีขีดความสามารถเกินกว่าภาครัฐเข้าไปกำกับดูแลได้ทั่วถึง ประกอบกับผู้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดเป็นประชากรที่มีคุณภาพสูงเพียงพอในการเลือกใช้เครื่องชั่งตวงวัดและสามารถรักษาผลประโยชน์ของตนเองได้

หลายช่องทาง ดังนั้นแนวทางดังในรูปที่ 3 จึงอาจไม่เหมาะกับประเทศไทยซึ่งไม่ได้เป็นผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดที่ทันสมัยด้วยวิทยาการที่ซับซ้อน ลำพังเครื่องชั่งสปริงเรายังเอา....อยู่.....? สำหรับในรูปที่ 5 ยังคงเป็นแนวความคิดของ APLMF ซึ่งเป็นองค์กรชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายระหว่างประเทศระดับภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (คือกลุ่มประเทศที่ตั้งอยู่ขอบมหาสมุทรแปซิฟิก) ยังคงมี Type Approval และ Verification



Source: APLMF (2010), Guide 1 National Infrastructure for Legal Metrology, APLMF, Beijing, China.

รูปที่ 5 กรอบความคิดงานกำกับดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ขององค์กรระดับภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก APLMF

นอกจากนี้ยังมีเรื่องที่เกี่ยวกับการตรวจประเมิน “Type Approval” หรือ “Pattern Approval” ที่เกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์กันอีกคำหนึ่งคือ **[2.07 Recognition of type approval หรือ Recognition of pattern approval] : การยอมรับร่วมกันในผลการตรวจสอบต้นแบบ** ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องมีกฎหมายกำหนดขั้นตอนวิธีการ เกณฑ์การตัดสิน และ อื่นๆ ไว้ว่าการยอมรับ

เครื่องชั่งตวงวัดที่ได้ผ่านการตรวจสอบต้นแบบ (Type Approval หรือ Pattern Approval) จากหน่วยงานหนึ่งแล้วต้องเป็นที่ยอมรับของอีกฝ่ายหนึ่งหรือหลายฝ่าย โดยไม่จำเป็นต้องนำเครื่องชั่งตวงวัดรุ่นและชนิดนั้นๆ มาตรวจสอบต้นแบบอีกครั้งหนึ่งโดยอีกฝ่ายหนึ่งทั้งนี้ก็เพื่ออำนวยความสะดวกในการค้าขายและลดอุปสรรคทางการค้าเสียมากกว่า ด้วยเหตุนี้หากกฎหมายไม่เปิดช่องให้ดำเนินการก็ไม่สามารถทำได้นั่นเอง ดังนั้นกรอบของกิจกรรมนี้มีความสำคัญที่ต้องระบุไว้เป็นกฎหมาย

1.2. [2.09 Verification of a measuring instruments] : การให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัด การตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัด เป็นกิจกรรมที่ต้องมีกฎหมายรองรับและต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของกฎหมายด้วยเช่นกัน เป็นการตรวจสอบลักษณะองค์ประกอบของเครื่องชั่งตวงวัด การทำงาน อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และฯลฯ ประกอบด้วยลักษณะงานที่สำคัญคือ

1.2.1. **[2.12 Initial verification] : การให้คำรับรองชั้นแรก** แปลเป็นไทยก็คือ การตรวจให้คำรับรอง “ชั้นแรก” ใช้กับการตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดที่จะเข้าสู่ตลาดครั้งแรกเปิดซิงครับหรือ (กระซิบ) เป็นผู้ครอบครองและใช้งานเครื่องชั่งตวงวัดไปนานแล้วแต่ไม่เคยตรวจสอบให้คำรับรองแต่ตอนนี้เกิดอยากตรวจขึ้นมาก็ยื่นคำขอตรวจสอบให้คำรับรองเพื่อตรวจสอบให้คำรับรอง “ชั้นแรก” ลองดูครับ ทั้งนี้เพื่อประกันว่าเครื่องชั่งตวงวัดก่อนออกสู่ตลาดต้องมีลักษณะและคุณสมบัติที่ดีและน่าเชื่อถือเพียงพอเป็นการรักษาผลประโยชน์ของประชาชนคนไทยว่าเครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกผลิตทั้งจากในประเทศและต่างประเทศมีคุณภาพเทียบเท่ากับเครื่องชั่งตวงวัดที่มีใช้ในประเทศที่เจริญแล้ว เพราะผู้ผลิตมักทำตลาดเอาเครื่องคุณภาพต่ำมาทำราคาถูกแล้วขายให้กับประเทศที่กำลังพัฒนาส่วนประเทศผู้ผลิตเองมีแต่เครื่องชั่งตวงวัดดีๆใช้งาน (ใครจะว่าผมไม่คิด “เชิงบวก” ผมยอมรับครับผมมองตามที่เป็นจริงตามธรรม) ดังนั้นหากเครื่องชั่งตวงวัดที่ไม่มีคุณภาพเข้ามาสู่ในสังคมไทยแล้วให้ผลการชั่งตวงวัดที่ผิดหรือฉ้อโกงได้ง่าย การเอารัดเอาเปรียบในสังคมก็สูงขึ้น ประสิทธิภาพและประสิทธิผลการทำธุรกิจของ

ประเทศก็ได้ผลไม่ดี ขีดความสามารถในการแข่งขันกับชาวโลกก็ต่ำส่งของออกไปต่างประเทศก็อาจโดนตีกลับมาเพราะปริมาณหรือคุณภาพไม่ครบเนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดย่ำแย่ เช่น ส่งข้าว(เปลือก) ไปขายต่างประเทศทีหนึ่งก็ต้องเผื่อน้ำหนักไว้ให้เกินๆ เพราะเวลาเดินทางความชื้นในข้าว(เปลือก)สูญเสียออกไปน้ำหนักมันลดลง พอถึงปลายทางน้ำหนักข้าวก็ไม่ครบตามใบสั่งซื้อผู้ส่งออกข้าวจะถูกปรับค่าเสียหายผลตามมาเป็นอย่างไรหรือครับผู้ส่งออกข้าวก็ส่งออกข้าวให้มีน้ำหนักเกินๆเข้าไว้แต่น้ำหนักส่วนเกินที่ส่งไปนั้นก็จะถูกผลักภาระมายังชาวนาในรูปแบบที่อัศจรรย์ใจ... (ผมไม่คิดเชิงบวกอีกแล้วล่ะซิ) นอกจากนี้หากพิจารณาในแง่ของรายได้ที่จะกลับมาทำนุบำรุงประเทศชาติก็จะลดน้อยลง เป็นต้น ...โอย นั่งไล่กันไม่ไหวหรอกครับมันกระทบกันทั้งสังคมเลยใช่หรือไม่? สรุปก็คือเครื่องชั่งตวงวัดคือเสาเข็มที่รักษาผลประโยชน์ของคนไทย (แต่บังเอิญเป็นเสาเข็มที่อยู่ในดิน ไม่ได้มาเสนอหน้าหล่อๆสวยๆให้ท่านเห็น.. เลยลืมไปว่าต้องมีเสาเข็ม....หรือไม่สนใจว่าเสาเข็มมันรับภาระแรงได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่....คงรอ Buckling เมื่อนั้นเจอกันเมื่อชาติต้องการ....)

1.2.2. **[2.11 Verification by sampling] : การให้คำรับรองโดยการสุ่มตรวจ** การตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดที่เหมือนกันคราวละจำนวนหนึ่ง (Homogeneous Batch) เช่น ยี่ห้อเดียวกัน รุ่นเดียวกัน พิกัดกำลังเดียวกัน องค์ประกอบเครื่องชั่งตวงวัดเหมือนกัน เป็นต้น โดยไม่ทำการตรวจสอบให้คำรับรองทุกเครื่องแต่ทำการสุ่มตรวจด้วยจำนวนเครื่องที่สุ่มตรวจตามหลักวิชาการทางสถิติที่ยอมรับได้ แต่กฎหมายของเราในปัจจุบันรู้สึกว่าใช้คำว่า “ทุกเครื่อง” หรือเปล่าไม่แน่ใจ (ขี้เกียจเปิดอ่าน) เราขอเสนอความเห็นเพิ่มเติมต่อนะครับว่า เรื่องนี้ต้องระมัดระวังจะใช้หลักเกณฑ์นี้ไปทุกครั้งก็ใช่ที่... ต้องมีความรู้และความเข้าใจในขั้นตอนการผลิตด้วยนะครับเพราะหากขั้นตอนการผลิตที่เป็นทำด้วยมือคน (Hand Made) ถึงแม้จะเป็นยี่ห้อเดียวกัน รุ่นเดียวกัน พิกัดกำลังเดียวกัน และฯลฯ ก็ควรตรวจสอบให้คำรับรองทุกเครื่องนะครับเพราะ...มือคน...ก็ตามชื่อแหละครับมันก็คนจนมั่วเสมือนอาหารไข่คนนั่นแหละ (มันจะเกี่ยวกันมั๊ยนี้)

1.2.3. **[2.13 Subsequent verification] : การให้คำรับรองชั้นหลัง** แปลเป็นไทยก็คือ การตรวจให้คำรับรอง “ชั้นหลัง” หรือไม่ใช่การตรวจรับรองชั้นแรก ใช้กับการตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดที่เข้าสู่ตลาดไปแล้วและย้อนกลับมาตรวจรับรองซ้ำในภายหลัง เช่น ทำการซ่อมแซมภายใต้เงื่อนไขที่กฎหมายกำหนดว่าสามารถซ่อมแซมได้หรือกฎหมายไม่ห้ามว่าไม่ให้ซ่อมแซม งงดีนะ หรือใช้งานเครื่องชั่งตวงวัดไปแล้วและสงสัยว่าเครื่องชั่งตวงวัดนั้นไม่ถูกต้องก็ให้ยื่นคำขอเพื่อทำการตรวจรับรองชั้นหลังได้

1.2.3.1. **[2.14 Mandatory periodic verification] : การให้คำรับรองที่มีอายุคำรับรอง** ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่ติดตรึงกับที่และ/หรือ เป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่มีผลต่อเศรษฐกิจและสังคมที่รุนแรงมาก กฎหมายก็จะกำหนดให้มีอายุคำรับรองไม่ใช่ตรวจครั้งเดียวใช้ไปจนตลอดชีพ เช่น มาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการกำหนดให้มีอายุคำรับรอง 2 ปี ดังนั้นเมื่อครบ 2 ปีถือว่าเครื่องชั่งตวงวัดชนิดนี้สิ้นสุดสภาพการให้คำรับรองไม่สามารถใช้ชั่งตวงวัดเพื่อการซื้อขายได้ต้องรีบยื่นขอตรวจสอบให้คำรับรองใหม่เสียก่อนใช้งานต่อไป หากไม่ปฏิบัติตามที่กฎหมายกำหนดผู้ใช้หรือผู้ครอบครองเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวถือว่าฝ่าฝืนกฎหมายมีโทษทางอาญาทันที.. ส่วนเมื่อยื่นคำขอตรวจรับรองฯแล้วเจ้าหน้าที่มาตรวจช้าหรืออย่างไรก็เป็นขั้นตอนที่ต้องระบุและกำหนดไว้ในกฎหมายด้วยเพราะงาน Legal Metrology คืองานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย... นั้นเอง คำว่ากฎหมายในที่นี้ขอให้เข้าใจว่าเริ่มตั้งแต่ พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 กฎกระทรวงฯ ประกาศกระทรวง คำสั่งสำนักงานกลางชั่งตวงวัดฯ ระเบียบฯ และอื่นๆที่ออกภายใต้ฐานอำนาจพระราชบัญญัติฯ นะครับ การให้อำนาจกับผู้รับผิดชอบลดหลั่นกันไปเพื่อป้องกันการลุแก่อำนาจ (ผมชอบคำนี้จริงๆ ไม่รู้เป็นงั้ย เพราะมีการกระทำที่ไม่มีอำนาจหนึ่งแต่มีอำนาจอื่นๆที่แฝงมาทำให้ทิศทางนโยบายชั่งตวงวัดของประเทศมันเป็นระบำชาวเกาะไปเสียทุกที หรือทำให้ขวัญกำลังใจผู้บังคับใช้กฎหมายมันท้อแต๊ หรือเปล่า (อันนี้หนูไม่รู้... หนูเมา...)

1.2.3.2. อื่นๆ (..ไม่มีในคำศัพท์ของ OIML)

[2.09 Verification of a measuring instruments] ยังมีงานที่มีความสัมพันธ์กับ Verification of a measuring instruments ซึ่งกันและกันอีกคือ

ก. **[2.19 Marking] : เครื่องหมายคำรับรอง** ภายหลังจากทำการตรวจสอบให้คำรับรองแล้วไม่ว่าจะเป็น “ชั้นแรก” หรือ “ชั้นหลัง” พนักงานเจ้าหน้าที่จะประทับเครื่องหมายการให้คำรับรองตามที่กฎหมายกำหนดบนเครื่องชั่งตวงวัด ส่วนจะเป็นเงื่อนไขใดพิเศษก็ต้องกำหนดให้ชัดเจนในกฎหมาย เช่น ตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยง F1 (OIML R111) ขึนประทับเครื่องหมายคำรับรองลงไปจากราคา 10 บาท เหลือเป็นราคา 25 สตางค์ทันที ในคำศัพท์นี้คำว่า Marking ครอบคลุมถึงเครื่องหมายคำรับรอง เครื่องหมายห้ามใช้ เครื่องหมายคำรับรองสิ้นสุดลง เครื่องหมาย Type Approval หรือ Pattern Approval เป็นต้น นอกจากนี้อาจรวมถึงการรวมเอาเครื่องหมายคำรับรองทำเป็นซีลไปในตัวก็เป็นได้

ข. **[2.22 Obliteration of a verification mark] : คำรับรองเดิมใช้ไม่ได้** เป็นเครื่องหมายลบล้างคำรับรองเดิมที่ให้ไว้กับเครื่องชั่งตวงวัดว่าใช้ไม่ได้อีกต่อไปหรือจะบอกว่า เป็นเครื่องหมายแสดงว่าคำรับรองเดิมใช้ไม่ได้แล้ว ส่วนสาเหตุที่ทำให้คำรับรองเดิมใช้ไม่ได้อีกต่อไป เช่น มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเกินกว่าตามข้อกำหนดของกฎหมาย เป็นต้น

ค. **[2.17 Recognition verification] : การยอมรับร่วมกันในผลการรับรอง** เป็นกิจกรรมที่ต้องมีกฎหมายกำหนดขั้นตอนวิธีการ เกณฑ์การตัดสิน และ อื่นๆ ไว้ว่าการยอมรับเครื่องชั่งตวงวัดที่ได้ผ่านการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) จากหน่วยงานหนึ่งแล้วจะต้องเป็นที่ยอมรับของอีกฝ่ายหนึ่งหรือหลายฝ่ายโดยไม่จำเป็นต้องนำเครื่องชั่งตวงวัดรุ่นและชนิดนั้นๆ มาตรวจสอบให้คำรับรองอีกครั้งหนึ่งโดยถือว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวมีคุณลักษณะและคุณสมบัติตามข้อกำหนดของกฎหมายของฝ่ายนั้นๆไปโดยอัตโนมัติ ดูไปจะมีความหมายในแนวทางเดียวกับคำศัพท์ [2.07 Recognition of type approval หรือ Recognition of pattern approval] เรื่องนี้เป็นเรื่องใหญ่เป็นผลประโยชน์ของประเทศทั้ง 2 เรื่องใครอย่าทำเป็นเล่นไป...ต้องสุมหัวกันคิดกันทั้งประเทศก่อน

ตัดสินใจใดๆ เดิมพันมันสูงมากเพราะเราชั่งตวงวัดเป็นหน่วยงานหนึ่งเดียวของประเทศไทยที่ทำหน้าที่ตรวจสอบให้คำรับเครื่องชั่งตวงวัดต้องรับฟังคนอื่นๆ มากๆ

1.3. Inspection of a measuring instrument

1.3.1. **[2.18 Inspection by sampling] : การตรวจสอบระหว่างใช้งานโดยการสุ่ม** การออกไปสำรวจตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดที่เหมือนกันคราวละจำนวนหนึ่ง (Homogeneous Batch) ระหว่างใช้งาน เช่น ยี่ห้อเดียวกัน รุ่นเดียวกัน พิกัดกำลังเดียวกัน เป็นต้น โดยไม่ทำการตรวจสอบทุกเครื่องแต่ทำการสุ่มตรวจโดยมีจำนวนเครื่องที่สุ่มออกมาเป็นไปตามหลักวิชาการทางสถิติที่ยอมรับได้ แต่ในกรณีทางปฏิบัติ การออกไปสำรวจตรวจสอบโอกาสเจอเครื่องชั่งตวงวัดที่เหมือนกันคราวละมากๆ คงยากนอกเสียจากเข้าไปในแหล่งรับซื้อที่ใช้เครื่องชั่งตวงวัดชนิดเดียวกัน มันเลยต้องตรวจทุกเครื่องซิครับ

1.3.2. **[2.15 Rejection of a measuring instrument] : คำรับรองเดิมใช้ไม่ได้** เป็นการตัดสินใจบนเกณฑ์การตัดสินที่กฎหมายกำหนดไว้ถึงการยกเลิกการให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดนั้นไปแล้วให้เป็นโมฆะหรือคำรับรองเดิมใช้ไม่ได้อีกต่อไปเนื่องจากมีคุณลักษณะและคุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายอีกต่อไปแล้วเมื่อเจ้าหน้าที่ออกไปสำรวจตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดระหว่างการใช้งาน ซึ่งเราจะใช้เครื่องหมายเดียวกับ [2.22 Obliteration of a verification mark]

2. [2.03 Metrological supervision] : การอำนวยการกำกับดูแลงานชั่งตวงวัด คำศัพท์คำนี้ใน OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) อ่านแล้วมึนเลยกลับไปอ่าน OIML V1:2000. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ฉบับเก่า เลยเอาความหมายฉบับเก่ามาแปลดูก็พอไปได้ว่า เป็นกิจกรรมการกำกับดูแล ตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชั่งตวงวัดว่าได้ดำเนินการหรือกระทำไปในทิศทางที่ก่อให้เครื่องชั่งตวงวัดให้ผลการชั่งตวงวัดที่ถูกต้องตลอดวงจรชีวิตการใช้งาน เช่น ตรวจสอบให้แน่ใจว่าเครื่องชั่งตวงวัดถูก

ผลิต ซ่อม ติดตั้ง นำเข้า ขายเฉพาะเครื่องชั่งตวงวัดที่มีลักษณะและคุณสมบัติถูกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย ยังรวมถึงการกำหนดข้อปฏิบัติการใช้งานเครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกวิธี เป็นต้น คำศัพท์นี้จึงมีโทนแสดงให้เห็นถึงการดำเนินการใดๆที่ต้องใส่ใจทุกขั้นตอนของการชั่งตวงวัดเพื่อมุ่งสู่เครื่องชั่งตวงวัดที่เป็นเลิศในปฐพีไทย 5555... ตามหลักธรรมอิทธิบาท 4 ฉันทะ วิริยะ จิตตะ วิมังสา...

การกำกับดูแลงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายนี้ยังรวมไปถึงศาสตร์ประยุกต์ชั่งตวงวัดอีกงานหนึ่ง นั่นก็คือการตรวจสอบปริมาณสุทธิและการแสดงปริมาณสุทธิของสินค้าหีบห่อ หน้างานด้านนี้นับวันยิ่งมีมูลค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างรุนแรงเนื่องจากการดำเนินวิถีชีวิตของคนเปลี่ยนแปลงไป ระบบการผลิตอุตสาหกรรมจึงพัฒนาเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาชีวิตคนเมืองที่มีเวลาน้อยลงรวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น คำว่าสินค้าหีบห่อนั้นเดิมไม่มีอยู่ในสังคมโลก แต่เนื่องจากเกิดภาวะสงครามคนเขาจะฆ่ากันจึงไม่มีเวลามานั่ง cook กัน พวกฝรั่งเลยทำอาหารพร้อมรับประทานให้เพียงพอและพกพาแจกจ่ายให้สำหรับคนหนึ่งคนหรือคนหนึ่งหมวดทหาร พอสงครามจบลงมันก็พัฒนาการไปเรื่อยจนถึงปัจจุบันทำให้เรามีหลักคิดกับสินค้าหีบห่อว่า ข้อแรกต้องเป็นสินค้าที่คนหิ้วหรือถือได้อย่างสบายด้วยคนเพียงคนเดียว ดังนั้นน้ำหนักจึงไม่ควรเกิน 10 กิโลกรัม ทั้งนี้เราไม่ต้องกำหนดปริมาณบรรจุเพื่อส่งเสริมตลาดเสรีให้แข่งขันการค้าเสรีและเป็นธรรมนะเพราะกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดของผู้ผลิตสินค้าหีบห่อแต่ละชนิดไม่เหมือนกันรวมทั้งจุดคุ้มทุนในการลงทุนผลิตสินค้าไม่เหมือนกัน (แต่กฎเกณฑ์นี้โดนแหกได้ตามความจำเป็นและความต้องการของผู้มีอำนาจ....เช่น กำหนดน้ำหนักหีบห่อยันไปจนถึง 50 กิโลกรัมแต่ถ้ามันมีเหตุผลก็ชอบด้วยธรรมะ) หรือเริ่มกลับมามีความคิดจะให้กำหนดขนาดการบรรจุสินค้าหีบห่อใหม่เพราะดันไปคุมราคาสินค้าไม่ให้เพิ่มขึ้น คนทำธุรกิจไม่ใช่ทำการกุศลเค้าก็ไม่เพิ่มราคาตามผู้มีอำนาจขอร้อง แต่เค้าก็ไปลดขนาดการบรรจุสินค้าหีบห่อลงให้น้อยกว่าเดิมแต่ราคาเท่าเดิม..เสียประสัย เราบอกว่า “น้ำ” ดื่มใน

Fast Food มันแพงต้องขายไม่เกิน 1 บาทผู้ทำธุรกิจไม่ใช่ทำการกุศลมันก็เอา “น้ำแร่” มาขายแทนแถมขาย 2 บาทแทน คราวนี้ประชาชนต้องจ่ายแพงเพิ่มขึ้นไปอีก...เพราะเราฝืนธรรมชาติซิครับ สำหรับข้อที่สองความเป็นสินค้าหีบห่อสิ้นสุดลงทันทีเมื่อสิ่งห่อหุ้มหีบห่อนั้นฉีกขาดเสียหายโดนถูกทำลาย เช่น เปิดฝากระเป๋าปลาทูน่า เป็นต้น ไม่สามารถทำให้สิ่งห่อหุ้มหีบห่อกลับมาเหมือนเดิมได้อีก งานอย่างนี้ต้องมีความสำคัญระดับกอง แต่ดันมาเล็กระดับกลุ่มฯ ประเทศมันจะไปไหวหรือเปล่านี่ ? ไม่รู้ลุงตู่จะช่วยได้มั๊ยครับ แฮะๆ

3. กิจกรรมทุกอย่างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบและให้ข้อมูลแสดงผลและข้อบ่งชี้ทางด้านชั่งตวงวัด เช่น การให้ปากคำในชั้นศาลเพื่อการดำเนินคดีแก่ผู้กระทำผิดภายใต้กฎหมายชั่งตวงวัด การกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัด การกำหนดคุณสมบัติลักษณะเครื่องชั่งตวงวัดเท่าที่จำเป็นสำหรับงานด้านชั่งตวงวัดของเครื่องชั่งตวงวัด โดยการอ้างอิงถึงกฎหมายหลักและกฎหมายรองลงมา

IV กรอบความคิดด้านละมุนภัณฑ์ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Software in Legal Metrology)

เป็นเรื่องที่ถูกเพิ่มขึ้นในคำศัพท์ OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก ก่อนอื่นเรามาทำความรู้จักคำศัพท์เบื้องต้น

Software คือ สิ่งที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษาโปรแกรมมิ่ง เช่น ภาษาโปรแกรมมิ่ง Fortran, ภาษา C^{++} เป็นต้น

Application คือ Software ที่สร้างขึ้นมาเพื่อการใช้งานสำหรับระบบงานใดงานหนึ่งโดยเฉพาะ

[6.01 Software identification] : ข้อมูลประจำตัวละมุนภัณฑ์ เป็นข้อมูลที่บ่งบอกและเชื่อมโยงกับละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software

Module เช่น หมายเลขรุ่น (Version number), Checksum เป็นต้น ซึ่งเราสามารถตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวเมื่อทำการใช้เครื่องชั่งตวงวัด โดยทั่วไปเรามักจะพบการแสดง Software Identification เมื่อเปิดใช้งานครั้งแรกและอาจจะมีข้อมูลเพิ่มเติมอีกที่นำมาแสดง เช่น Serial Number ของละมุมภัณฑ์ เจ้าของลิขสิทธิ์ละมุนภัณฑ์ หรืออื่นๆ ก็ได้

งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดทางกฎหมายจึงมีความจำเป็นต้องขึ้นทะเบียนควบคุมละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module ซึ่งใช้งานร่วมกับเครื่องชั่งตวงวัดและมีผลต่อผลการชั่งตวงวัดเพื่อให้สามารถสืบเสาะติดตามผู้กระทำผิดได้หากพิสูจน์ได้ว่าละมุนภัณฑ์ถูกเขียนไว้เอื้อประโยชน์ให้ฉ้อโกงได้ง่าย หากกฎหมายไม่เปิดช่องก็แก้ไขกฎหมาย เพราะในประเทศไทยมีการใช้ละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module ทั้งแบบถูกต้องตามลิขสิทธิ์และละเมิดลิขสิทธิ์ เรามีโปรแกรมเมอร์ทั้งเอกชนในรูปนิติบุคคลและโปรแกรมเมอร์แบบอาชีพอิสระพวก Freelance ดังนั้นความซื่อสัตย์และความมีจรรยาบรรณ (คุณธรรมที่ดีประจำอาชีพนั้นๆ) อาจสูงต่ำแตกต่างกันไป เช่น โปรแกรมเมอร์เขียน Source Code ให้สามารถกดปุ่มบนคีย์บอร์ดพร้อมกัน 3 ปุ่มหรือ 4 ปุ่ม สุดแล้วแต่ แล้วทำให้ค่าน้ำหนักที่ชั่งโดยเครื่องชั่งหายไปทันที 100 หรือ 200 หรือ 500 กิโลกรัมสุดแล้วแต่ในรายงานผลการชั่งตวงวัดนั้นๆ งานนี้การติดตามจับกุมกระทำได้ยากครั้นจะสั่งให้เจ้าของละมุนภัณฑ์ส่ง Source Code ให้ชั่งตวงวัดเราตรวจสอบก่อนแล้วบันทึกค่า หมายเลขรุ่น (Version number), Checksum เป็นต้น แล้วขึ้นทะเบียนก็สงสัยคงจะยากเพราะไม่มีโปรแกรมเมอร์ใครเค้ามาสมัครเข้าทำงานรับราชการ (สงสัยจะกลัวไปตรวจเครื่องชั่งสปริง 555...) อีกทั้งต้องมีกฎหมายรองรับในเรื่องการเก็บรักษาความลับให้กับเจ้าของผลิตภัณฑ์ละมุนภัณฑ์กับพนักงานเจ้าหน้าที่ของรัฐว่าจะไม่นำ Source Code ไปให้ใครซึ่งนั้นหมายถึงอาชีพและรายได้ของเจ้าของละมุนภัณฑ์ เป็นเรื่องความไว้วางใจด้วยน่ะ

[6.02 Software separation] : การจำแนกชนิดละมุนภัณฑ์ การแยกแยะในการกำกับดูแลละมุนภัณฑ์ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัด

ให้ผลการชั่งตวงวัดที่ถูกต้องเที่ยงตรงตลอดเวลาหรือในเทอมของการเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายให้ออกจากละมุนภัณฑ์ในส่วนที่ไม่อยู่ในข่ายของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย เช่น Software Interface สำหรับการเชื่อมต่อข้อมูลสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ เป็นต้น

[6.03 Software interface] : ส่วนเชื่อมต่อละมุนภัณฑ์ ละมุมภัณฑ์ที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อใช้เชื่อมต่อ รับ กรอก หรือส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ระบบกับละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module โดยออกแบบหรือเขียนละมุนภัณฑ์เพื่อใช้กับ User interface

[6.04 Software protection] : การป้องกันละมุมภัณฑ์ เป็นการป้องกันละมุมภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัดหรือข้อมูลที่มีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของการทำงานเครื่องชั่งตวงวัดโดยใช้การซีลด้วย Hardware หรือซีลด้วยละมุนภัณฑ์ (Software) โดยซีลดังกล่าวต้องถูกถอดออกอย่างเห็นได้ชัดเจนหรือถูกทำลายหรือได้รับความเสียหายหากจะเข้าไปดำเนินการแก้ไขเปลี่ยนแปลงละมุมภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัดหรือข้อมูลที่มีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของการทำงานเครื่องชั่งตวงวัด

[6.05 Audit trail] เป็นไฟล์ข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องประกอบด้วยผลการบันทึกกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงแก้ไขละมุมภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัดหรือข้อมูลที่ผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงในการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดพร้อมเวลากำกับทุกกิจกรรมที่มีการบันทึก นึกง่ายๆคือ ปูมเดินเรือ (สมุดบันทึก) ที่กัปตันต้องบันทึกไว้ประจำหอบังคับการเดินเรือ เช่น การ Upload ละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module รุ่นที่ทันสมัยขึ้น, มีการเปลี่ยนแปลงและแก้ไขค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานและความเที่ยงของเครื่องชั่งตวงวัด เช่น Meter Factor, K-Factor ของมาตรวัดปริมาตรของเหลว เป็นต้น ทั้งนี้ไฟล์ของ Audit Trail ต้องไม่สามารถถูกแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือลบทิ้งได้อย่างเด็ดขาดแม้จะมี Password ที่มีอำนาจแก้ไขปรับแต่งแก้ไขค่าตัวแปรในละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ software module สูงสุดก็ตาม

ในบางครั้งเราอาจถือว่า Audit Trail เป็นอิเลคทรอนิคส์ซีล (Electronic seal) อีกชื่อหนึ่ง การจัดให้เครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายมี Audit Trail จึงเป็นเรื่องดีแก่ผู้สุจริตชน ดีทั้งผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ ที่ไม่ต้องถูกฟ้องว่าผลิตเครื่องชั่งตวงวัดที่ให้ผลการชั่งตวงวัดย่ำแย่ ดีต่อเราชั่งตวงวัดเพราะสามารถเรียกดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าใดบ้างที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดทั้งนี้เพราะว่าเครื่องชั่งตวงวัดบางชนิดบางยี่ห้อแม้เราร้อยลวดผูกซีลไปแล้วแต่มันยังคงสามารถเข้าไปแก้ไขค่าต่างๆ ผ่านการคีย์ผ่านหน้าจอได้อีก พูดตรงๆก็คือซีลแบบ Hardware ไม่มีผลป้องกันอะไรได้เลย นอกจากนี้การมี Audit Trail ยังดีต่อผู้ครอบครองเพราะหากเครื่องเสียแล้วช่างมาซ่อมแซมแก้ไขทำให้เครื่องชั่งตวงวัดผิดไปโดยตัวเองไม่ได้กระทำก็สามารถตรวจสอบจาก Audit Trail ได้เช่นกัน ยังมีข้อดีอื่นๆที่ยังนึกไม่ออก แต่สุดท้ายคือมันดีต่อใจพนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดแบบเราๆ

[6.06 Event] : เหตุการณ์ แต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับละมุนภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัด ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าตัวแปรการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัด ตัวแปรปรับแต่งค่า (Adjustment Factor) หรือการปรับปรุงละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module รุ่นที่ทันสมัยขึ้น เป็นต้น

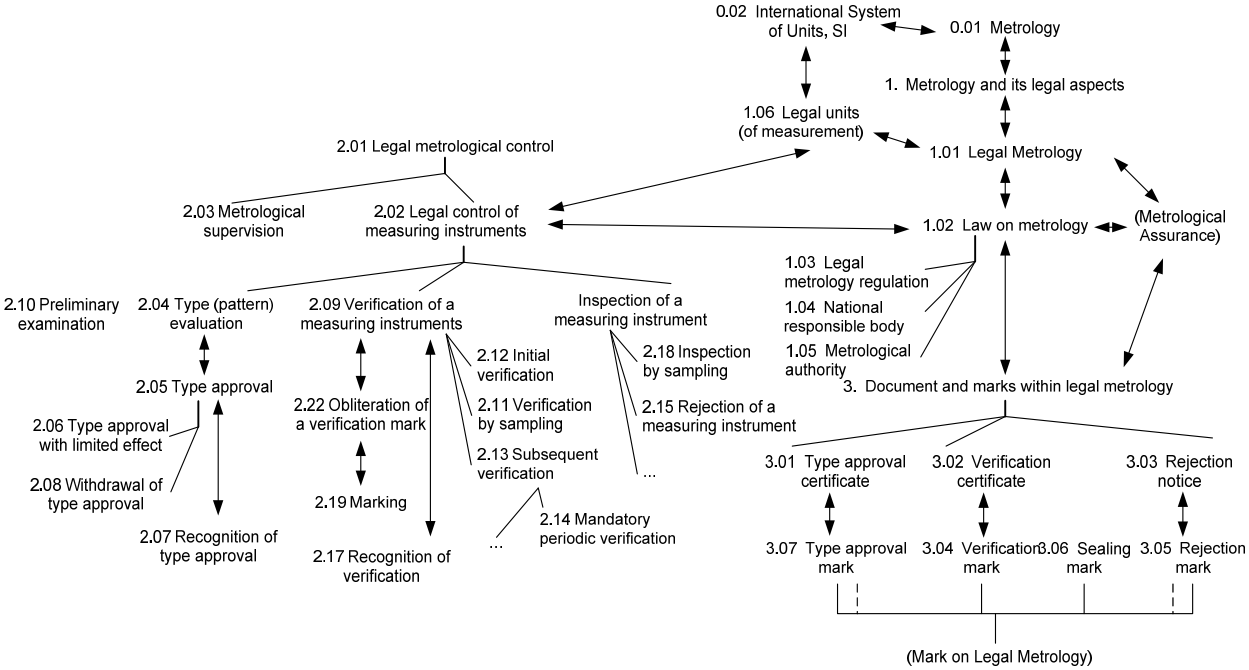
[6.07 Storage device] : ส่วนจัดเก็บข้อมูล ส่วนจัดเก็บข้อมูลผลการชั่งตวงวัดของเครื่องชั่งตวงวัดหลังจากดำเนินการชั่งตวงวัดแล้วเสร็จ และการเก็บรักษาข้อมูลดังกล่าวด้วยวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานในภายหลัง โดยงานดังกล่าวยังคงอยู่ในขอบข่ายของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย

[6.08 User interface] : ส่วนเชื่อมต่อละมุนภัณฑ์กับผู้ใช้ การเชื่อมต่อที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดกับเครื่องชั่งตวงวัดหรือ Hardware หรือละมุนภัณฑ์ (Software) หรือ Software Module ของเครื่องชั่งตวงวัด เช่น สวิตซ์ คีย์บอร์ด การสัมผัสหน้าจอ การใช้รีโมท เป็นต้น

User Interface คือ การออกแบบส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้กับระบบเพื่อการเตรียมสารสนเทศและการนำสารสนเทศนั้นไปใช้ด้วยการโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์หรือการติดต่อประสานระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งาน เช่น

- Command Language Interaction เป็นการโต้ตอบกับระบบโดยผู้ใช้ต้องพิมพ์คำสั่งลงไป (ผู้ใช้ต้องจำคำสั่งและรูปแบบการสั่งได้) เพื่อกระตุ้นให้ระบบทำงาน เช่น ระบบปฏิบัติการพวก Dos
- Menu Interaction เป็นการโต้ตอบกับระบบด้วยการแสดงเมนูคำสั่งให้ผู้ใช้เลือกคำสั่งที่ต้องการในการติดต่อกับระบบ โดยผู้ใช้ไม่ต้องป้อนคำสั่งหรือคีย์คำสั่งเข้าระบบ
- Form Interaction เป็นการโต้ตอบของผู้ใช้ระบบที่ต้องป้อนข้อมูลลงในช่องว่างที่มีอยู่ในแบบฟอร์มที่แสดงทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายการกรอกแบบฟอร์มลงในกระดาษนั่นเอง
- Object-Based Interaction เป็นการโต้ตอบกับระบบด้วยการใช้สัญลักษณ์เป็นตัวแทนคำสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ปฏิบัติงาน เช่น รูป Icon ที่นิยมในปัจจุบัน
- Natural Language Interaction เป็นการโต้ตอบกับระบบด้วยการใช้เสียงพูดของผู้ใช้ระบบ เช่น Siri ใน IPhone ของ Apple ดูเหมือนจะเป็นไปตามหนังวิทยาศาสตร์เข้าไปทุกที

สำหรับกรอบความคิดด้าน Classification of Measuring Instruments และ Construction and Operation of Measuring Instruments ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายซึ่งปรากฏในคำศัพท์ OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML) จะขอเว้นข้ามไปเพราะอยากให้คิดและมองกรอบการทำงานรวมถึงหลักการทำงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายเชิงการบริหาร จะได้เข้าใจตรงกันเพื่อสามารถเดินไปพร้อมกัน .....เราเข้าใจตรงกันนะ.....


0.02 International System of Units, SI
0.01 Metrology
1. Metrology and its legal aspects
1.06 Legal units (of measurement)
1.01 Legal Metrology
2.01 Legal metrological control
2.03 Metrological supervision
2.02 Legal control of measuring instruments
1.02 Law on metrology
(Metrological Assurance)
1.03 Legal metrology regulation
1.04 National responsible body
1.05 Metrological authority
2.10 Preliminary examination
2.04 Type (pattern) evaluation
2.09 Verification of a measuring instruments
Inspection of a measuring instrument
2.05 Type approval
2.06 Type approval with limited effect
2.08 Withdrawal of type approval
2.07 Recognition of type approval
2.22 Obliteration of a verification mark
2.19 Marking
2.17 Recognition of verification
2.12 Initial verification
2.11 Verification by sampling
2.13 Subsequent verification
...
2.14 Mandatory periodic verification
2.18 Inspection by sampling
2.15 Rejection of a measuring instrument
...
3. Document and marks within legal metrology
3.01 Type approval certificate
3.02 Verification certificate
3.03 Rejection notice
3.07 Type approval mark
3.04 Verification mark
3.06 Sealing mark
3.05 Rejection mark
(Mark on Legal Metrology)

ความสูงระดับของเหลวภายในถังสำรองฯ กับสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง

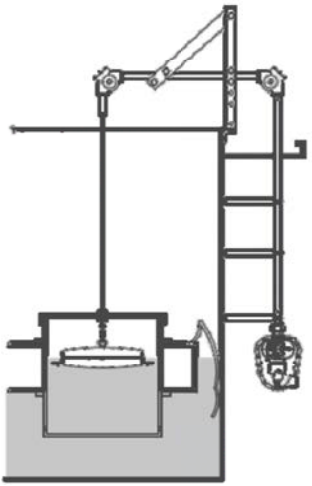
การวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Level Measurement) เป็นการวัดระยะความสูงของเหลวเพื่อนำค่าที่ได้ไปหาค่าปริมาตรของเหลวภายในถังสำรองฯ โดยใช้ “ตารางประจำถัง” หรือที่เรียกว่า “Tank Table” ส่วนตารางประจำถังได้มาอย่างไรนั้น ก็ตอบว่าได้มาจากทำการสอบเทียบปริมาตรถังสำรองฯ เค้าเรียกกันว่า Tank Calibration ซึ่งมีทั้งวิธีการแบบเปียก นั้นคือวัดปริมาตรน้ำที่ใส่เข้าไปในถังสำรองฯกันจริงๆ พร้อมทำการวัดค่าความสูงของปริมาตรถังสำรองฯไปพร้อมๆกันไป วิธีต่อไปเป็นวิธีการแบบแห้งเป็นการวัดระยะเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองฯ วัดค่าความหนาผนังถังสำรองฯ ความสูงของผนังถังในแต่ละชั้น (shell) ฯลฯ จากนั้นนำผลการวัดมาคำนวณหาปริมาตรถังสำรองฯเทียบกับความสูงของถัง ส่วนการวัดดังกล่าวมีทั้งใช้สายแถบโลหะ ส่องกล้อง ฯลฯ ทั้งอาจยังมีการปรับใช้แสงเลเซอร์ยิงกวาดไปภายในถังสำรองฯแล้วใช้โปรแกรมคำนวณเป็นปริมาตรถังสำรองฯต่อความสูงที่เพิ่มขึ้นกันไปเลย นอกจากนี้อาจเป็นการนำวิธีการผสมกันระหว่างแบบเปียกกับแบบแห้ง โดยที่ระยะเริ่มจากก้นถังสำรองฯจนขึ้นไปถึงระดับ Dip Plate สอบเทียบด้วยวิธีแบบเปียก หรืออาจเพิ่มความสูงกว่า Dip Plate อีกเล็กน้อย จากนั้นไล่ความสูงขึ้นต่อไปจะใช้วิธีการแบบแห้งอาจจะด้วยเหตุผลที่ว่าการเปลี่ยนรูปร่าง การโค้งงอและการดุ้งตัวของแผ่นเหล็กพื้นถังสำรองฯอาจอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถประเมินได้จึงต้องเติมน้ำเข้าไปในถังสำรองฯแล้ววัดระดับความสูงระดับน้ำกันให้เห็นชัดๆกันไปเลยกระมัง ส่วนภายหลังผลการสอบเทียบได้มาซึ่ง “ตารางประจำถัง” หรือ “Tank Table” ว่าวิธีการใดมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรถังสำรองฯเทียบกับความสูงของเหลวภายในถังสำรองฯ ที่น่าเชื่อถือก็ต้องพิจารณากันต่อไปเราไม่คุยกันในตอนนี้และตอนหน้า แต่หากมีความสนใจสามารถ Download หนังสือ “ถัง

บรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปทรงแบบทรงกระบอกในแนวนอน” และ “ถังสำรองฯขนาดใหญ่รูปทรงกระบอกในแนวตั้ง” โดยสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ได้ที่ www.cbwmthai.org ถ้ามาพิจารณาถึงสาเหตุที่นิยมใช้วิธีการแบบแห้งอาจเป็นเพราะการใช้วิธีการแบบเปียกมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง รวมทั้งใช้เวลานานในการสอบเทียบแต่สอดรับหลักปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัดเราเพราะการดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองภายใต้สภาวะจริงเช่นเดียวกับสภาวะใช้งานจริงจึงได้ความน่าเชื่อถือและมันคือชีวิตจริงๆ ถ้าอยากรู้ว่าใช้เวลานานเท่าไหร่ก็ให้สมมุติว่าถังสำรองฯมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 เมตร สูง 15 เมตร คิดเป็นปริมาตรคร่าวๆก็ 13,620,000 ลิตร ต้องใช้ปั๊มสูบน้ำกี่แรงม้า กี่เครื่อง ต้องใช้แหล่งน้ำจากที่ไหน ใช้เสร็จแล้วระบายออกไปไหน ล้วนเป็นค่าใช้จ่ายในทางปฏิบัติ

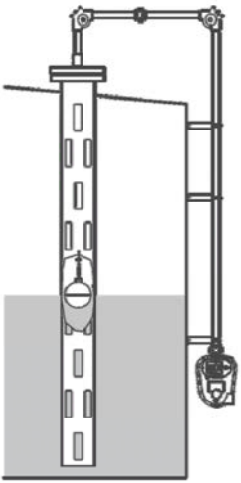
แต่เราไม่ไปถึงจุดนั้น เราเพียงมาสนใจการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯ กับสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง แต่ต้องปูพื้นฐานและความเข้าใจถึงสภาวะแวดล้อมที่เราต้องเข้าไปเกี่ยวข้อง ดังนั้นเรามาดูว่าการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯพอจะแบ่งการวัดระดับหลักๆ ได้ 2 หลักการคือ

1. **Continuous Level Measurement** คือการวัดระดับผลิตภัณฑ์ของเหลวภายในถังสำรองฯอย่างต่อเนื่อง เมื่อระดับผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นหรือลดลง เครื่องวัดจะมีตัวตรวจจับระดับของเหลวโดยจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระดับผลิตภัณฑ์ของเหลวภายในถังสำรองฯ ดังรูปที่ 1 ตัวตรวจจับระดับดังกล่าวที่มีใช้กันมานานก็คือ “ลูกลอย” (รูปที่3) ที่เคลื่อนที่ขึ้นลงโดยมีสายแถบโลหะที่ม้วนเข้าหรือคลายออกได้อย่างอัตโนมัติ (ดูรูปที่ 2) แต่ในการทำงานจำเป็นต้องพึ่งพาระบบกลไก และการปรับสมดุลชดเชยแรงที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงของเครื่องวัดซึ่งต่อมาภายหลังมีการพัฒนาจากระบบกลไกให้เหลือลดน้อยลงแล้วเพิ่มระบบไฟฟ้าอิเลคทรอนิคส์เข้าไปเสริมทดแทนเป็นระบบไฟฟ้าที่เรียกกว่า “Servo Operated Displacer Level Gauge” ดังในรูปที่ 4 อีกทั้งมีการพัฒนาการโดยใช้หลักการสะท้อนคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกลับไปกลับมาแล้วใช้คณิตศาสตร์โมเดลคำนวณประมวลผลระยะความสูง

เป็นหลักการทำงานอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Radar Gauging ดูรูปที่ 6 ทั้งนี้ เครื่องวัดระดับของเหลวแบบต่อเนื่องแต่ละหลักการทำงานก็มีข้อดีและข้อเสีย เราจำเป็นต้องเลือกใช้ตามเหมาะสมกับความต้องการของเรา โลกก็พัฒนาเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ เพื่อใช้ Innovation มาแก้ไขปัญหาการทำธุรกิจและสงคราม สิ่งประดิษฐ์ใดสามารถนำมาแก้ไขปัญหาชีวิตของคนที่มีปัญหาและสามารถแก้ไขได้เป็นอย่างดีเมื่อนั้นสิ่งประดิษฐ์นั้นก็ทำเงินให้กับคนประดิษฐ์ แล้วเราจะเป็น “ชั่งตวงวัด 4.0” เมื่อไหร่ครับ????

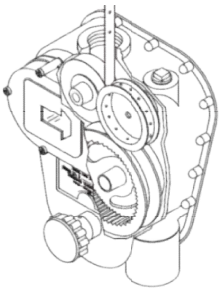


Floating Roof Tank and Float Well

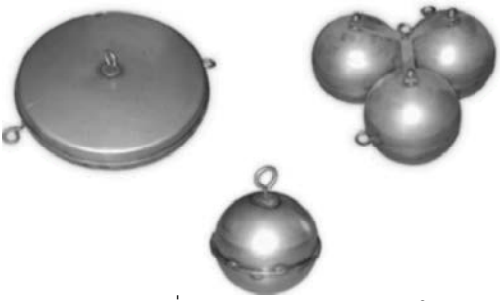


Cone roof tank with Stilling Well

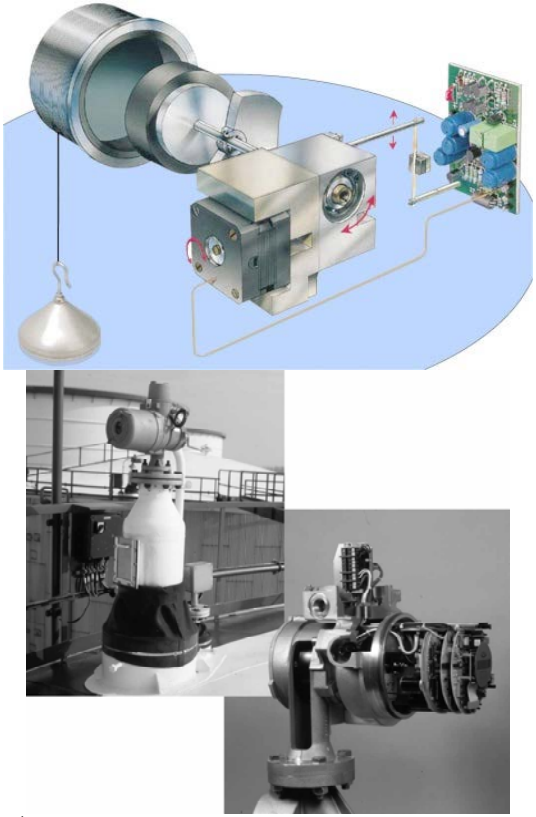
รูปที่ 1 การวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯแบบการวัดต่อเนื่อง



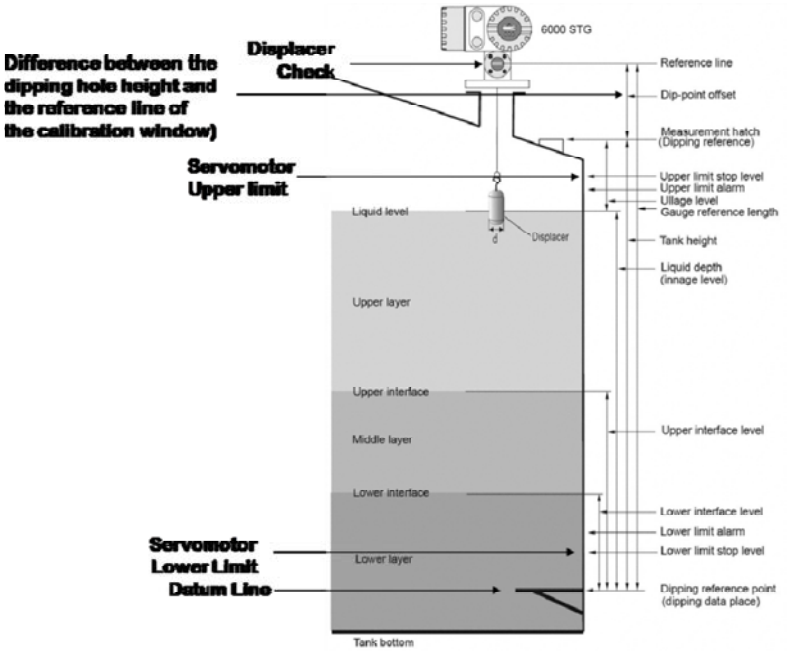
รูปที่ 2 หัวอ่านของเครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯ



รูปที่ 3 ลูกลอยของเครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯ



รูปที่ 4 เครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯแบบ Servo Operated Displacer Level Gauge

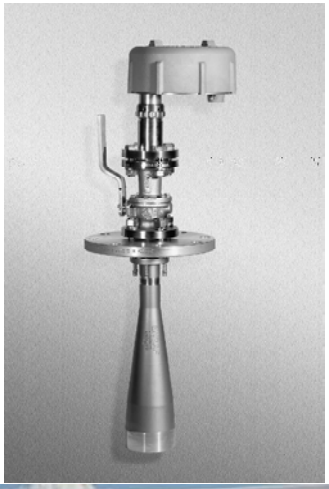


รูปที่ 5 ลักษณะการติดตั้งและค่าระยะของเครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯชนิด Servo Operated Displacer Level Gauge

2. **Single-point Level Detection** จะเป็นการวัดเฉพาะจุดระดับหนึ่ง เช่นพวกที่วัดระดับแบบลูกลอยดังรูปที่ 7 เมื่อถึงระดับที่ต้องการตัวลูกลอยก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะ on-off บ่งบอกว่าของเหลวสูงขึ้นมาถึงระดับตำแหน่งนี้แล้ว ยังมี Ultrasonic Level Switch และเครื่องวัดอื่นๆ ไม่ขอลงรายละเอียด หากผู้ใดมีความสนใจสามารถไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อน่ะ

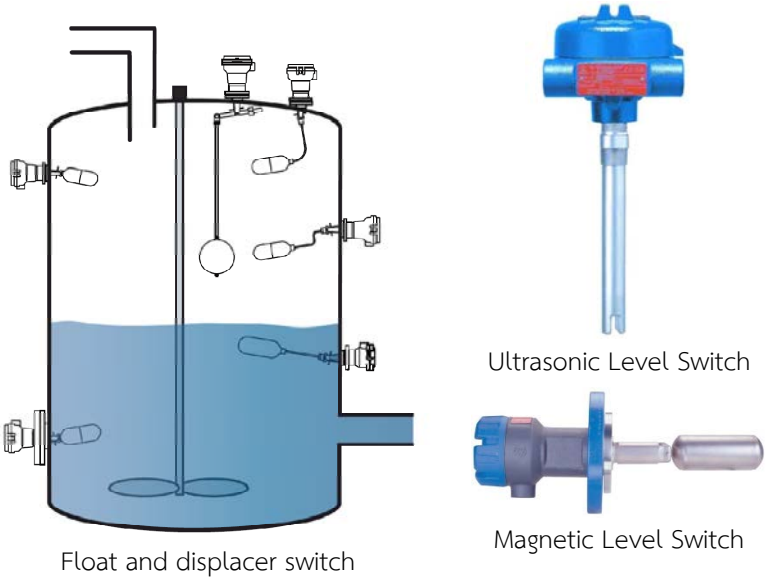
แต่ไม่ว่าจะพัฒนาเครื่องวัดระดับประจำถังสำรองฯ หรือ Automatic Level Gage (ALG) ไปอย่างไรก็ตามแต่ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดดังกล่าวก็ยังคงใช้เครื่องวัดความสูงแบบง่ายๆ ในการวัดระดับผลิตภัณฑ์ของเหลวภายในถังสำรองฯ ด้วยมือจากผู้ปฏิบัติงานชำนาญการประจำลานถังสำรองฯ ซึ่งจะมีข้อเสียอยู่บ้างโดยเฉพาะเรื่องความปลอดภัย หากของเหลวภายในถังสำรองฯที่







รูปที่ 6 เครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯชนิด Radar Gauging รูปบนเป็นเครื่องวัดที่ได้รับการพัฒนาในระยะแรกเริ่ม รูปล่างเครื่องวัดเริ่มเข้าสู่ยุคหลัง



รูปที่ 7 Single-point Level Detection ภายในถังสำรองฯ

ต้องเข้าไปทำงานเมื่อเกิดไอระเหยออกมาเป็นสารพิษและส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯด้วยมือ การจัดให้มีอุปกรณ์ความปลอดภัยป้องกันการสูดสารระเหยดังกล่าวดังในรูปที่ 8 ขวามือ เป็นเรื่องสำคัญและจำเป็น ส่วนรูปที่ 8 ซ้ายมือนั้นไม่ใช่คนผูกเนคไทกำลังตกเบ็ดตกปลานะครับ อย่าเข้าใจผิดเสียละ...

การใช้สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง หรือที่มีชื่อเล่นว่าน้อง “Sounding Tape” หรือ “Dip Tape” หรือชื่อเล่นอื่นๆ (ยังไม่ทราบได้แต่น่าจะไม่ใช่น้องกิ๊กแน่นอนครับ) ก็คงมาจากสาเหตุเมื่อใช้สายแถบโลหะดังกล่าวหย่อนลงในถังสำรองฯน้ำมันเพื่อวัดระดับน้ำมันภายในถังสำรองฯเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง แล้วจะรู้ได้อย่างไรว่าตำแหน่งอ้างอิงหรือจุดเริ่มต้นอ้างอิงที่ถูกใช้เป็นระดับอ้างอิงจริงๆ ทุกครั้งของการวัดระดับนั้นมันอยู่ตรงไหน ในขณะที่เราไม่สามารถมองทะลุชั้นน้ำมันดิบหรือน้ำมันสำเร็จรูปเพื่อสังเกตมองหาตำแหน่งระดับอ้างอิงดังกล่าวภายใน




รูปที่ 8 วัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯด้วยมือโดยใช้ Sounding Tape

ถังสำรองฯได้ เจ้าระดับอ้างอิงภายในถังสำรองฯนี้เค้าก็มีชื่อเล่นว่า “Dip Plate” หรือ “Datum Plate” หรือ “Strike Plate” (ดูรูปที่ 5 Datum Line) ดังนั้นเมื่อหย่อนสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งที่ทำด้วยทองเหลือง (ป้องกันการเกิดประกายไฟ) หรือมีชื่อเล่นว่า “Bob” ไปกระแทกกับ Dip Plate จนได้ยินเสียงกระทบกระทั่งกันระหว่างลูกดิ่งกับ Dip Plate ประจำถังสำรองฯน้ำมันถือว่าลูกดิ่งไปนั่งอยู่บนตำแหน่งอ้างอิงแล้วละครับ ลักษณะการเกิดเสียงนี้กระมั่งจึงทำให้เรียกว่า Sounding Tape นอกจากนี้ในการนั่งลงของน้อง Bob กับน้อง Dip Plate ก็อาจมีการกระทบกระทั่งกันบ้างจนในบางครั้งน้อง Bob ก็ด้วนลงในขณะที่น้อง Dip Plate ก็สึกทะลุเป็นรูเลยก็มี แต่นั้นคงต้องใช้เวลาหลาย 10 ปีหรือน้อยกว่านั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของผู้ใช้ Sounding Tape ครับ ในขณะเดียวกันบางท่านก็ไม่เคยเรียกว่า Sounding Tape คงเพราะไม่เคยกระทำให้มันเกิดเสียงเพียงแต่ใช้สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งหย่อนลงไปแบบตกเบ็ดจากนั้นดึงสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งขึ้นมาอ่านค่าความสูงกลุ่มคนอย่างหลังก็จะให้ชื่อเล่นสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งว่า น้อง “Dip tape” กระมัง (อย่าเชื่อผมมาก)

เพื่อให้เข้าใจตรงกันในเรื่องการวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองฯ เรามาดูนิยามของค่าความสูงหรือระยะต่างๆ ตามข้อกำหนดของ OIML R 85-1 & 2, Edition 2008 (E), Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks (ดูรูปที่ 9)

1. จุดระดับอ้างอิง (Dipping datum point) หมายความว่า จุดตัดกันระหว่างแกนวัดตั้งฉาก (Vertical Measurement Axis) กับพื้นผิวด้านบนของแผ่นระดับอ้างอิง หรือพื้นผิวของระดับก้นถังในกรณีที่ถังไม่มีแผ่นระดับอ้างอิงโดยถือว่าจุดตัดดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของการวัดระดับของของเหลวภายในถังสำรองฯ

2. แผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) หมายความว่า แผ่นแนวขนานซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างของถังในแนวแกนวัดตั้งฉากใต้จุดอ้างอิงบนสุด ดูรูปที่ 5 ตำแหน่งแนว Datum Line จะเห็นเป็นแผ่นโลหะพร้อมเหล็กโครงสร้างเท้าแขนเชื่อมติดกับผนังถังสำรองฯ

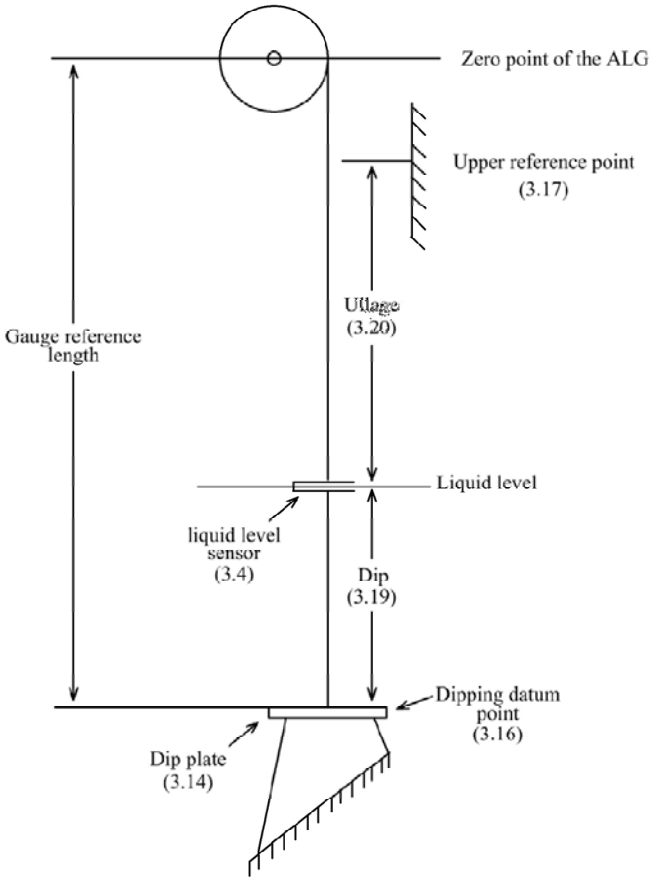
3. ระยะวัด (Dip) หมายความว่า ระดับความสูงของของเหลวซึ่งวัดในแนวดิ่งจากจุดระดับอ้างอิงถึงผิวหน้าของของเหลว

4. จุดอ้างอิงบนสุด (Upper reference point) ดูรูปที่ 9 หรือ Reference Gauge Point ในรูปที่ 10 หมายความว่า จุดบนสุดของถังซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงระดับความสูง (Ullage or Height) วิธีการหาระดับดังกล่าวก็คงทั้งส่องกล้องของพวกโยธาฯ ที่แบกๆ 3ขากันไปมานั่นแหละ หรือมีวิธีการอื่นๆ ตามเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป แล้วก็ทำแผ่นโลหะบอกระดับอ้างอิงความสูงดังกล่าวพร้อมแขวนประจำที่ไว้หรือตอกตัวเลขค่าระดับอ้างอิงบนสุดลงบนหน้าแปลนบริเวณทางเข้าของช่องทางที่เราส่ง sounding tape ลงถังไป หรือเรียกว่า “Gauging Hatch” นั่นเอง

5. ระดับความสูง (Ullage or Height) หมายความว่า ระยะความสูงของที่ว่างภายในถังซึ่งวัดจากผิวหน้าของของเหลวถึงจุดอ้างอิงบนสุดของถัง

ในชีวิตความเป็นจริงเราพบว่าในถังสำรองฯมันไม่ใช่มีเพียงแต่น้ำมันอย่างเดียวหากมีน้ำผสมเข้ามาด้วยจากหลายสาเหตุในระหว่างแต่ละขบวนการผลิตหรือขนส่ง เช่น ขั้นตอนการ Unload น้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมันซึ่งวิ่งมาจากทะเล

เหนือซึ่งอาจดูดน้ำที่อยู่ใน compartment (ลักษณะเป็นห้องๆไว้บรรจุของเหลว) ของเรือขึ้นมาด้วย โดยน้ำใน compartment ดังกล่าวอาจถูกใช้ในการบริหารการเอียงหรือถ่วงดุลเรือสำหรับการเดินทาง หรืออาจมีนำเข้าสู่ระบบในระหว่างการ Load/Unload น้ำมันลงเรือหรือขึ้นจากเรือในระหว่างจอดรายทางก็อาจเป็นได้ ส่งผลให้ในการหาระดับน้ำมันในถังสำรองฯเราต้องใจเย็นๆ ต้องรอให้น้ำกับน้ำมันเค้าแยกชั้นกันก่อน น้ำซึ่งมีค่าความหนาแน่นกว่าน้ำมันเค้าก็จะแยกชั้นแบบสำนึก



รูปที่ 9 ระยะและตำแหน่งการวัดระดับของเหลวภายในถังฯ (OIML R85-1,2008)

ตัวลงไปอยู่ชั้นล่างสุด ส่วนน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงทำตัวลอยอยู่เหนือ ปัญหาทุกอย่าง ออ! อยู่เหนือน้ำนะ (ดูรูปที่ 13) อ้าว ! คราวนี้ก็ยุ่งสิ เราต้องการทราบปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์น้ำมันภายในถังสำรองฯดันมีน้ำปนมา ในแง่ของราคาไม่ว่าน้ำทะเล น้ำจืด น้ำฝน ราคามันก็ถูกกว่าน้ำมันซิ หากคำนวณรวมปริมาตรน้ำเข้าไปด้วยคงเจ๊ง เช่น ขายข้าวเปลือกดันแถมหลักกิโลเมตรของทางหลวงเข้ามาด้วย อย่างนี้ก็ไม่ไหว ดังนั้นจึงต้องหาทางวัดระดับน้ำภายในถังสำรองฯ ครั้นจะลงถังสำรองฯ มุดดำน้ำ(มัน)ลงไปวัดก็คงใช่ที่ ฝรั่งเค้าก็แก้ปัญหาโดยผลิตสารเคมีที่เปลี่ยนสีเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำมัน และสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ (น้ำทะเล น้ำฝน น้ำบาดาล ฯลฯ) (ดูรูปที่ 10) จากนั้นนำสารเคมีดังกล่าวไปทาบนตัวสายแถบโลหะหรือลูกดิ่งเพื่อหารอยตัดกันของน้ำกับน้ำมันเมื่อวัดระดับบริเวณก้นถังสำรองฯ ดังรูปที่ 11 (ก) และทาสารเคมีบนตัวสายแถบโลหะเพื่อหารอยตัดกันระหว่างน้ำมันกับอากาศเมื่อวัดตำแหน่งผิวระดับน้ำมัน ดังรูปที่ 11 (ข) หากคนอ่านแล้วคิดตาม อาจมีคำถามเกิดขึ้นในใจว่าแล้วเราจะทาสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำกับน้ำมันอยู่บริเวณไหน คำตอบก็คือเราต้องกะๆประมาณความสูงเอาถ้ากะผิดก็ต้องดึงสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งขึ้นลงกันหลายรอบ ก็เท่านั้น



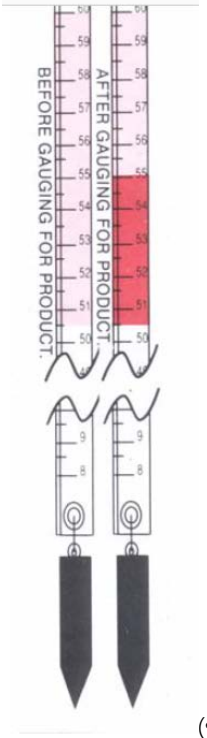
รูปที่ 10 รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีคือระยะรอยต่อระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมัน







(ก)



(ข)

รูปที่ 11 การใช้น้ำยาสารเคมีเพื่อแยกแยะ

(ก) ระดับน้ำกับน้ำมัน (Water cut) ด้วย Water Finder Paste และ

(ข) ระดับน้ำมันกับอากาศ (Product Cut) ด้วย Oil/Gasoline Finder Paste

เมื่อให้ข้อมูลรอบด้านพอประมาณแล้ว เรามาเข้าเรื่องกันเสียที พอแบ่งวิธีการวัดระยะความสูงของเหลวภายในถังสำรองฯ เพื่อจะแปลงระยะความสูงไปเป็นค่าปริมาตรบรรจุของถังสำรองฯด้วย Tank Table นั้น ออกเป็น 2 แบบคือ

1. INNAGE Method เป็นการยึดเอาจุดระดับอ้างอิง (Dipping datum point (ดูรูปที่ 9) หรือ The datum line (รูปที่ 5) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งบริเวณใกล้ก้นถังสำรองฯ แต่จะอยู่สูงกว่าจุดสูงสุดของพื้นถังสำรองฯ โดยทั่วไปประมาณ 10 ซม. เพื่อเป็นการเผื่อระยะไว้สำหรับการสะสมขี้โคลน ฝุ่น กรวดทรายที่ปนมากับของเหลวแล้วตกตะกอน โดยระยะดังกล่าวเพื่อให้มีปริมาตรเพียงพอต่อการสะสมขี้โคนต่างๆ เพียงพอเมื่อเวลาผ่านไประยะเวลาหนึ่งแล้วจะไม่สะสมสูงเกินความสูงของ Dip Plate โดยปกติแล้ว Dip Plate จะถูกติดตั้งในตำแหน่งมั่นคงถาวรและเชื่อมยึดติดกับผนังถังสำรองฯวงแรกสุดบริเวณพื้นถังสำรองฯซึ่งเป็นผนังถังสำรองฯที่มีความหนาสูงสุด จากนั้นวัดระยะขึ้นไปจาก Dip Plate จนถึงระดับผิวของเหลว ซึ่งระยะดังกล่าวนี้เป็นระยะความสูงของเหลวล้วน หรือ “ในเนื้อของเหลว” นั่นเอง ฝรั่งจึงเรียกว่า “INNAGE” แต่มีข้อจำกัดบ้างนั้นคือ

- ของเหลวภายในถังสำรองฯต้องไม่หนืดจนเกินไป จนเมื่อทิ้งลูกดิ่งลงไปในถังสำรองฯแล้วของเหลวต้องไม่ต้านการเคลื่อนลูกดิ่งทำให้ลูกดิ่งเคลื่อนที่เบี่ยงเบนออกไปด้านข้างจนไม่ได้แนวตั้งฉากกับ Dip Plate
- ลูกดิ่งต้องยื่นอยู่บนตำแหน่งของ Dip Plate หากบน Dip Plate มีขี้โคลนตะกอนหรือเครื่องมืออุปกรณ์ของเจ้าหน้าที่ประจำลานถังสำรองฯทำตกทิ้งไว้แล้วไปนอนกองอยู่บน Dip Plate นั้นหมายถึงเราไม่สามารถใช้ Dip Plate เป็นระดับอ้างอิงได้อีกต่อไป เสียหายครับ

ขั้นตอนวิธีการ **Innage Gauging**

1. ความสำคัญของตำแหน่งที่ต้องให้ความใส่ใจและระมัดระวังในการวัดให้มากคือ

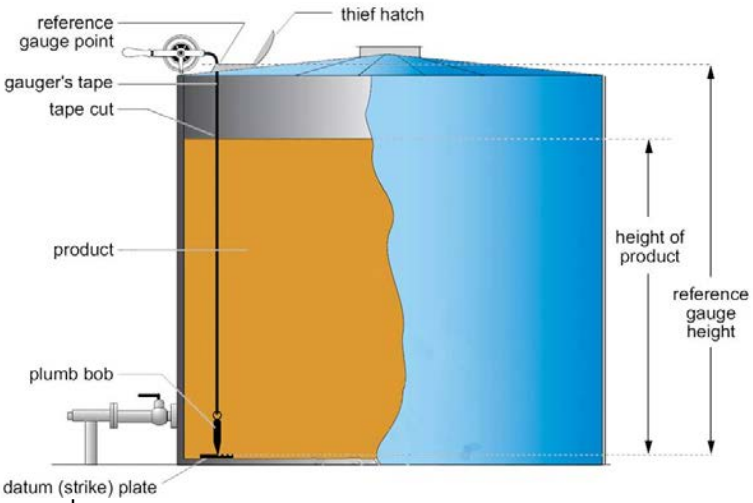
1.1. ระดับของเหลว (Product Level)

1.2. รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศ (Product Tape Cut)

1.3. รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำกับน้ำมัน (Water Cut)

1.4. ระดับ Dip Plate

2. ทาน้ำยาสารเคมีบนตัวสายแถบโลหะในระยะที่คาดว่าเป็นระดับผิวน้ำมันภายในถังสำรองฯเพื่อหารอยตัดกันระหว่างน้ำมันกับอากาศ

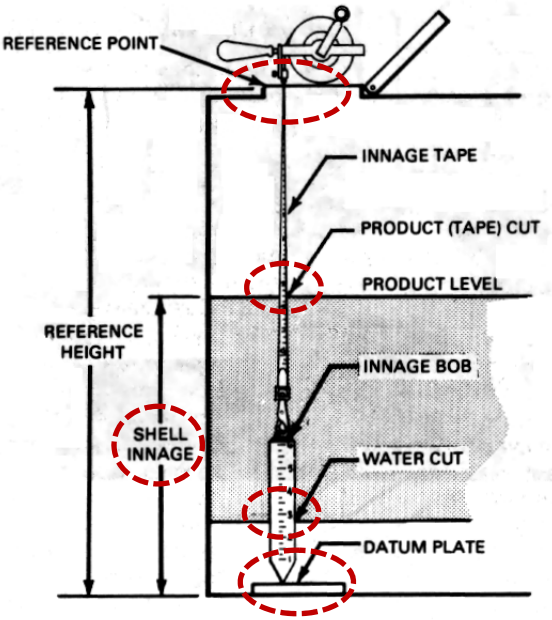


รูปที่ 12 ระยะต่างๆ ของการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯแบบ INNAGE Method

3. หย่อนลูกดิ่งเข้าช่องทางที่เรียกว่า “Gauging Hatch” ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่มีฝาปิดขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างตามการออกแบบถังสำรองฯ จากนั้นพาดสายแถบโลหะด้านที่ไม่ทาน้ำยาสารเคมีเข้ากับขอบ Gauging Hatch ที่ตำแหน่งกำหนดให้เป็น Reference Point ดังรูปที่ 13

4. ค่อยๆ หย่อนลูกดิ่งและสายแถบลงไปจนกระทั่งเข้าใกล้ตำแหน่ง Dip Plate ตรวจสอบได้โดยเปรียบเทียบค่าความสูง Reference Point กับค่าความ

สูงที่อ่านได้บนสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง เดี๋ยวหลายคนสงสัยว่า อะไรกันค่อยๆ หย่อนลูกดิ่ง ทำไมต้องประณีตจังเลย ไม่เห็นมีความจำเป็นต้องทำเนียนเลย ฯลฯ ก็ขอตอบให้เข้าใจว่าการที่ค่อยๆหย่อนลูกดิ่งเพราะป้องกันลูกดิ่งแกว่งตัวและผิวระดับของเหลวเกิดกระเพื่อม เพราะเมื่อลูกดิ่งแกว่งตัวหรือผิวของเหลวกระเพื่อมแล้วพบว่างานเข้าครับ



รูปที่ 13 วิธีการวัดแบบ Innage Gauging ด้วย Sounding Tape

5. จากนั้นต้องประณีตและใช้ความเชี่ยวชาญเฉพาะตัวของผู้ปฏิบัติงานค่อยๆปล่อยลูกดิ่งให้นั่งลงบน Dip Plate สังเกตได้ด้วยการรับรู้แรงสั่นที่ส่งมากับสายแถบ หรือจากเสียง หรือจากดมกลิ่น หรือจินตนาการสุดแล้วแต่ แต่ต้องมั่นใจว่าลูกดิ่งไม่เอียง หากตอนค่อยๆปล่อยลูกดิ่งลงในถังสำรองฯเกิดการแกว่งตัวหรือลูกดิ่งเอียงเพียงแค่ความสูง 1 มม. หากคิดเป็นปริมาตรน้ำมันประจำถังสำรองฯ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เมตร จะมีปริมาตรเท่าไรคิดเอาเองครับ หากลูกดิ่งเอียงมันยังส่งผลให้ค่าที่วัดได้ตรงรอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศ (Product Tape Cut) ผิดไปด้วยเช่นกัน ในขณะลูกดิ่งนั่งบน Dip Plate ให้ทำการทวนสอบค่าความสูงที่อ่านได้จากสายแถบโลหะเทียบกับค่าความสูง Reference Point ที่ปรากฏอยู่บน Gauging Hatch หรือจากข้อมูลที่เจ้าของถังสำรองฯแจ้งไว้ หากใกล้เคียงกันยิ่งมากนั้นหมายถึงยิ่งมีความแม่นยำในการวัดระยะความสูงของเหลวภายในถัง (dip ถัง)

6. ให้รีบดึงสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งกลับขึ้นมาอย่างรวดเร็วทันที (เพื่อความคมชัดของรอยต่อของสีน้ำยาที่เปลี่ยนไป) จากนั้นเมื่อมาถึงจุดน้ำยาสารเคมีเปลี่ยนสีให้รีบอ่านและบันทึกค่า ในกรณีที่รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศอ่านลำบากหรือไม่ชัดเจน ให้เริ่มรอบการวัดใหม่ (จนกว่าจะเก่ง แต่ก็เปลืองน้ำยา)

7. การหารอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำกับน้ำมัน (Water Cut) ทำตามขั้นตอน 3 – ขั้นตอน 6

ข้อดีของการวัดระยะความสูงด้วยวิธีการ **Innage Gauging** นั้นคือเราได้ทำการวัดความสูงของเนื้อของเหลวจริงๆภายในถังสำรองฯ อีกทั้งยังลดหรือตัดปัจจัยผลกระทบอันเนื่องจากการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนแปลงจุดอ้างอิงบนสุด (Upper Reference Point (ในรูปที่ 9) หรือ Reference Gauge Point (รูปที่ 12) หรือ จุดระดับอ้างอิง (Dipping Datum Point) ในการวัดซึ่งอาจเกิดจากการทรุดตัวของถังสำรองฯ การบวมเบ่งหรือหดเข้าตามปริมาณบรรจุของเหลวภายในถังสำรองฯ หรือ ฯลฯ ออกไป สำหรับในกรณีที่มีความสงสัยว่าจุดอ้างอิงบนสุดของถังสำรองฯมีการขยับเคลื่อนที่ แนะนำให้ใช้วิธีการวัดแบบ Innage Gauging เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถวัดและตรวจทานสอบระยะระหว่างค่า Reference Gauge Point กับ Reference Gauge Height ในแต่ละครั้งที่ทำการวัดเพื่อทำการบันทึกผลต่างของระยะที่วัดไว้ประกอบการตัดสินใจ

ข้อเสียของการวัดระยะความสูงด้วยวิธีการ Innage Gauging จากการทิ้งดิ่งจากส่วนบนสุดของถังลงไปในถังสำรองฯจนถึงจุดระดับอ้างอิง (Dipping Datum Point) บน Dip Plate เป็นระยะที่สูงมากอาจทำให้สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งไม่ได้แนวตั้งฉากเมื่อเทียบกับจุดระดับอ้างอิง หากผสมโรงด้วยคุณสมบัติของเหลวภายในถังสำรองฯที่มีค่าความหนืดสูงก็ยิ่งส่งผลกระทบเพิ่มมากขึ้นไปอีกจนทำให้ระยะการวัดยิ่งคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นไปอีก นอกจากนี้ปรากฏการณ์ขี้โคลนตม ฝุ่นซึ่งตกตะกอนอยู่บริเวณก้นถังสำรองฯ อาจถูกพัดกระจัดกระจายจากก้นถังสำรองฯ เคลื่อนตัวไปทับถมอยู่บนจุดระดับอ้างอิงทำให้ลูกดิ่งไม่สัมผัสกับจุดระดับอ้างอิงทำให้ระยะการวัดคลาดเคลื่อนขึ้นมาทันที สำหรับขั้นตอนการปฏิบัติงานเองก็มีความยุ่งยากและใช้ระยะเวลาในการดำเนินการอยู่ด้วย เช่น ต้องทำความสะอาดตัวสายแถบโลหะทุกครั้งที่ดึงขึ้นมาเพื่อขดเก็บเข้าม้วนสายแถบโลหะ แต่ถ้าหากของเหลวดังกล่าวเป็นสารพิษหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานก็ต้องมีอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยเข้ามาช่วยดังในรูปที่ 8

2. OUTAGE OR ULLAGE Method เป็นการยึดเอาจุดอ้างอิงบนสุด (Upper Reference Point) ดูรูปที่ 9 หรือ Reference Gauge Point ดูรูปที่ 11 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งบริเวณด้านบนของถังสำรองฯเป็นหลัก วิธีการนี้จึงเป็นการวัดระยะจากจุดอ้างอิงบนสุดลงมายังระดับผิวของเหลวซึ่งระยะดังกล่าวนี้เป็นระยะความสูงเหนือตัวเนื้อของเหลว หรือ “นอกเนื้อของเหลว” นั้นเอง ฝรั่งจึงเรียกว่า “OUTAGE” จึงเรียกการวัดวิธีนี้ว่า Outage Gauging หรือ Ullage Gauging หรือ Top Gauging การวัดด้วยวิธี Outage Method โดยปกติมักใช้กับการวัดของเหลวที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนสูงหรือมีความหนืดสูงมากๆ หรือเป็นของเหลวที่สะอาดและใสๆไปเลยเช่น น้ำ หรือน้ำมันเบนซิน เป็นต้น

ขั้นตอนวิธีการ Outage Gauging หรือ Ullage Gauging

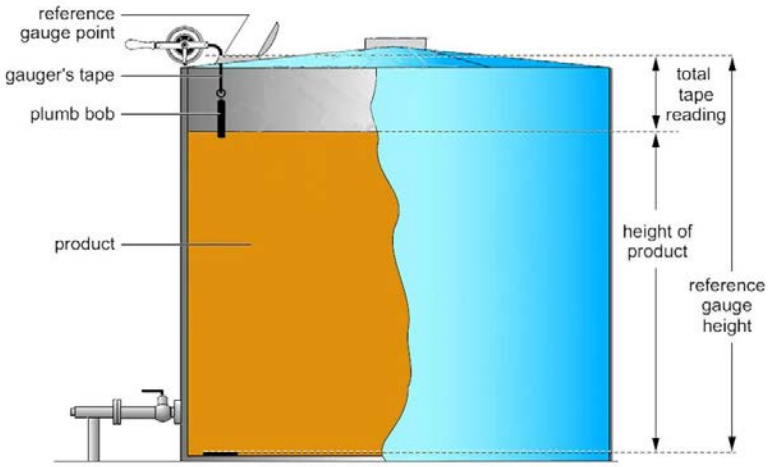
1. ความสำคัญของตำแหน่งที่ต้องให้ความใส่ใจและระมัดระวังในการวัดให้มากด้วยวิธีการนี้คือ

1.1. จุดอ้างอิงบนสุด (Upper Reference Point)

1.2. ระดับของเหลว (Product Level)

1.3. รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศ (Product Tape Cut)

2. ทาน้ำยาสารเคมีบนตัวลูกดิ่งเพื่อหารอยตัดกันระหว่างน้ำมันกับอากาศ



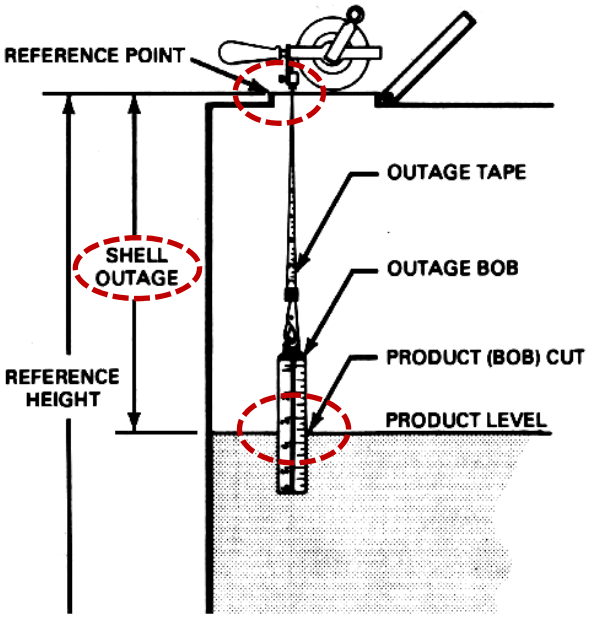
รูปที่ 14 ระยะต่างๆ ของการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองฯแบบ OUTAGE or ULLAGE Method

3. หย่อนลูกดิ่งเข้าช่องทางที่เรียกว่า “Gauging Hatch” จากนั้นพาดสายแถบโลหะด้านที่ไม่ทาน้ำยาสารเคมีเข้ากับขอบ Gauging Hatch ที่ตำแหน่งกำหนดให้เป็น Reference Point ดังรูปที่ 15

4. ค่อยๆ หย่อนลูกดิ่งและสายแถบฯ ลงไปให้สัมผัสผิวระดับของเหลว

5. คอยเวลาหนึ่ง จนมั่นใจว่าลูกดิ่งไม่มีการแกว่งตัว (รู้ได้ด้วยใจ?)

6. จากนั้นต้องประณีตและใช้ความเชี่ยวชาญเฉพาะตัวค่อยๆปล่อยให้ลูกดิ่งลงไปให้ก้นลูกดิ่งจมอยู่ในของเหลวประมาณ 2-3 นิ้วจากระดับผิวของเหลว อ่านค่าและบันทึกความสูงสายแถบโลหะที่ตำแหน่ง Reference Point



รูปที่ 15 วิธีการวัดแบบ Outage Gauging หรือ Ullage Gauging ด้วย Sounding Tape

7. ให้รีบดึงสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งกลับขึ้นมาทันที จากนั้นเมื่อมาถึงจุดน้ำยาสารเคมีเปลี่ยนสีให้รีบอ่านและบันทึกค่า ในกรณีที่รอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศอ่านลำบากหรือไม่ชัดเจน ให้เริ่มรอบการวัดใหม่

8. ระยะความสูง Outage หรือ Ullage (Shell Outage) เป็นระยะระหว่างค่าความยาวที่อ่านได้ ณ ตำแหน่ง Reference Point ลบด้วยระยะค่าความยาวที่อ่านได้ของรอยตัดของน้ำยาเปลี่ยนสีระหว่างน้ำมันกับอากาศ

9. หากต้องการหาค่า Innage สามารถหาได้จากค่า Reference Gauge Height ลบด้วย Outage

ข้อดีของการวัดระยะความสูงด้วยวิธีการ Outage Gauging หรือ Ullage Gauging เนื่องจากในขั้นตอนการวัดจะมีเฉพาะตัวลูกดิ่งเท่านั้นที่สัมผัส

กับของเหลวดังนั้นจึงเสียเวลาไม่มากในการทำความสะอาดเฉพาะตัวลูกดิ่งเมื่อม้วนขดสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง

ข้อเสียของการวัดระยะความสูงด้วยวิธีการ Outage Gauging หรือ Ullage Gauging พอจะแยกแยะได้ว่า

- เป็นการวัดความสูงของเหลวภายในถังสำรองฯด้วยวิธีการทางอ้อม เพราะไม่ได้วัดผ่านตัวเนื้อของเหลวดังเช่นวิธีการ Innage Gauging
- ค่าความสูงที่วัดได้จึงต้องได้จากการคำนวณหักลบระหว่างความสูงที่วัดได้กับ Reference Gauge High (ดูรูปที่ 14)
- ผู้ทำการวัดไม่สามารถทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนที่ของตำแหน่งจุดอ้างอิงบนสุด (Upper Reference Point) หรือ Reference Gauge Point หากมีความประสงค์ต้องการตรวจสอบก็ต้องกลับมาทำการวัดระยะด้วยวิธีการ Innage Gauging อีกครั้ง

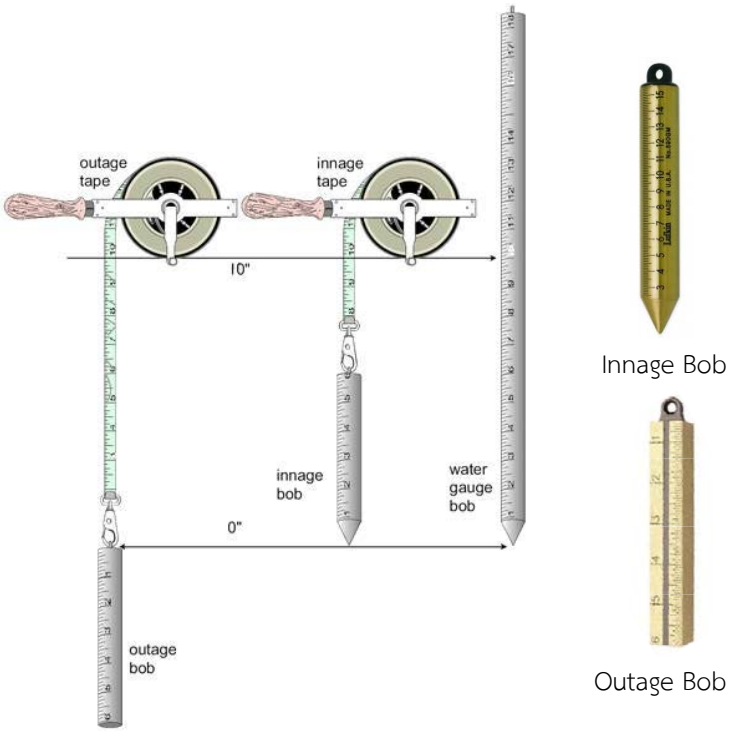
ด้วยเหตุนี้วิธีการวัดแบบ Outage Gauging หรือ Ullage Gauging จึงเหมาะกับการวัดที่มีความมั่นใจว่า ระยะ Reference Gauge Height มีระยะคงที่ตลอดเวลาไม่ว่ามีปริมาณของเหลวในถังสำรองฯเต็มถัง หรือเกือบหมดถัง ซึ่งเป็นไปได้ยากสำหรับถังสำรองฯที่มีอายุยืนยาวสูงเกิน 20 ปีขึ้นไป

ลูกดิ่ง หรือ Bob

มาพูดถึงน้องลูกดิ่งหรือ Bob คนคิดเรื่องนี้เค้าจึงแบ่ง Bob ให้คล้อยตามวิธีการวัดระยะความสูงของเหลวดังที่ได้กล่าวมาออกเป็น 2 ประเภท (ดูรูปที่ 16) คือ

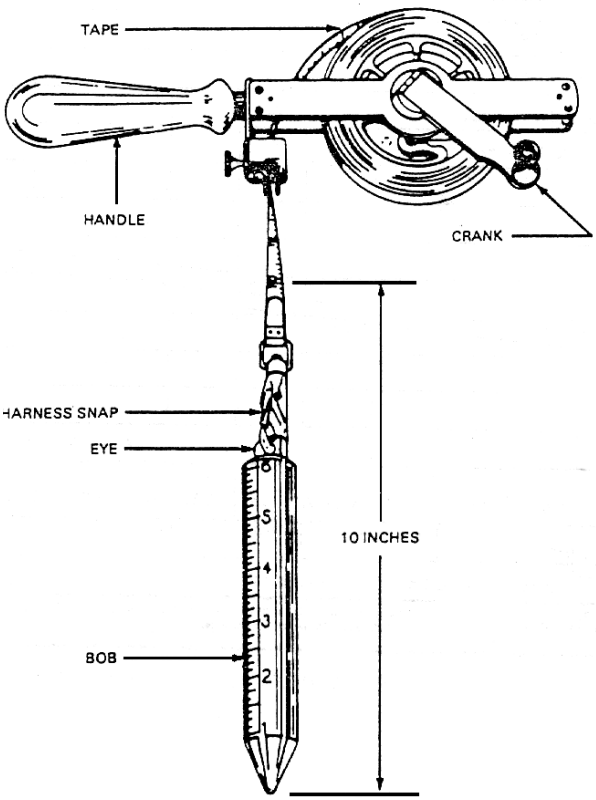
1. แบบ Innage Bob ตำแหน่งที่แสดงค่า “ศูนย์” อยู่บนปลายสุดของลูกดิ่งจากนั้นระยะเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 1, 2, ... เซนติเมตร ลูกดิ่งชนิดนี้ใช้กับวิธีการ Innage Gauging ซึ่งขอแนะนำให้ใช้สำหรับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย

2. แบบ Outage Bob ซึ่งจะมีตำแหน่งที่แสดงค่า “ศูนย์” อยู่ตรงตำแหน่งข้อต่อหรือห่วง (Eye; ดูรูปที่ 17) จากนั้นถ้าวัดจากตำแหน่งศูนย์ลงมาจะเป็นค่าติดลบเป็นขีด -1, -2, ...เซนติเมตร จนถึงตำแหน่งปลายสุดของ Bob หรือลูกดิ่งนั้นคือมีค่าเสมือนค่าติดลบ ทั้งนี้ตำแหน่งปลายสุดจะไม่ใช่ตำแหน่งศูนย์ของสายแถบโลหะ แต่หากนับขึ้นไปจากตำแหน่งศูนย์หรือตำแหน่งข้อต่อจะเป็นจำนวนบวก ลูกดิ่งชนิดนี้ใช้กับวิธีการ Outage Gauging. นอกจากนี้สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งชนิดนี้ไม่สอดคล้องกับลักษณะตามที่กำหนดไว้ใน OIML R 35-1, Edition 2007 (E) การหาตำแหน่ง “ศูนย์” ให้ชัดเจนกระทำได้ยาก



รูปที่ 16 Bob หรือลูกดิ่งแบบ Innage Bob และแบบ Outage Bob

สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งที่ส่งมาสอบเทียบที่ชั่งตวงวัดส่วนใหญ่จะมีปัญหาในช่วงความยาว 5 เมตรแรก เนื่องจากการใช้งานหรือใช้งานไม่ทะนุถนอม เช่น สายแถบโลหะจนเกิดการพับหักงอ หรือปลายลูกดิ่งสึกหรอ สายแถบโลหะยืดไม่คืนตัว เป็นต้น ทำให้มีค่าผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่เรายอมให้ไว้ตามขั้นตอนสอบเทียบ SOP-LEN-202 (Download ได้ที่ www.cbwmthai.org) ก็น่าเสียดายครับเพราะราคาต่อเครื่องวัดแพงเอาการเหมือนกัน ดังนั้นจึงควรใช้งานด้วยความนุ่มนวลและใส่ใจด้วย



รูปที่ 17 ชื่อชิ้นส่วนประจำสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง (ต้องเป็นหน่วย IS Unit)

เรามาดูอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 นั้นจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง Class 2, OIML R 35-1, Edition 2007(E) กำหนดให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการสอบเทียบอย่างมากสุดต้องไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกคือ Class II หรือ Class I สำหรับแบบมาตรา เมื่อ L เป็นจำนวนเต็มบวก หน่วย เมตร นั้นคือผลผิดระยะระหว่างจำนวนเต็มบวกให้เอาจำนวนเต็มบวกถัดไปมาใช้ เช่นผลผิดที่ความยาวเครื่องฯ 3.5 เมตร สำหรับชั้นความเที่ยง Class II มีค่าเท่ากับ ±(0.3+(0.2*4)) = ±1.1 มม. ถ้าจะมองเป็นขั้นบันไดน่าจะเข้าใจได้ง่ายขึ้น

	OIML 35-1: 2007		กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2546
Scale Accuracy	Class I	Class II	
MPE	± (0.1 + 0.1L) mm.	± (0.3 + 0.2L) mm.	± (0.3 + 0.2L) mm.

รูปที่ 18 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง

เล่าสู่กันฟัง 1

เมื่อทำงานเวลาผ่านไป เรามักจะได้พบเห็น ได้ฟัง ได้พูดคุยแลกเปลี่ยนเรื่องราวกันฟังระหว่างพี่น้อง เพื่อนฝูง เพื่อนร่วมงาน มีเรื่องทั้งที่รู้และไม่รู้ มีเรื่องทั้งตอบได้และไม่มีความรู้ที่จะไปตอบได้ เพราะงานชั่งตวงวัดมันผสมผสานศาสตร์ความรู้หลายชนิดเหลือเกิน เช่น ความรู้ทางเคมีในการใช้เพื่อยกระดับและหาความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังในหัวมันสำปะหลังกับแรงลอยตัวของหัวมันสำปะหลังภายในน้ำสะอาดอันเนื่องจากเนื้อแป้ง ความรู้ทางไฟฟ้า, อิเลคทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์ในเรื่องส่วนแสดงค่าและส่วนประมวลผลของเครื่องชั่งรถยนต์เพราะวันนี้การบูรณาการเครื่องชั่งตวงวัดผ่านไปยังระบบบริหารการจัดการเรื่องสินค้าคงคลัง (Inventory) การบริหารเรื่อง Logistic ก็เข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย เช่น เวลาใดหรือช่วงเวลาไหนควรขนสินค้าส่งสถานที่จำหน่าย การขนสินค้าเวลากลางคืนรถไม่ติดและทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและไม่ติดเวลา หากขยับเป็นเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์เราต้องการผู้มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธาเพราะอะไรหรือครับ เพราะส่วนรับน้ำหนัก (platform) ที่เป็นโครงสร้างโลหะรองรับตัวรถยนต์บรรทุกเพื่อส่งผ่านแรงไปยังโหลดเซล หรือระบบคานทดต้องมีความแข็งแรงทนทานและไม่บิดเบี้ยวโค้งงอและควรมี Safety Factor ในการคำนวณการออกแบบโครงสร้างไม่น้อยกว่า 2.5 หากน้อยกว่านี้หรือโครงสร้างโลหะรองรับตัวรถยนต์บรรทุกบิดเบี้ยวโค้งงอนั้นหมายถึงค่าน้ำหนักที่ควรชั่งได้สูญเสียไปกับการบิดเบี้ยวโค้งงอของโครงสร้างโลหะรองรับตัวรถยนต์ การแข่งขันในทางราคายิ่งรุนแรง Safety Factor ในการคำนวณการออกแบบโครงสร้างยิ่งน้อยลงน้อยกว่า 2.5 แล้วใครเดือดร้อน ? คิดดูครับ นอกจากนี้เราจะรู้ได้อย่างไรว่าการเชื่อมต่อสัญญาณจากตู้จ่ายน้ำมันในสถานีบริการไปยังคอมพิวเตอร์ในห้องผู้จัดการสถานีบริการน้ำมันเพื่อใช้ในการบริหารจัดการของสถานีบริการที่ต้องการน้ำมันให้มีขายตลอดเวลาแบบ “Just in Time” นั้นจะเป็นการเชื่อมสัญญาณเพื่อ

ดึงข้อมูลออกไปจากตู้จ่ายน้ำมันในทิศทางเดียวไม่สามารถส่งผ่านคำสั่งใดๆ ที่ทำให้มาตรวัดปริมาตรของเหลวของตู้จ่ายวัดปริมาตรผิดไปภายหลังจากตรวจสอบให้คำรับรอง และอื่นๆ อีกมากมาย

ส่วนเรื่องการบริหารจัดการชั่งตวงวัดในหัวข้อเรื่อง “Outsourcing” นั้นคือมีอะไรให้เอกชนทำไปเลย อันนี้ผมเห็นด้วยนะแต่ขอให้ระมัดระวังว่าเมื่อ outsource งานชั่งตวงวัดออกไปแล้วชั่งตวงวัดเรายังมีเชือกผูกไว้เพื่อสามารถกระตุก หรือควบคุมได้หากมีการกระทำที่นอกลู่นอกทางเพราะขึ้นชื่อว่าผู้ทำธุรกิจแล้ว คือการทำกำไรครับไม่ใช่การทำการกุศล เรื่องหนึ่งที่อยากยกขึ้นมาคือการตรวจสภาพรถยนต์ของกรมการขนส่งทางบกเป็นเรื่องดีครับสะดวกรวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายและภาระงานที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากรถยนต์เข้าสู่ท้องถนนมากขึ้นในอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงภาครัฐไม่มีความยืดหยุ่นที่รับภาระงานในลักษณะนี้ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะเวลาหนึ่ง การ Outsource ผ่านไปหลายปีสงสัยกรมขนส่งทางบกพึ่งนึกออกว่าเหมือนปล่อยเสือเข้าป่า เพราะเมื่อไม่นานมานี้พึ่งให้ผู้ประกอบการเอกชนตรวจสอบสภาพรถยนต์ให้ทำการเชื่อมต่อเครื่องมือทุกตัวเข้าระบบงานของกรมขนส่งทางบกเพื่อส่งผลการวัดและรายงานผลการวัดเข้าระบบงานกรมขนส่งทางบก พร้อมเปิดช่องทางให้ประชาชนเข้าไปตรวจสอบผลการตรวจสภาพรถยนต์ได้ (โดยใช้ข้อมูลดิบที่มีอยู่ถูกนำไปสร้างมูลค่าเพิ่มได้ อีกทั้งยังมีความโปร่งใส่ด้วย) นั้นหมายถึงกรมขนส่งทางบกเริ่มเข้าใจว่าการ Outsource เป็นเรื่องดีแต่ต้องมีวิธีจัดการ โดยเฉพาะต้องมีเชือกผูกไว้เพื่อรับรู้การเปลี่ยนแปลงของ Outsource และสามารถกระตุกเชือกได้เมื่อ Outsource ล้ำเส้น แล้วเราพร้อมหรือยัง !!! เตรียมตัวและเตรียมก้าวย่างกันแล้วหรือยัง....ด้วยงบประมาณ 80-120 ล้านบาทต่อปีหักค่าเงินเดือนแล้วเหลือครึ่งหนึ่ง มีเงินพอเตรียมการเพื่อมองหาเทคโนโลยีและเตรียมคนรองรับกันแล้วหรือยัง เอาอย่างนี้เราตั้ง “CBWM DATA Center” กันก่อนดีมั๊ย

เมื่อพูดเรื่อยเปื่อยไปแล้วเอาอีกสักเรื่องก็แล้วกัน ได้ยินมาว่าการบริหารงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นมันต้องดู

Trend ของโลกด้วย (ชักเป็นภาษาไทยคำประกิตคำ อย่าว่าผมเลย...ผมจำเค้ามา !!) อันนี้เรานั่งทำงานชั่งตวงวัดมานานพอสมควรเราเห็นอย่างนี้นะ เดิมทีในราชสมัยรัชกาลที่ 5 พระองค์มีพระราชประสงค์ให้ร่างกฎหมายเพื่อดูแลการตีมูลค่าสินค้าที่ทำการค้าขายกับพวกตะวันออกและพวกตะวันตกเพราะใช้หน่วยวัดไม่เหมือนบ้านเรา บ้านเมืองมันวุ่นวาย จนมาดำเนินการสำเร็จในราชสมัยราชกาลที่ 6 ในขณะเดียวกันใน พ.ศ. 2455 (ค.ศ.1912) ราชสมัยรัชกาลที่ 6 ประเทศไทยหรือ “ประเทศสยาม” ในสมัยนั้นได้เซ็นสนธิสัญญาที่เก่าแก่รองอันดับ 2 ของโลกคือ อนุสัญญาระบบเมตริก (Metric Convention) และมีฐานะเป็นสมาชิก “Member States” นอกจากนั้นได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) ที่ประเทศฝรั่งเศสตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน พร้อมกับมีพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ขึ้นมา เมื่อผ่านยุคสมัยอุตสาหกรรม โลกมันก็เปลี่ยนหรือที่เค้าเรียกว่า “Trend” หรือ “Change” นะคุณงานของ BIPM ไม่ตอบโจทย์แล้วซิครับเพราะ BIPM จะดูแลงานที่เป็น “Science Metrology” นั้นคือดูแลหน่วยพื้นฐานของหน่วยวัด ทำอย่างไรละทีนี้เพื่อตอบโจทย์ตามความเชี่ยวชาญเฉพาะสาขาโดยเฉพาะ “Legal Metrology” ซึ่งผูกพันกับอุตสาหกรรมในยุโรปและโลก หน่วยงานระดับนานาชาติที่มีอักษรย่อว่า “OIML” หรือมีชื่อเต็มว่า “องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (International Organization of Legal Metrology, OIML)” พี่ก็เกิดขึ้นมาเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2498 (ค.ศ. 1955) เราชั่งตวงวัดเลยต้องเปลี่ยนเส้นทางชีวิตครับเพราะได้ PTB จากรัฐบาลสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีให้ช่วยเหลือผ่านโครงการ “Upgrading Legal Metrology in Thailand” ดังนั้นกองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์จึงเป็นตัวแทนในนามของประเทศไทยเป็นสมาชิกสมทบ (Corresponding Members) ในวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2538 (ช้าไปเกือบ 40 ปีแต่ระหว่างนั้นก็ต้องตั้งงบประมาณจ่ายค่าสมาชิก BIPM ไปด้วยนะครับ ชั่งตวงวัดเรามีความรับผิดชอบ 555...) จนถึงปัจจุบัน สงสัยอาจเป็นเพราะเอกสารภาษาอังกฤษที่ส่งมาจาก BIPM มันอ่านไม่รู้เรื่องหรือเปล่าก็ไม่ทราบได้

ขอรับ และน่าคิดตรงที่ว่างาน Legal Metrology ในสหพันธ์สาธรณรัฐเยอรมนีเกิดบนพื้นฐานความต้องการทางด้านอุตสาหกรรมในขณะที่ประเทศสยามพบว่างาน Legal Metrology เกิดขึ้นบนความต้องการทางด้านเกษตรกรรม แต่ที่แน่ๆ .....นี้คือ “Trend” ครับ (Did you get it? SIR.)

เล่าสู่กันฟังวกกลับเข้ามาสู่เรื่องงานในทางปฏิบัติ ที่จะเล่าให้ฟังว่ากาลครั้งหนึ่งนานมาแล้ว... มีบริษัทหนึ่งทำหน้าที่เป็น Third Party หรือบริษัทคนกลางที่ให้บริการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดได้นำถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) มาสอบเทียบที่ชั่งตวงวัด ในระหว่างดำเนินการสอบเทียบพบว่าได้ค่าความสูงของค่าพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราที่ไม่คงที่ส่งผลให้ได้ค่า Repeatability ใหญ่โตเกินกว่าค่า Repeatability ที่ยอมรับได้คือค่า Repeatability ของการสอบเทียบต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05% มึน!! กันซิครับ เพราะอย่างไรชั่งตวงวัดก็ไม่รายงานผลการสอบเทียบให้แน่นอนครับ จะไม่รักชั่งตวงวัดก็ไม่ว่าครับ เพราะนี้คือคำมั่นสัญญาค่าความน่าเชื่อถือของชั่งตวงวัด (ถึงแม้บุคคลที่เกี่ยวข้องไม่รู้ว่าเราทำอะไร ก็ช่างมันเถอะครับ) แต่ที่แน่นอนคือไม่รายงานผลการสอบเทียบถังตวงแบบมาตราถังนี้โดยเด็ดขาดจนกว่าแก้ไขหรือทำให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ พอตั้งหลักได้ก็ถามไถ่หรือที่ฝรั่งเค้าว่า “Investigation” นะครับ เจอผู้ร้ายปากคอนกรีตเสริมเหล็กบวกกับยืนกระต่ายขาเดียว (ขาคอนกรีตเสริมเหล็ก) ว่าถังตวงแบบมาตราดังกล่าวไม่ไปทำอะไรมา ไม่ได้ซ่อม ล้างถังสะอาดดีเสมอหลังเสร็จจากการใช้งาน (มาตรฐานช่างเสร็จงานล้างเครื่องมือกวาด shop กันเลยว่างั้นเถอะ) อันนี้อาจจะเป็นความเชื่อโดยสุจริตใจก็ได้ครับ เราเคารพครับ พวกเราก็พากันสงสัยว่าภายในถังตวงมันเป็นอย่างไรกันแน่ กล้องงูก็ไม่มี ไม่มีเครื่องมือที่ส่องเข้าไปดูภายในถังได้ เลยต้องถามความสมัครใจว่าจะเปิดฝาถังตวงแบบมาตราหรือไม่ ปรากฏว่าเปิดฝาถังครับ.... พอเปิดฝาถังออกมาโลกก็ชัดเจนขึ้นมาครับ วิทยาศาสตร์พึ่งพาได้ครับ ไม่ต้องใช้ไสยศาสตร์ครับ เราพบว่ามีคราบที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่บริเวณผนังภายในถังตวงแบบมาตราและแผ่นฟิล์มดังกล่าวมีความเหนียวเพียงพอที่เป็นเสมือนกระเป๋ากักเก็บน้ำไว้ซึ่งลักษณะการกัก

เก็บน้ำไว้นั้นไม่คงที่ทำให้เมื่อระบายน้ำออกจากถังตวงแบบมาตราในแต่ละรอบการสอบเทียบไม่สามารถระบายน้ำออกจากถังตวงแบบมาตราได้ในลักษณะคงที่และมีการค้างของน้ำมากบ้างน้อยบ้างต่างกันไปในแต่ละรอบการสอบเทียบ ทำให้เมื่อถ่ายน้ำออกจากถังตวงแบบมาตราของชั่งตวงวัดเข้าสู่ถังตวงแบบมาตราของบริษัท Third Party นั้นเป็นปริมาตรคงที่แต่ปริมาตรน้ำที่ค้างภายในถังตวงแบบมาตราของบริษัท Third Party โดยแผ่นฟิล์มเก็บกักไว้มีค่าไม่คงที่ (คล้ายถุงหน้าท้องของจิงโจ้) ผลตามมาทำให้ค่าความสูงของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตรามีค่าไม่คงที่ส่งผลให้ได้ค่า Repeatability ที่ใหญ่โตเกินกว่าค่า Repeatability ที่ยอมรับได้คือต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05% ภายหลังเจ้าหน้าที่บริษัทฯ ทำการขูดแผ่นฟิล์มพร้อมล้างทำความสะอาดภายในถังเสร็จสิ้นและทำการสอบเทียบถังตวงแบบมาตรารอบใหม่ปรากฏว่าได้ Repeatability มีค่าน้อยกว่า 0.05% ทุกอย่างจบครับ มายอมรับกันภายหลังว่านำไปใช้งานกับของเหลวจำพวกสีหรือสารตัวทำละลาย (Solvent) ครับ แต่หากย้อนกลับไปหากแก้ไขปัญหาไม่ได้ บริษัทฯ ก็อาจบ่นว่าชั่งตวงวัดเป็นนักวิชาการฯ มากเกินไป ไม่รู้จักอะลุ่มอล่วย (compromising) ไม่รู้จักเห็นใจคนทำมาหากิน มาตรฐานการทำงานสูงเหลือเกิน.... ฯลฯ ก็ต้องทนฟังกันต่อไปเรามัน “ข้าราชการ” แต่ลืมบอกไปว่าคุณนะเข้าใจผิด ผม (มีอีโก้นิดๆ) ไม่ใช่นักวิชาการ ผมเป็น “นายช่าง” ครับ ส่วนคำตอบที่พนักงานบริษัทฯ บอกว่านำไปใช้กับของเหลวจำพวกสีอันนี้นำไปสู่สิ่งที่น่ากลัวอีกเรื่องหนึ่ง ที่ว่าข้อจำกัดในการใช้ถังตวงแบบมาตราในการตรวจสอบ (Inspection) หรือสอบเทียบ (Verification) มาตรวัดปริมาตรของเหลว (Flowmeters) นั้นต้องเป็นของเหลวต้องมีค่าความหนืดไม่เกินกว่า 5 cSt เราได้ยินแว่วมาว่ามีอีกบริษัทฯ หนึ่งที่ทำธุรกิจ Third Party เช่นกันได้ใช้ถังตวงแบบมาตราไปสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีค่าความหนืดเกินกว่า 5 cSt เหนื่อยครับๆๆๆ ถามว่าให้เปลี่ยนแบบมาตราจากถังตวงแบบมาตราเป็น Master flowmeter หรือ Compact Prover เราก็จะถูกย้อนกลับมาว่าไม่มีเงินลงทุนมันแพง รับงานมาเงินน้อย หรือถ้าซื้อมาแล้วชั่งตวงวัดสอบเทียบแบบมาตราดังกล่าวได้หรือไม่..ชั่งตวงวัด

ก็ไม่มีงบประมาณเพียงพอในการดูแลงานชั่งตวงวัดทางด้านอุตสาหกรรมปิโตรเลียม แค่เครื่องมือชิ้นเดียวในวงการปิโตรเลียมก็มีมูลค่าสูงกว่างบประมาณประจำปีของสำนักชั่งตวงวัดซึ่งอยู่ประมาณ 80-120 ล้านต่อปีซึ่งเป็นงบรายจ่ายประจำ 40-50% เข้าไปแล้ว ที่เหลือ....คิดเอาเอง เพ้ๆพี่ๆหาเงินเติมน้ำมันรถเครนตรวจเครื่องชั่งโรงสีกันหน่อยซิครับ

เรื่องเล่าเล่นๆ (แต่จริง) ต่อมาก็เรื่องของบริษัท Third Party อีกนั้นแหละครับแต่อย่าพึ่งคิดว่าคนเขียนมีอคติกับพวกบริษัท Third Party นะครับเหตุที่เราต้องใส่ใจกับบริษัท Third Party นี้ก็เพราะศักยภาพสร้างความดีและความเสียหายให้กับเศรษฐกิจและสังคมของชาติไทยมีพอๆกับชั่งตวงวัดเราดีๆ นี้เองครับเราจึงต้องใส่ใจไว้ให้มากๆ ในขณะเดียวกันมันเป็นดัชนีชี้วัดของประเทศในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ในการมีบริษัท Third Party ในห่วงโซ่ธุรกิจนี้เช่นกัน ต่อนะครับ บริษัท Third Party หนึ่งยื่นคำขอสอบเทียบถังตวงแบบมาตราเจอปัญหาลักษณะเดียวกับกรณีแรกเช่นกัน คือผลการสอบเทียบพบว่าได้ค่าความสูงของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราที่ไม่คงที่ส่งผลให้ได้ค่า Repeatability ที่ใหญ่โตเกินกว่าค่า Repeatability ที่ยอมรับได้คือต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05% แต่ยอมรับว่าจำไม่ได้ว่าได้เปิดฝาถังเพื่อดูความสะอาดภายในถังหรือเปล่า แต่ที่แน่ๆคือตัดประเด็นเรื่องความสะอาดภายในถังตวงแบบมาตราไปได้ถือว่าสะอาด แต่เมื่อทำไปหลายรอบมีบางคนได้ยินเสียงการให้ตัวของโลหะเบาจากนั้นก็เฝ้าติดตามเสียงอย่างใกล้ชิดนำไปสู่การพบเห็นการหดยุบตัวและขยายตัวของผนังถังตวงแบบมาตราบริเวณผนังกรวยล่างถังตวงแบบมาตราเมื่อมีการใส่น้ำเต็มถังตวงและระบายน้ำออกจากถังตวงในบางรอบสอบเทียบแต่ไม่ทุกรอบการสอบเทียบ ตรวจสอบไปพบว่าถังตวงแบบมาตราดังกล่าวมีอายุการใช้งานนาน เนื้อโลหะ Stainless Steel ที่ใช้ทำถังตวงแบบมาตราอาจเกิดความล้า (Fatigue) หรือเนื้อโลหะบางลง หรือเกิดการบิดเบี้ยวไม่คืนตัวของผนังถังซึ่งอาจเกิดจากการขนย้ายถังตวงแบบมาตราบ่อยๆ หรืออื่นๆ เป็นต้น การ

ตัดสินใจคือ ยุติการสอบเทียบถังตวงแบบมาตราและไม่สามารถรายงานผลการสอบเทียบฯ ได้ เพราะเราชั่งตวงวัดยังคงยึดมั่นในคำมั่นสัญญาความน่าเชื่อถือ

กรณีต่อไปนี้เป็นเรื่องของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาตรคอถังตวงแบบมาตราโดยไม่ได้ตั้งใจหรือคิดว่าไม่มีผลมากนัก มีบริษัทหนึ่งที่รับบริการสอบเทียบถังบรรจุน้ำมันใต้ดินภายในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงได้นำถังตวงแบบมาตราพิกัดกำลัง 200 ลิตรมาสอบเทียบ เราพบว่าได้มีการติดตั้งท่อยื่นลงไปในคอถังตวงแบบมาตราแต่ท่อดังกล่าวยังคงอยู่เหนือขีดพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา 200 ลิตร ดูๆแล้วอาจเป็นเรื่องของความสะดวกในการปฏิบัติงานภาคสนามเพราะจะป้องกันไม่ให้น้ำกระเด็นและสามารถติดตั้งปั๊มส่งจ่ายน้ำเข้าถังตวงแบบมาตราได้สะดวก ทำงานได้รวดเร็ว แต่ในเรื่องของงานชั่งตวงวัดการใส่ท่อให้ยื่นลงไปในคอถังแม้อยู่เหนือขีดพิกัดกำลังของถังตวงก็ตามแต่การแสดงปริมาตรของแผ่นขีดขั้นหมายมาตรา (Scale Plate) เหนือขีดขั้นหมายมาตราแสดงพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตราขึ้นไปจะเกิดผลผิดทันทีเพราะอัตราส่วนคอถังตวงที่ผิดไปส่งผลให้ขีดขั้นหมายมาตราบนแผ่นขีดขั้นหมายมาตราไม่ได้แสดงปริมาตรที่ถูกต้องทันที ทางชั่งตวงวัดเองก็ไม่ได้อยู่ร่วมกับบริษัทฯ เพื่อใช้งานถังตวงแบบมาตราตลอดเวลาอีกทั้งไม่แน่ใจว่าตามที่ทางบริษัทฯ แจ้งว่าใช้แต่เพียงที่พิกัดกำลัง 200 ลิตรที่เดียวเท่านั้น หนทางเดียวคือถังตวงแบบมาตราต้องถูกต้องครบถ้วนทุกเรื่องเมื่อผ่านการสอบเทียบจากเราชั่งตวงวัด จึงขอให้บริษัทฯ ทำการแก้ไขโดยให้เลื่อนท่อขึ้นไปให้เหนือขีดขั้นหมายมาตราสูงสุดที่ปรากฏอยู่บนแผ่นขีดขั้นหมายมาตรา แต่พอหลับหลังมันจะใส่กลับไปเหมือนเดิมหรือเปล่านี้เรา..งง

เรื่องเล่าต่อไปนี้เป็นเรื่องของถังตวงแบบมาตราอีกเช่นกัน แต่เป็นเรื่องของการใช้ถังตวงแบบมาตราผิดวัตถุประสงค์และมักง่าย เสมือนเอาประแจลิ่นมาใช้แทนค้อน เอาไขควงมาใช้แทนสิว ไม่มีสามัญสำนึกของช่างหรือคนทำงานทางด้านปิโตรเลียมเลยก็ว่าได้ นั้นก็คือคลังน้ำมันแห่งหนึ่งมีถังตวงแบบมาตราพิกัดกำลังสูงสุด 5,000 ลิตรประจำคลังน้ำมันไว้เพื่อทำการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำสถานีจ่ายน้ำมันทางรถยนต์ (Truck Loading) แต่ดันมาใช้ถังตวง

แบบมาตราไว้เป็นที่รองรับและเก็บน้ำมันที่สูญเสียเกรดใช้งาน น้ำมันสกปรก หรือน้ำมันเสื่อมคุณภาพไม่เหมาะแก่การใช้งาน เช่นอาจมีตะกอน ฝุ่น ขี้ดิน โดยเสมือนหนึ่งจำลองให้ถังตวงแบบมาตราเป็น “Slop Tank” (คือลักษณะเป็นถังหรือบ่อคอนกรีตที่ใช้รองรับและกักเก็บน้ำมันที่เสียคุณสมบัติของตัวมันไป เช่น น้ำมันใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือชิ้นส่วนอุปกรณ์ หรือน้ำมันที่หกตกลงบนพื้นแล้วดูดซับกลับมาโดยหวังว่าจะนำน้ำมันดังกล่าวกลับไปทำการกลั่นใหม่ หรือนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น ใช้ในการฝึกดับเพลิง เป็นต้น) เพื่อกักเก็บน้ำมันดังกล่าว จากนั้นเมื่อสะสมจนพอใจ แล้วก็ใช้ปั๊มดูดน้ำมันที่สูญเสียเกรด น้ำมันสกปรก หรือน้ำมันเสียคุณภาพดังกล่าวจากถังตวงแบบมาตราออกไปบรรจุลงถังบรรทุกรถยนต์เพื่อนำเข้าสู่ขบวนการกลั่นอีกรอบหนึ่ง ผลที่ตามมาหรือครับถังตวงแบบมาตราก็สะสมไปด้วยตะกอน สิ่งสกปรก คราบสกปรกเกาะตามผนังถังตวงแบบมาตราในปริมาณมากน้อยตามคุณภาพน้ำมันและระยะเวลาจัดเก็บ ในขณะเดียวกันก็ใช้ถังตวงแบบมาตราถังเดียวกันนี้ไปใช้หาผลผิดของมาตรวัดปริมาตรส่งจ่ายน้ำมันซึ่งใช้เพื่อวัดการซื้อขายกันไม่รู้กี่ร้อยล้านพันล้านบาท พอถึงเวลาคำนวณผลการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองนั้นบริษัทฯ ต้องการความละเอียดของปริมาตรน้ำมันที่วัดได้เอากันละเอียดกันถึงทศนิยม 6 ตำแหน่ง เอาค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ละเอียดระดับทศนิยม 5 ตำแหน่ง รู้อย่างนี้คำนวณมันทศนิยมตำแหน่งเดียวก็คงพอเพื่อให้สาสมกับการปฏิบัติดังกล่าวดีหรือไม่ คำตอบก็คือไม่ได้เรามันข้าราชการ เลยต้องบอกให้ทำความสะอาดถังทั้งหมดและตรวจสอบสภาพวาล์วว่ารั่วหรือไม่ ถามว่ารู้ได้อย่างไรว่าเป็นเรื่องที่เล่ามาทั้งหมดก็ตอบให้ทราบว่าเมื่อเราสอบเทียบครั้งแรกทำการ Wet Run พบว่ามีคราบสกปรกพร้อมตะกอนสีดำ เราก็สงสัย ก็เลยใส่น้ำเข้าไปอีกรอบแล้วระบายออกมาก็พบว่ามีตะกอนสีดำออกมาอีก เลยไปสอบถามว่านำน้ำอะไรมาสอบเทียบปรากฏว่าเป็นน้ำบาดาล (หนึ่งล่ะนะ) จากนั้นสอบถามว่าถังไปใส่อะไรมา ได้คำตอบว่าใช้ถังตวงแบบมาตราเสมือนเป็น Slop Tank (สองละนะ) ตัดสินใจได้ทันทีที่ได้รับคำอธิบายคือ 1. เปิดฝาล้างถัง 2. เมื่อถังตวงแบบมาตราสะอาดแล้วให้หาน้ำประปามาใช้ในการสอบ

เทียบ 3. เมื่อพร้อมให้นัดวันสอบเทียบครับ เรื่องอื่นๆ ไม่คุยครับ จบข่าว.... หรือว่าเรามาตรฐานสูงเกินเลยไปหรือเปล่า? คำตอบคือ “ไม่” ครับ

การอธิบายชี้แจงและการสื่อสารระหว่างผู้ชี้แจงและผู้รับการชี้แจง นอกจากต้องมีความถี่ของสัญญาณในการรับส่งสัญญาณถึงกันและตรงกันแล้ว ยังต้องมีปริมาณสารเคมีในสมองที่ตรงกันอีกด้วย เช่นชั่งตวงวัดทำการสอบเทียบถังตวงแบบมาตรา ก่อนทำการสอบเทียบแบบมาตราได้ทำการตรวจสอบด้วยสายตาหรือที่เค้าเรียกว่า Visual Check นั้นแหละครับ พบว่าถังตวงแบบมาตราของบริษัท Third Party หนึ่ง (มีถังในครอบครองมากด้วย) ติดตั้งวาล์วขนาด ∅ ¼ - ½ นิ้ว ในตำแหน่งบริเวณคอถังตวงแบบมาตราและอยู่ในตำแหน่งร่วมกันกับแผ่นขีดขั้นหมายมาตรา (Scale Plate) มีวัตถุประสงค์ไว้เพื่อปรับปริมาตรให้ได้ตามที่ต้องการ ชั่งตวงวัดจึงชี้แจงให้เลือกว่าหากจะยังคงเก็บรักษาวาล์วดังกล่าวไว้สามารถกระทำได้แต่ต้องยกเลิกแผ่นขั้นหมายมาตราในบริเวณดังกล่าวหรือง่ายๆ คือตัดทิ้งออกไป หรือจะยังคงแผ่นขีดขั้นหมายมาตราไว้โดยเลือกที่จะตัดวาล์วดังกล่าวออกไปจากบริเวณดังกล่าว เนื่องจากการติดตั้งวาล์วในตำแหน่งและบริเวณเดียวกับแผ่นขีดขั้นหมายมาตราจะทำให้อัตราส่วนคอถังตวงแบบมาตรา ณ ตำแหน่งติดตั้งวาล์วผิดเพี้ยนไปไม่ถูกต้องตามแสดงไว้บนแผ่นขีดขั้นหมายมาตรา เมื่อสอบถามเจ้าหน้าที่บริษัท Third Party ที่มากับถังตวงแบบมาตราว่าเข้าใจหรือไม่ ได้รับคำตอบว่าเข้าใจและดูท่าทางแล้วน่าจะเข้าใจดีถึงเหตุผล จึงขอให้กลับไปแจ้งผู้มีอำนาจตัดสินใจว่าจะเอาอย่างไร แต่ผลที่สะท้อนกลับมาคือ วาล์วมันมีอยู่มานานแล้ว ก็ตรวจสอบเทียบกันมานานแล้ว ก็ทำถังตาม API ถ้าเอาวาล์วออกไปแล้วเชื่อมไม่เรียบสนิทจะได้หรือไม่ และอื่นๆ อีกมากมาย ..... สรุปคือไม่เข้าใจหรือไม่ยอมรับในเหตุผล เหนื่อยครับ เลยนำรูปข้างล่างเอามาให้ดูว่าบริษัท SERAPHIN (USA) บริษัทฯ ที่มีประสบการณ์ในการผลิต Proving Tank มาอย่างยาวนานและเจ้าของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงบาศก์ของวัสดุที่ใช้ผลิตถัง SUS 316 เท่ากับ 0.0000477 จะเห็นว่าบริษัทฯ วางตำแหน่งวาล์วตัวเล็กๆ ไว้

ปรับปริมาตรบริเวณคอถังตวงแบบมาตราอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าแผ่นขีดขั้นหมายมาตรา สิ่งดีๆ เลียนแบบไว้ไม่เสียหาย



ก่อนจบเอาเรื่องเกี่ยวกับถังๆ อีกเรื่องส่งท้าย ก็คือถังตวงแบบมาตรา 20 ลิตรที่ชั่งตวงวัดมักใช้หรือช่างซ่อมปั๊มน้ำมันตามสถานีบริการใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรอง สิ่งหนึ่งที่พึงระวังก็คือ เราไปทำงานและตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวตามสถานีบริการแล้วเจอถังตวงแบบมาตรา 20 ลิตรที่ก้นถังมีลักษณะแปลก เช่น เจาะฝังเข็ม หัวโน ฝากขวดกระทิงแดงไว้ภายในอื่นๆ เป็นต้น ต่อจากนี้ไม่ควรมีอีกแล้ว หากพบเจอให้ให้เอาออกไปจากระบบงานชั่งตวงวัดและยกเลิกการใช้ทันที





พื้นที่อันตราย
(Hazardous Area Classification)

เป็นหัวข้อเรื่องที่น่าสนมากสำหรับวัยรุ่น เพราะวัยรุ่นเมื่อเจอพื้นที่อันตราย นั้นเป็นอันเข้าใจว่าเป็นที่ของการแสวงหาความเร้าใจ แต่ผู้เขียนแก่แล้วจึงไม่ขอความเร้าใจ หรอกครับ เรื่องของมันก็คือ ในการทำงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เราหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยต้องยุ่งเกี่ยวกับเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้งานกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น มาตรวัดปริมาตรของเหลว, Compact Prover, มาตรวัดมวลคอริออริส, Automatic Level Gauge และ อื่นๆ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังกล่าวจะเป็น “วัตถุที่ไวไฟ” ไม่ใช่ “วัตถุที่ไปไว” ตามที่พวกรถซิ่งติดสติ๊กเกอร์บนกระจกท้ายรถ ดังนั้นเมื่อต้องไปยุ่งกับเขาแล้วเราก็ต้องสะสมความรู้เพื่อรู้เขารู้เรากันเล็กน้อย พอควรแก่เหตุ

ในต้นศตวรรษ 1900 เป็นยุคที่อุตสาหกรรมขยายตัวอย่างมากและเริ่มมีการใช้มาตรฐานการออกแบบและการติดตั้งระบบไฟฟ้าของ North American Codes โดยที่มาตรฐาน NEC (National Electric Code) ใช้สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาและมาตรฐาน CEC (Canadian Electric Code) ใช้สำหรับประเทศแคนาดา ในช่วงเวลาเดียวกันสถาบันมาตรฐานของยุโรปคือ International Electrotechnical Commission (IEC) ก็ถูกก่อตั้งขึ้นที่ประเทศสวิตเซอร์แลนด์เพื่อเป็นสถาบันด้านมาตรฐานการออกแบบติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับใช้ในประเทศภูมิภาคยุโรป นอกจากนี้ประเทศในภูมิภาคยุโรปยังร่วมกันสร้างมาตรฐานเพื่อใช้ในกลุ่มประเทศยุโรปโดยเฉพาะคือ CENELEC (European Electrotechnical Committee for Standardization) ซึ่งเนื้อหาโดยรวมแล้วเหมือนกับมาตรฐานของ IEC ของกลุ่มประเทศทวีปอเมริกาเหนือ นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานต่างๆ ของแต่ละประเทศเองในยุโรปก็เกิดขึ้น เช่น British Standards Institution (BSI) ของประเทศอังกฤษ, Deutsches Institut für Normung (DIN) ของสหพันธ์

สาธารณรัฐเยอรมนี, Association Française de Normalisation (AFNOR) ของประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น ประกอบกับการกำเนิดรถยนต์และเครื่องบินในต้นทศวรรษที่ 1920 สร้างความต้องการใช้เชื้อเพลิงคุณภาพดีอย่างมาก ไอระเหยจากแก๊สโซลีนมีคุณสมบัติที่จุดติดไฟได้ง่ายจึงเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีในการทำงานของรถยนต์และเครื่องบินทำให้อุตสาหกรรมรถยนต์และเครื่องบินจำเป็นต้องป้องกันการสปาร์คจากระบบไฟฟ้าในบริเวณที่มีไอระเหยดังกล่าว พื้นที่ซึ่งปรากฏไอระเหยดังกล่าวจึงถูกกำหนดเป็น “Extra Hazardous Location” ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมที่สร้างขึ้นใหม่จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นประเภท Explosion proof ในพื้นที่ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ

	European Union	**USA**	**Canada**	**Russia**	**Ukraine**	**Australia**
Directive / Standard / Approval Body	ATEX – PTB – EXAM BBG – KEMA – TÜV Nord – ZELM – IBExU ...	FM Ex-Approval UL Ex-Approval	CSA-Certificate	GOST Russia	GOST Ukraine	IECEx
Validity	No restrictions	No restric-tions	No restric-tions	3 years	3 years	No restric-tions
Production Supervision Auditing	yes	yes	yes	no	no	yes

Tab. 3-3: Overview of Important Country-specific Standards, Approvals and Approval Bodies

รูปที่ 1 มาตรฐานด้านความปลอดภัยของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละประเทศ

ในปี ค.ศ. 1913 (พ.ศ. 2456) มีอุบัติเหตุครั้งรุนแรงภายในเหมืองถ่านหินประเทศอังกฤษซึ่งมีสาเหตุการระเบิดอันเนื่องจากไฟอาณัติสัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่ำเพื่อบ่งบอกว่ารถไฟขนคนงานได้ขึ้นจากใต้ดินเกือบถึงผิวดินแล้ว โดยไฟอาณัติสัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่ำเกิดสปาร์คกับละอองฝุ่นของถ่านหิน เหตุการณ์ดังกล่าวสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมากมาย ตั้งแต่นั้นมาจึงได้เริ่มมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยถึงความปลอดภัยของวงจรไฟฟ้าในประเด็นปัจจัยของการสะสมพลังงานในวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตั้งแต่บัดนั้นจึงถือกำเนิด

Intrinsic Safety (IS) ซึ่งมีหลักการที่ว่าการจำกัดพลังงานที่มีขีดความสามารถทำให้จุดติดไฟจะต้องมีค่าต่ำกว่าจุดติดไฟของสารที่ทำงานด้วยหรืออยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน

ในปี ค.ศ.1931 (พ.ศ. 2474) มาตรฐาน NEC กำหนดให้แบ่งพื้นที่อันตรายออกเป็น Class I สำหรับแก๊สและไอระเหย, Class II สำหรับฝุ่นที่จุดติดไฟ และ Class III สำหรับเส้นใยที่จุดติดไฟได้ และต่อมาในปี ค.ศ.1935 (พ.ศ. 2478) ก็มีการแบ่งกลุ่มแก๊สและไอระเหยใน Class I ออกเป็นกลุ่ม A, B, C และ D ตามคุณสมบัติ 3 ประการ คือ (1) ความดันจากการระเบิด (Explosive Pressure) (2) การขยายตัวของเปลวไฟ (Flame Transmission) และ (3) อุณหภูมิการจุดระเบิด (Ignition Temperature)

ในปี ค.ศ.1956 (พ.ศ. 2499) แนวคิดเรื่อง Intrinsic Safety (IS) เริ่มเห็นผลชัดเจนขึ้นและถูกกำหนดเป็นมาตรฐานของทวีปเมริการเหนือ (North American Codes) และในช่วงเวลาเดียวกันอุตสาหกรรมของอเมริกาเหนือขยายตัวเพิ่มมากขึ้นการติดตั้งระบบไฟฟ้าแบบ Explosion proof ทั้งหมดในพื้นที่ที่มีสารอันตรายจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงมาก มาตรฐานของ NEC จึงได้เพิ่มวิธีการกำหนดพื้นที่อันตรายจากที่มี Division เดียวเพิ่มเป็น “Division 2” ซึ่งหมายถึงพื้นที่อันตรายที่ยอมให้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมาตรฐานการป้องกันการระเบิดที่มีมาตรฐานต่ำกว่า “Division 1” ได้โดยมีเงื่อนไขคือ เป็นบริเวณที่มีการจัดเก็บหรือใช้สารไวไฟซึ่งจะมีโอกาสรั่วไหลของสารไวไฟสู่บรรยากาศในสภาวะไม่ปกติเท่านั้น เช่น การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการทำงาน หรือการเกิดรอยแตกร้าวของถังบรรจุ เป็นต้น แต่ในเทอมของความเสี่ยงและค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีราคาถูกลงผู้บริหารอุตสาหกรรมก็ต้องตัดสินใจเองด้วยเช่นกัน

ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาการจัดการพื้นที่อันตรายด้วยระบบ Zone System หรือ Area Classification จึงเกิดขึ้น ซึ่งจะมีวิธีการหรือเกณฑ์ตัดสินว่าพื้นที่บริเวณใดจะเป็น Class, Zone หรือ Group ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องใช้ผู้มีความรู้ความชำนาญในการพิจารณาตัดสิน เราแค่พอรู้ในหลักการก่อนแล้วกันครับ

พื้นที่อันตราย (Hazardous Area)

หมายถึง บริเวณที่มีโอกาสจะเกิดอุบัติเหตุของการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ง่าย โดยสภาวะที่จะเกิดเหตุดังกล่าวจะต้องครบองค์ประกอบร่วม 3 อย่างในระดับที่เหมาะสมได้แก่

1. มีสารไวไฟในปริมาณมากพอที่จะจุดติดไฟได้ (Flammable Material in Ignitable Quantities) ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือละอองฝุ่นขนาด 0.1 -0.001 มิลลิเมตร

2. มีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอให้เกิดการเผาไหม้ (ในอากาศปกติจะมีออกซิเจนประมาณ 21%)

3. มีแหล่งจุดติดไฟ (Ignition Source) ทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่มากพอกับส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศซึ่งการจุดติดไฟนี้ สามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เปลวไฟ, การสปาร์คของอุปกรณ์ไฟฟ้า, มีความร้อนสูงสะสม และ การถ่ายเทประจุจากไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

การจำแนกพื้นที่อันตราย

มีวิธีการจำแนก 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ

- การจำแนกเป็นประเภท (Class) และแบบ (Division) เป็นไปตามมาตรฐานของ NEC

- การจำแนกเป็นโซน (Zone) เป็นไปตามมาตรฐานของ IEC (IEC 60079)

แต่เมื่อเรานำการจำแนกพื้นที่อันตรายมาใช้งาน เราต้องไม่นำวิธีการในการจำแนกบริเวณอันตรายที่แตกต่างกันมาใช้ผสมปนเปกันในการจำแนกบริเวณอันตรายบริเวณเดียวกันอย่างเด็ดขาดเพราะนั้นเป็นการใช้มาตรฐานที่สับสนและจะขาดความเข้าใจอย่างแท้จริง งานนี้ต้องเป็นคนรักเดียวใจเดียวครับ “จะรักพี่เสียดายน้อง” ไม่ได้มันจะแย่เอา

การจำแนกเป็นประเภท (Class) และแบบ (Division) ตามมาตรฐาน NEC

มาตรฐานของ The National Electrical Code Committee (NEC) และThe National Fire Protection Association (NFPA) Publication 70 กำหนดพื้นที่อันตรายออกได้ดังนี้

1. **บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 (Class 1)** คือ บริเวณที่ซึ่งมีก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Vapors and Gases) ผสมอยู่ในอากาศปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดได้

– **บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 (Class 1, Division 1)** คือ บริเวณที่มีการใช้ก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งสามารถรั่วไหลจากกระบวนการทำงานตามปกติ การซ่อมบำรุง รวมทั้งการรั่วไหลจากเหตุหรืออุปกรณ์ หรือเครื่องจักรทำงานผิดปกติ และยังอาจทำให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนที่ทำให้สารไวไฟรั่วไหลจุดติดไฟได้

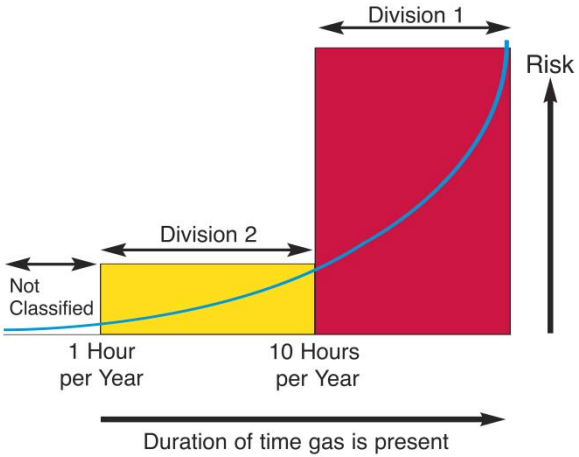
– **บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 (Class 1, Division 2)** คือ บริเวณที่มีการใช้ก๊าซหรือของเหลวไวไฟในระบบปิดซึ่งไม่มีการรั่วไหลนอกจากเกิดความเสียหายของภาชนะบรรจุหรือการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องมืออุปกรณ์ และยังรวมถึงบริเวณที่อยู่ใกล้กับพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ซึ่งก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟอาจถ่ายเทถึงกันได้ นอกจากนี้พื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ซึ่งเมื่อได้ติดตั้งระบบระบายอากาศเพื่อช่วยลดปริมาณสารไวไฟที่ผสมในอากาศอย่างเหมาะสม แต่อาจเกิดสภาพอันตรายได้เมื่อระบบระบายอากาศขัดข้องก็จัดเป็นพื้นที่อันตราย แบบที่ 2 ด้วย

2. **บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 (Class 2)** คือ บริเวณที่ซึ่งมีฝุ่นที่เผาไหม้ได้ (Combustible dust) ในปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิด

– **บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 (Class 2, Division 1)** คือ บริเวณที่มีฝุ่นเผาไหม้ได้อยู่ในอากาศในปริมาณมากพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ในกระบวนการทำงานปกติ และบริเวณที่มีฝุ่นที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ

ไฟฟ้าที่ดีในปริมาณที่อาจทำให้เกิดอันตรายจากการระเบิด รวมทั้งกรณีที่ฝุ่นที่เผาไหม้ได้เกิดการรั่วไหลจากเหตุที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรทำงานผิดปกติและอาจทำให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนซึ่งทำให้ฝุ่นที่รั่วไหลออกมาเกิดการจุดระเบิดได้

– **บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 (Class 2, Division 2)** คือ บริเวณที่มีฝุ่นที่เผาไหม้ได้อยู่ในอากาศในปริมาณไม่มากพอทำให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ในกระบวนการทำงานปกติ รวมถึงบริเวณที่มีฝุ่นซึ่งอาจสะสมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอาจขัดขวางการระบายความร้อนของอุปกรณ์นั้นแต่ประกายไฟจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือจากการลัดวงจรไฟฟ้าอาจทำให้ฝุ่นเหล่านี้เกิดการจุดระเบิดได้



รูปที่ 2 การจำแนกพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน NEC เป็น Class และ Division ในเทอมของระยะเวลาของการปรากฏของสารไวไฟใน 1 ปี

3. **บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 (Class 3)** คือ บริเวณที่มีเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย (Easily Ignitible Fibers or Flyings) มีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตรายจากการจุดระเบิดได้

– บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 **(Class 3, Division 1)** คือ บริเวณที่มีการผลิต การใช้ หรือการขนถ่ายเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่ายในปริมาณที่เพียงพอให้เกิดการจุดระเบิดได้

– บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2 **(Class 3, Division 2)** คือ บริเวณที่มีการจัดเก็บหรือขนถ่ายเส้นใยที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ง่ายในปริมาณมาก

การจำแนกเป็นโซน (Zone) ตามมาตรฐาน IEC

การแบ่งพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน The International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 60079-10 และ CEC Section 18 ซึ่งครอบคลุมสารไวไฟที่เป็นก๊าซ, ไอระเหยและหมอกฝุ่น (Gases, Vapors and Mists) แต่ไม่รวมฝุ่นไวไฟ (Combustible or Electrically Conductive Dusts) โดยให้ความตระหนักถึงโอกาสความเป็นไปได้ที่จะมีการสะสมของสารไวไฟขึ้นได้ แบ่งโอกาสความเป็นไปได้ของการเกิดสภาพบรรยากาศที่จุดติดไฟได้ (Explosive Atmosphere) ออกเป็นโซน 0, โซน 1 และ โซน 2

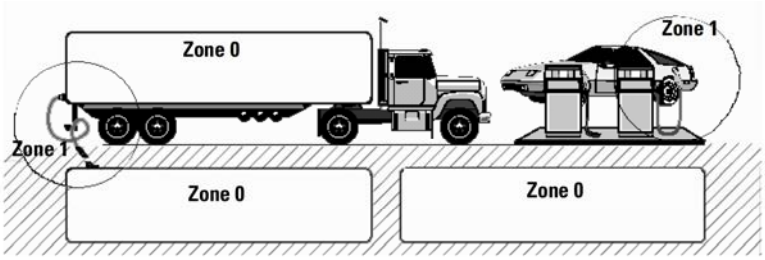
1. **โซน 0 (Zone 0)** คือ พื้นที่อันตรายเนื่องจากมีก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ผสมอยู่ในบรรยากาศจนเกิดบรรยากาศที่จุดติดไฟได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น ถังเก็บน้ำมันใต้ดิน (รูปที่ 3)

พื้นที่ใน Zone 0 จะมีโอกาสสูงที่ความเข้มข้นของไอระเหยของสารไวไฟเกินกว่า 100% ของค่า Lower Explosive Limit (LEL) ของสารนั้นในภาวะปกติมากกว่า 1,000 ชั่วโมงต่อปี อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่ Zone 0 มักจะเป็นเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดระดับของเหลว และ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เป็นต้น อุปกรณ์เครื่องวัดดังกล่าวจะต้องเป็นประเภท Intrinsically Safe เท่านั้น เพราะอุปกรณ์ประเภทนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าในระดับต่ำมากทำให้เมื่อเกิดการลัดวงจรในอุปกรณ์เครื่องมือวัดเหล่านี้ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่มากพอให้แก๊สหรือไอระเหยไวไฟเกิดการจุดติดไฟได้

2. **โซน 1 (Zone 1)** คือ พื้นที่อันตรายเนื่องจากมีการรั่วไหลก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ออกมาผสมอยู่ในบรรยากาศที่จุดติดไฟได้อยู่บ่อยครั้งในกระบวนการทำงานตามปกติ หรือเมื่อทำการซ่อมแซมเครื่องมืออุปกรณ์ในบริเวณดังกล่าว เช่น

- บริเวณที่มีการเติมน้ำมันเข้าถังน้ำมันรถยนต์ ดังในรูปที่ 3 ซึ่งรถยนต์จะเข้ามาและวิ่งออกไปเมื่อเติมแล้วเสร็จ
- บริเวณรอบช่องเปิดของถังบรรจุ
- บริเวณรอบ Safety Valve และบริเวณใกล้กับ Seal ของ Pump หรือ Compressor
- จุดถ่ายเทสารไวไฟ
- บริเวณที่มีการถ่ายบรรจุแก๊ส
- บริเวณที่มีการใช้สารตัวทำละลาย (Solvent)

พื้นที่ใน Zone 1 จะมีโอกาสที่จะมีความเข้มข้นของไอระเหยของสารไวไฟเกินกว่า 100% ของค่า Lower Explosive Limit (LEL) ของสารนั้นในภาวะปกติ ระหว่าง 10 ถึง 1,000 ชั่วโมงต่อปี

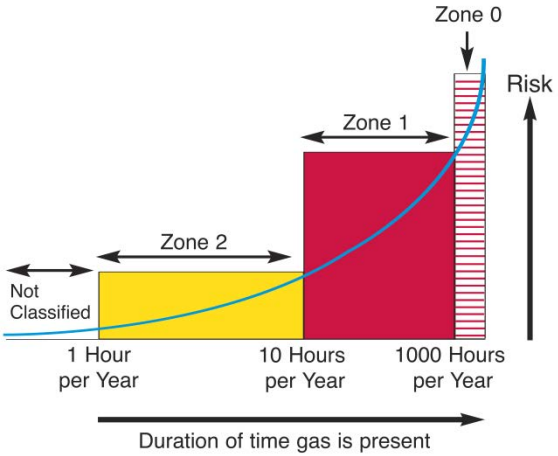


รูปที่ 3 แนวความคิดการแบ่งโซน ตาม IEC

3. **โซน 2 (Zone 2)** คือ พื้นที่อันตรายเนื่องจากมีการรั่วไหลของก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ออกมาผสมอยู่ในบรรยากาศจนเกิดบรรยากาศที่จุดติดไฟแทบไม่เกิดขึ้นในการทำงานปกติ หรือโอกาสเกิดขึ้นได้นานๆครั้ง เช่น เมื่อเกิดอุบัติเหตุในกระบวนการทำงานหรือการ

ทำงานผิดปกติ หรือจะเกิดขึ้นเฉพาะภายในระยะเวลาสั้นๆ ไม่ปล่อยให้เกิดการรั่วไหลเป็นเวลานาน

พื้นที่ใน Zone 2 จะมีโอกาสที่จะมีความเข้มข้นของไอระเหยของสารไวไฟเกินกว่า 100% ของค่า Lower Explosive Limit (LEL) ของสารนั้นในภาวะปกติ น้อยกว่า 10 ชั่วโมงต่อปี



รูปที่ 4 การจำแนกพื้นอันตรายตามมาตรฐาน IEC เป็น ZONEในเทอมของระยะเวลาของการปรากฏของสารไวไฟใน 1 ปี

Grade of Release	Zone	Flammable Mixture Present
Continuous	0	1000 hours per year or more (10%)
Primary	1	Between 10 and 1000 hours per year or more (0.1% to 10%)
Secondary	2	Less than 10 hours per year (0.01% to 0.1%)
Unclassified	-	Less than 1 hour per year (Less than 0.01%)①

This is a combination of Tables 2 and 3 from API RP505

① The 1-hour per year used in API RP505 is considered to be high by some industry experts. Conservative estimates of this figure should be 0.01 hours per year.

รูปที่ 5 เกณฑ์พิจารณาหลักๆของการจำแนกพื้นอันตรายตามมาตรฐาน IEC เป็น ZONE

Comparing IEC, NEC, and CEC Zone Standards with NEC/CEC Class/Division Standards

Table I. Class I Area Classification Comparison

Zone 0	Zone 1	Zone 2
Where ignitable concentrations of flammable gases, vapors, or liquids are present continuously or for long periods of time under normal operating conditions.	Where ignitable concentrations of flammable gases, vapors, or liquids: • Are likely to exist under normal operating conditions • May exist frequently because of repair, maintenance operations, or leakage	Where ignitable concentrations of flammable gases, vapors, or liquids: • Are not likely to exist under normal operating conditions • Occur for only a short period of time • Become hazardous only in case of an accident or some unusual operating condition
Division 1		**Division 2**
Where ignitable concentrations of flammable gases, vapors, or liquids: • Are likely to exist under normal operating conditions • Exist frequently because of maintenance/repair work or frequent equipment failure		Where ignitable concentrations of flammable gases, vapors, or liquids: • Are not likely to exist under normal operating conditions • Are normally in closed containers where the hazard can only escape through accidental rupture or breakdown of such containers or in case of abnormal operation of equipment

Note: Per NEC Article 505-10(b)(1), a Division classified product may be installed in a Zone classified location but the reverse is not true. Typically, Zone classified product provides protection utilizing a protection method not available in the Class/Division scheme.

รูปที่ 6 เปรียบเทียบการจัดประเภทพื้นที่อันตรายระหว่าง IEC (Zone) กับ NEC (Division)

Frequency of Occurrence	Division System	Zone System
Continuous	Class I, Division 1	Zone 0
Intermittent Periodically		Zone 1
Abnormal Condition	Class I, Division 2	Zone 2

รูปที่ 7 เปรียบเทียบการจำแนกพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน NEC กับ IEC .ในเกณฑ์ของโอกาสการเกิดหรือปรากฏของสารไวไฟ

การจำแนกเป็นโซน (Zone) 2 ตามมาตรฐาน IEC

การแบ่งบริเวณอันตรายตามมาตรฐาน IEC สำหรับฝุ่นไวไฟ (Combustible or Electrically Conductive Dusts) แบ่งจำแนกบริเวณเทียบเคียงกับ Zone 0, 1 และ 2 สำหรับก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) แต่เพิ่มเลข 2 เข้าไปข้างหน้าเป็น

1. Zone 20
2. Zone 21
3. Zone 22

Hazardous Materials	Class/Division System	Zone System ①
Gasses or Vapors ①	Class I, Division 1 Class I, Division 2	Zone 0 Zone 1 Zone 2
Combustible Dusts ②	Class II, Division 1 Class II, Division 2	Zone 20 Zone 21 Zone 22
Fibers or Flyings	Class III, Division 1 Class III, Division 2	No Equivalent

① The United States and Canada have adopted Zones for Gasses and Vapors

② Zones for Dust are not yet developed for North America

รูปที่ 8 เปรียบเทียบการจำแนกพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน NEC กับ IEC

ปัจจัยสำคัญในการจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping); ตามมาตรฐาน IEC

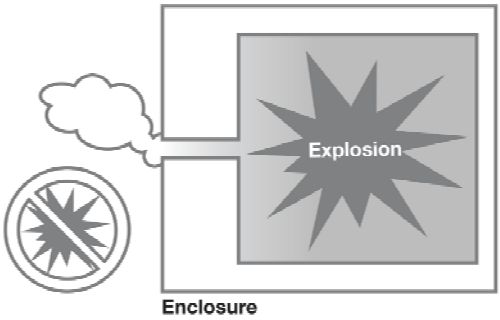
แก๊สและไอระเหยแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เราจึงไม่สามารถออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ป้องกันการระเบิดสำหรับแก๊สได้ครอบคลุมแก๊สทุกชนิด ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดในทางปฏิบัติก็คือการแบ่งกลุ่มแก๊สไวไฟตามลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ ตาม IEC 60079-12 คือ

1. Minimum Ignition Current (MIC) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดสปาร์คหรือประกายไฟจนเกิดการลุกติดไฟของแก๊สหรือไอระเหยจากการทดสอบในห้องทดลอง ถ้าแก๊สชนิดหนึ่งมีค่า MIC น้อย แสดงว่าแก๊สนั้นสามารถติดไฟได้ง่ายด้วยค่ากระแสไฟฟ้าน้อย

ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าค่า MIC ของแก๊สหรือไอระเหยเพื่อติดตั้งในบริเวณที่มีของแก๊สหรือไอระเหยชนิดดังกล่าวเจือปนในบรรยากาศจะช่วยป้องกันการเกิดประกายไฟที่มีความร้อนสูงจนเกิดการจุดระเบิดขึ้นได้แม้จะเกิดความบกพร่องในวงจรไฟฟ้าก็ตาม ซึ่งค่านี้จะมีความสำคัญเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบ Intrinsic Safety ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) โดยมีหลักการเพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการเป็นต้นเหตุของการระเบิดในสภาพแวดล้อมที่อันตรายที่มีการปะปนผสมกันของแก๊สหรือไอระเหยและมีโอกาสระเบิดได้ง่าย เช่น การเกิดประกายไฟหรือเกิดความร้อนสูงจากการทำงานจนเป็นเหตุจุดระเบิดส่วนผสมของแก๊สหรือไอระเหยเหล่านั้น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นระบบ Intrinsic Safety จึงต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งด้วยวิธีการที่ไม่ให้มีพลังงานสูงมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดการจุดประกายไฟหรือความร้อนที่จะเป็นสาเหตุให้ส่วนผสมของแก๊สหรือไอระเหยเกิดระเบิดในพื้นที่อันตรายได้แม้ในกรณีที่เกิดการผิดพลาดก็ตาม ด้วยเหตุนี้อุปกรณ์ที่เป็นระบบ Intrinsic Safety จะทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำและใช้พลังงานต่ำกว่า 1 วัตต์

2. Maximum Experimental Safe Gap (MESG) คือ ค่าความกว้างของช่องเปิดมากที่สุดที่จะสามารถป้องกันการแพร่ขยายของเปลวไฟที่เกิดจากการจุดระเบิดของแก๊สหรือไอระเหยชนิดหนึ่งผ่านช่องเปิดนั้นไปสู่ภายนอกที่มีแก๊สหรือไอระเหยชนิดเดียวกันเจือปนอยู่ ดังนั้นถ้าแก๊สหรือไอระเหยชนิดใดมีค่า MESG มากในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) หรืออุปกรณ์ป้องกันไฟ (Flame Proof) ต้องเลือกอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีค่า MESG น้อยกว่าค่า MESG ของแก๊สหรือไอระเหยนั้นเนื่องจากยิ่งช่องเปิดแคบลงเท่าไรก็จะมีโอกาสน้อยลงที่เปลวไฟจากการระเบิดภายในเครื่องห่อหุ้มจะแทรกออกสู่ภายนอก แต่ในขณะเดียวกันถ้าหากแก๊สหรือไอระเหยใดมีค่า MESG น้อยนั้นแสดงว่าเป็นแก๊สที่มีอันตรายสูงมากเพราะเมื่อมีการจุดติดไฟแล้วเปลวไฟสามารถลุกลามผ่านช่องเปิดแคบๆ ออกสู่ภายนอกได้ดีกว่า

เราพบว่าแก๊ส Acetylene และ Hydrogen เป็นแก๊สที่มีอันตรายสูงมาก เพราะเมื่อมีการจุดติดไฟแล้ว เปลวไฟสามารถลุกลามผ่านช่องเปิดแคบๆ ออกสู่ภายนอกได้ดีกว่า (ระยะ MESG แคบ) และจุดติดไฟได้ง่ายกว่าโดยใช้กระแสไฟฟ้าในการจุดติดไฟเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ค่า MIC ต่ำ)



รูปที่ 9 ห้องที่มีช่องทางออกยาวคงที่ 25 มม. แต่สามารถปรับระยะความกว้างของช่องได้ เมื่อจุดระเบิดแก๊สภายในห้องแล้วเปลวไฟที่เล็ดรอดจากช่องว่างดังกล่าวต้องไม่ไปจุดติดไฟที่สภาวะแวดล้อมภายนอกซึ่งมีแก๊สดังกล่าวเจือปนอยู่

การจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping), Class I ตามมาตรฐาน IEC

การจัดกลุ่มก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 10)

1. Group IIA คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG มากกว่า 0.90 มม. หรือมีค่า MIC Ratio มากกว่า 0.8

2. Group IIB คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 มม. แต่ไม่เกิน 0.90 มม. หรือมีค่า MIC Ratio มากกว่าหรือเท่ากับ 0.45 แต่ไม่เกิน 0.8

3. Group IIC คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG ไม่เกิน 0.50 มม. หรือมีค่า MIC Ratio ไม่เกิน 0.45

Group	Flammable Material (Gases and Vapors)	Maximum Experimental Safe Gap (MESG) ❶	Minimum Igniting Current Ratio (MIC) ❶
IIA	• Propane • Acetone • Benzene • Butane • Methane • Petrol • Hexane • Paint Solvents	> 0.9 mm	> 0.8
IIB	• Ehtylene • Propylene Oxide • Ethylene Oxide • Butadiene • Cyclopropane • Ethyl Ether	0.5…0.9 mm	0.45…0.8
IIC	• Hydrogen • Acetylene • Carbon Disulphide	< 0.5 mm	< 0.45

❶ IEC 60079-12 provides an overview of classification by MESG and MIC procedures.

รูปที่ 10 การจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping) ตามมาตรฐาน IEC

Explosion Group	Ignition Energy	Test Gas	Range
I	< 200 µJ[1)]	Methane in air	Firedamp protection
II A II B II C	< 160 µJ[1)] < 60 µJ[1)] < 20 µJ[1)]	Propane in air Ethylene in air Hydrogen in air	Explosion protection
	[1)] Doubling the energy values is permissible if the charging voltage is < 200 V.		

Tab. 3-4: List of Explosion Groups According to EN Standards

รูปที่ 11 พลังงานที่ใช้จุดติดไฟในแต่ละกลุ่มแก๊สตามมาตรฐาน IEC

การจัดแบ่งกลุ่มฝุ่น (Dust Grouping), Class II ตามมาตรฐาน IEC

การจัดกลุ่มฝุ่นไวไฟ (Combustible or Electrically Conductive Dusts) ได้ดังนี้

1. Group IIE คือ บรรยากาศประกอบด้วยฝุ่นโลหะ(Metal Dusts) ที่ลุกไหม้ได้ เช่น อลูมิเนียม(Aluminum) แทนทาลัม

2. Group IIF คือ ประกอบด้วยฝุ่นสารอินทรีย์ที่ลุกไหม เช่น ถ่านดำ (Carbon Black) ถ่านไม้ ถ่านหิน (Coal)

3. Group IIG คือ ประกอบด้วยฝุ่นที่ลุกไหม ชนิดอื่นๆ เช่น ฝุ่นสารสังเคราะห์ พลาสติก เรซิน เป็นต้น

Groups	Type of Material	Examples
E	Electrically Conductive Dusts	Powdered Metals such as Aluminum or Magnesium
F	Carbonaceous Dusts	Carbon Black, Coal Dust or Coke Dust
G	Agricultural Dusts	Grain, Flour, Sugars, Spices and certain Polymers

(The IEC has developed Zones for atmospheres containing combustible dusts, which again separates areas in to three Zones 20, 21 and 22.)

รูปที่ 12 การจัดแบ่งกลุ่มฝุ่น (Dust Grouping), Class II ตามมาตรฐาน IEC

การจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping) ตามมาตรฐาน NEC

การจัดกลุ่มก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ซึ่งไม่รวมฝุ่นไวไฟ ต่างจาก IEC โดยจัดกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. Group A คือ แก๊ส Acetylene

2. Group B คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG Ratio ไม่เกิน 0.45 หรือมีค่า MIC Ratio ไม่เกิน 0.4

3. Group C คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG Ratio มากกว่า 0.45 แต่ไม่เกิน 0.75 หรือมีค่า MIC Ratio มากกว่า 0.4 แต่ไม่เกิน 0.8

4. Group D คือ แก๊สและไอระเหยของสารไวไฟที่มีค่า MESG Ratio มากกว่า 0.75 หรือมีค่า MIC Ratio มากกว่า 0.8

Zone	Class/Division
IIC — Acetylene and Hydrogen	A — Acetylene
	B — Hydrogen
IIB — Ethylene	C — Ethylene
IIA — Propane	D — Propane

รูปที่ 13 เปรียบเทียบการจำแนกการจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping), Class I ตามมาตรฐาน IEC กับมาตรฐาน NEC

วิธีการจัดแบ่งกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Apparatus Grouping)

เนื่องจากลักษณะของการระเบิดในสภาพแวดล้อมที่อันตรายที่มีการปะปนผสมกันของก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) หรือฝุ่นผงไวไฟในอากาศแต่ละชนิดขึ้นอยู่คุณสมบัติของสารแต่ละชนิด ดังนั้นการจัดกลุ่มสารดังกล่าวจึงอยู่บนพื้นฐานของคุณสมบัติ Ignition Temperature และ Explosion Pressure จากนั้นจึงสามารถออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ป้องกันการระเบิดสำหรับสารไวไฟแต่ละชนิดได้ครอบคลุมทุกชนิด ด้วยเหตุนี้เราจึงแบ่งประเภทของกลุ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่มตาม EN50014 (IEC) คือ

1. Group I คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ใต้ดิน (for Mines Susceptible to Firedamp)
2. Group II คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่อันตรายที่มีการปะปนผสมกันของก๊าซหรือฝุ่นผงไวไฟในอากาศและมีโอกาสระเบิดได้ง่าย หรือนอกเหนือจาก Group I

จุดติดไฟหรือจุดระเบิด (Ignition Temperature หรือ Fire Point) และชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ตามมาตรฐาน IEC

จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องการ ณ สภาวะความดันบรรยากาศปกติ เมื่อใช้แหล่งความร้อน เปลวไฟ ประกายไฟในการจุดติดไฟก๊าซหรือไอระเหย

ของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) หรือฝุ่นผงไวไฟในอากาศเฉพาะตอนเริ่มกระบวนการเผาไหม้ ต่อจากนั้นเชื้อเพลิงหรือสารดังกล่าวสามารถลุกไหม้ได้เองอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้แหล่งความร้อนจากภายนอกอีกต่อไป โดยปกติจุดติดไฟจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดวาบไฟเล็กน้อย

IEC 60079-4, NEC, CENELEC และหน่วยงานต่างๆได้พยายามแบ่งหรือหาจุดติดไฟหรือจุดระเบิดของแก๊ส (Gas) และไอระเหย (Vapor) ให้มีค่าใกล้เคียงในทางปฏิบัติที่สุดเพื่อนำไปสู่การแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ซึ่งนำไปสู่การกำหนดอุณหภูมิพื้นผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการระเบิดของแก๊ส (Gas) และไอระเหย (Vapor) ซึ่งในปัจจุบันได้ใช้วิธีการตาม DIN 51794 เพื่อหาจุดติดไฟของก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Flammable Gases or Vapors) ส่วนวิธีการที่ใช้หาจุดติดไฟของฝุ่น (combustible dusts) นั้นยังไม่แน่ใจว่ามีวิธีการมาตรฐานใด ต้องหาอ่านกันไปเรื่อยๆ

การแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) จึงเป็นการกำหนดอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดของชิ้นส่วนองค์ประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายใต้การทำงานปกติหรือทำงานผิดปกติ ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดนี้ต้องมีค่าสูงไม่เกินจุดติดไฟหรือจุดระเบิด (Ignition temperature) ของสารไวไฟ การกำหนด Temperature Class ภายใต้สภาวะอ้างอิงที่อุณหภูมิแวดล้อม 40 °C (ดังในรูปที่ 14) หากเงื่อนไขสภาวะอ้างอิงต่างจากนี้ต้องมีการระบุ

Maximum Surface Temperature of Electrical Equipment		Temperature Class
450°C	842°F	T1
300°C	572°F	T2
200°C	392°F	T3
135°C	275°F	T4
100°C	212°F	T5
85°C	185°F	T6

รูปที่ 14 การจัดชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ตามมาตรฐาน IEC

Temperature Class	Highest Permissible Surface Temperature of the Equipment in °C	Ignition Temperatures of Combustible Materials in °C
T1	450	> 450 ...
T2	300	> 300 ≤ 450
T3	200	> 200 ≤ 300
T4	135	> 135 ≤ 200
T5	100	> 100 ≤ 135
T6	85	> 85 ≤ 100

รูปที่ 15 การพิจารณาจุดติดไฟของก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟเทียบกับอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดของชิ้นส่วนองค์ประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามการแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) มาตรฐาน IEC

Explosion Group	Ignition Temperature					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	Methane					
II A	Acetic acid Ethane Ethyl acetate Ammonia Benzene (pure) Acetic acid Methanol Propane Toluene	Ethyl alcohol i-amyl acetate n-butane n-butyl alcohol	Benzine Diesel fuel Aircraft fuel Heating oils n-hexane	Acetyl alde-hyde Ethyl ether		
II B	Carbon monoxide	Ethylene	Hydrogen sulfide	Ethyl ether Butyl ether		
II C	Hydrogen	Acetylene				Carbon disulfide

Tab. 3-5: Classification of Materials By Explosion Groups

รูปที่ 16 ตัวอย่างของก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟเมื่อแบ่งตามการจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping) กับการแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) มาตรฐาน IEC

ทั้งนี้อย่าสับสนหรือนำเอาการจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping) มาสัมพันธ์กับการจัดชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ตามมาตรฐาน IEC เพราะตัวอย่างเช่น ก๊าซ hydrogen ต้องการพลังเล็กน้อยในการจุดติดไฟแต่ต้องการอุณหภูมิพื้นผิวของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการจุดติดไฟสูงถึง 560 °C แต่อย่างไรก็

ตามในการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดของชิ้นส่วนองค์ประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายใต้การแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ก็ต้องเลือกให้สอดคล้องกับการจัดแบ่งกลุ่มแก๊ส (Gas Grouping) ตัวอย่างในรูปที่ 16

มาตรฐาน NEC (US NEC500) และมาตรฐานของประเทศแคนนาดา CEC Annex J ได้มีการแบ่งชั้นอุณหภูมิ (Temperature Class) ด้วยเช่นกันและแบ่งย่อยละเอียดกว่ามาตรฐาน IEC ซึ่งพอสามารถเทียบเคียงได้ดังในรูปที่ 17

Table L. Class 1 Temperature Class Comparison

Zone 0, 1, and 2	Division 1 and 2	Maximum Temperature
T1	T1	450°C (842°F)
T2	T2	300°C (572°F)
	T2A	280°C (536°F)
	T2B	260°C (500°F)
	T2C	230°C (446°F)
	T2D	215°C (419°F)
T3	T3	200°C (392°F)
	T3A	180°C (356°F)
	T3B	165°C (329°F)
	T3C	160°C (320°F)
T4	T4	135°C (275°F)
	T4A	120°C (248°F)
T5	T5	100°C (212°F)
T6	T6	85°C (185°F)

รูปที่ 17 ตารางเปรียบเทียบการแบ่งชั้นอุณหภูมิตามมาตรฐาน IEC กับมาตรฐาน NEC (US NEC500) & CA CEC Annex J

การสังเกตเครื่องหมายของหน่วยงานรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่อันตรายพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ค่าย ค่ายแรกจะเป็นเครื่องหมายที่ออกโดยหน่วยงาน FM (Factory Mutual) and UL (Underwriters Laboratories) ของประเทศสหรัฐอเมริกา และ CSA (Canadian Standard Association) โดยหน่วยงานในประเทศแคนนาดา ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวไม่เพียงแต่กำหนดมาตรฐาน

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานในพื้นที่อันตรายแต่ยังรวมถึงทำการทดสอบและออกใบรับรองผลการทดสอบพร้อมกันไปด้วย ถือว่าเป็นหน่วยงาน ONE STOP SERVICE เลยก็ว่าได้ ซึ่งทุกคนจะคุ้นเคยกับเครื่องหมายดังในรูปที่ 19

Table K. Class 1 Protection Method Comparison

Zone 0	Zone 1	Zone 2
• Intrinsically safe (2 fault) • Intrinsically safe, "ia" (2 fault) Class I, Division 1 (U.S. only)	• Encapsulation, "m" • Flame-proof, "d" • Increased safety, "e" • Intrinsically safe, "ib" (1 fault) • Oil Immersion, "o" • Powder-filled, "q" • Purged/Pressurized, "p" • Any Class I, Zone 0 method • Any Class I, Division I method (U.S. only)	• Energy limited, "nC" • Hermetically sealed, "nC' • Nonincendive, "nC" • Non-sparking, "nA" • Restricted breathing, "nR" • Sealed device, "nC" • Any Class I, Zone 0 or 1 method • Any Class I, Division 1 or 2 method (U.S. only)
Division 1		**Division 2**
• Explosion-proof • Intrinsically safe (2 fault) • Purged/Pressurized (Type X or Y)		• Hermetically sealed • Nonincendive • Non-sparking • Oil immersion • Sealed device • Purged/Pressurized (Type Z) • Any Class I, Zone 1 or 2 method (U.S. only) • Any Class I, Division 1 method

รูปที่ 18 เปรียบเทียบวิธีการป้องกันการระเบิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Protection Method) ที่ใช้ในพื้นที่อันตรายซึ่งแบ่งตามมาตรฐาน IEC (ZONE) กับมาตรฐาน NEC (Division)



รูปที่ 19 เครื่องหมายของหน่วยงานรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่อันตราย ได้แก่ FM, UL และ CSA

สำหรับค่ายที่ 2 จะเป็นเครื่องหมายที่ออกโดยหน่วยงานที่ได้รับการรับรองขีดความสามารถในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตรายว่ามีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ATEX (Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosives) และ IEC (International Electrotechnical Commission) เช่น PTB, EXAM (ดูรูปที่ 20) ทั้งนี้ ATEX และ IEC ไม่ได้ทำการทดสอบและรายงานผลการทดสอบแต่อย่างใด เรียกกันว่าแบ่งหน้าที่เพื่อสามารถตรวจสอบและถ่วงดุลกันได้ตามหลักประชาธิปไตยครับ



รูปที่ 20 เครื่องหมายของมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน ATEX และ IEC

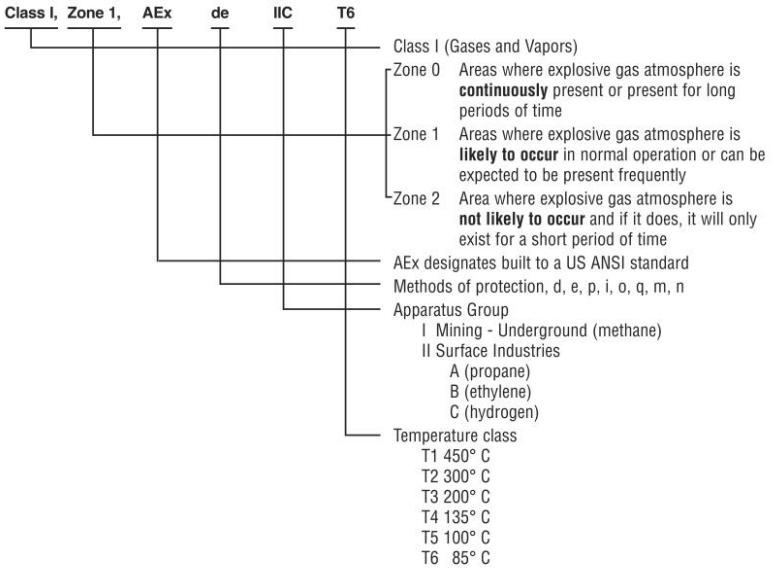
i.e., Class I, Zone 1 AEx d IIC T6

Depending on the country certifications, slight variations to the marking is shown in the table below.

Table G.

	U.S	Canada	IEC	Europe
Class	Class I	Class I (optional)	—	—
Zone	Zone 0, 1, or 2	Zone 0, 1, or 2 (optional)	Zone 0, 1, or 2	Zone 0, 1, or 2
Explosion Protection Symbol	AEx	Ex	Ex	EEx
Protection Method Symbol(s)	i.e., d = flame-proof	i.e., d = flame-proof	i.e., d = flame-proof	i.e., d = flame-proof
Gas Group	IIA, IIB, or IIC	IIA, IIB, or IIC	IIA, IIB, or IIC	IIA, IIB, or IIC
Temperature Class	T1...T6	T1...T6	T1...T6	T1...T6

Typical North American Marking to NEC 505



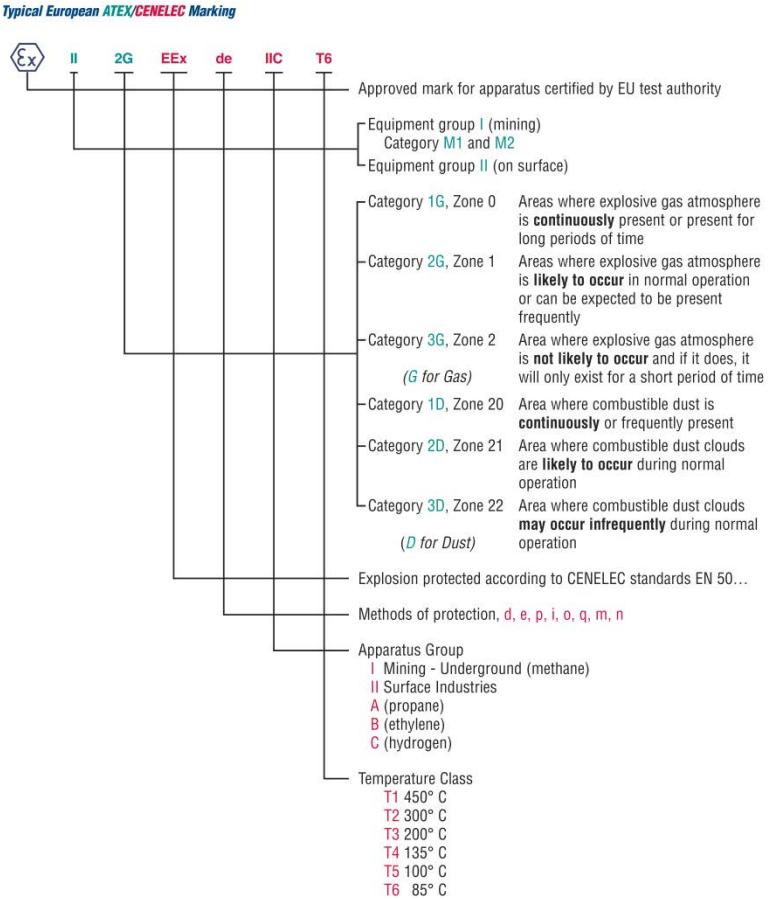
รูปที่ 21-1 ตัวอย่างและความหมายอักษรย่อบนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตราย

i.e., CE 0032 Ⓔx II2G EEx d IIC T6, PTB 01 ATEX 1040, Allen-Bradley, Milwaukee, WI

Table H.

Symbol	Description
CE	CE marking
0032	Notified body identifier/TUV Nord
Ⓔx II2G	Epsilon-x is a designation for electrical certified by an EC testing station followed by: • Equipment group (I = underground mines, II = surface) • Zone (1 = Zone 0, 2 = Zone 1, 3 = Zone 2) • Category (G = gas, D = dust)
EEx d IIC T6	Symbol for electrical apparatus built to: • EEx = European standard • AEx = American standards • Ex = IEC and Canada standards Followed by: • Protection method • Gas group • Temperature class
PTB 01 ATEX 1040	Test house, certificate number: year of publication, reference to EC directive, continuous number
Allen-Bradley	Manufacturer name
Milwaukee, WI	Manufacturer address

รูปที่ 21-2 ตัวอย่างและความหมายอักษรย่อบนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตราย (ต่อ)



รูปที่ 21-3 ตัวอย่างและความหมายอักษรย่อบนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตราย (ต่อ)

Comparison Table of Explosion-proof Standard

	TIIS-1979(Japan)	IEC & CENELEC (Europe)	USA & Canada
Based Standard	VDE 0170/0171 NFPA 1978 IEC 79-0 - 12	IEC 79-0 - 14 EN 50020/50039	NFPA 70-1987 ANSI/UL 913-1988 FM 3610 CSA C22-1986
Hazardous Locations and Applicable Type of Explosion-proof	Class 0: I only Class 1: I, d and f Class 2: I, d, f, e and o Dust under Consideration	Zone 0: ia only Zone 1: ia, ib, d and f Zone 2: ia, ib, d, f, e and o Dust under Consideration	Class I, Div.1: equivalent as Class 0 & 1, Zone 0 & 1 Class I, Div.2: equivalent as Class 2, Zone 2 Class II: Dust
Type of Explosion-proof	Flameproof : d Pressurized : f Increased safety : e Intrinsic safety : I Oil-immersed : o Special : s	Flameproof : d Pressurized : p Increased safety : e Intrinsic safety : ia/ib Oil-immersed : o Encapsulation : m Special : s	Not categorized by Types
Gas and Dust Classification More easily ignited ↓	1 : Propane 2 : Ethylene 3a: Hydrogen 3b: Carbon disulphide 3c: Acetylene 3n: All vapors in class 3 Dust under Consideration	II A: Propane II B: Ethylene II C: Hydrogen II C: Acetylene Dust under Consideration	Class I Group D: Propane Class I Group C: Ethylene Class I Group B: Hydrogen Class I Group A: Acetylene Class II Group G: Flour, Grain Class II Group F: Carbon dust Class II Group E: Metal Dust
Temperature Classification (Ignition temperature of Applicable gas or vapor)	G1: over 450 C G2: over 300 to 450 C G3: over 200 to 300 C G4: over 135 to 200 C G5: over 100 to 135 C G6: over 85 to 100 C	T1: over 450 C T2: over 300 C T3: over 200 C T4: over 135 C T5: over 100 C T6: over 85 C	T1: over 450 C T2: over 300 C T3: over 200 C T4: over 135 C T5: over 100 C T6: over 85 C
Code Example	d2G4	Ex d II BT4	Class I, Div.2, Group C D, T4
	i3aG5	Ex ia II CT5	Class I, Div.1, Goup B C D, T5

(NOTE: TIIS means Technology Institute of Industrial Safety, Ministry of Labor, Japan)

eg. d2G4

- Shall be used at Class 1 and 2 locations
  Equivalent as Zone 1 and 2, Class I Div. 2, and Div.1 with special conditions
- Can be used for both 1: propane and 2: Ethylene
  Equivalent as T4(=T6, T5 and T4)
- Process temperature is less than G4 (=G6, G5 and G4)
  Equivalent as T4 (=T6, T5 and T4)

รูปที่ 22 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานด้านพื้นที่อันตราย

เส้นทาง...ปัญหาและอุปสรรค
มาตรวัดแบบมาตราชนิดมาตรวัดมวลคอริออริส
เมื่อสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก

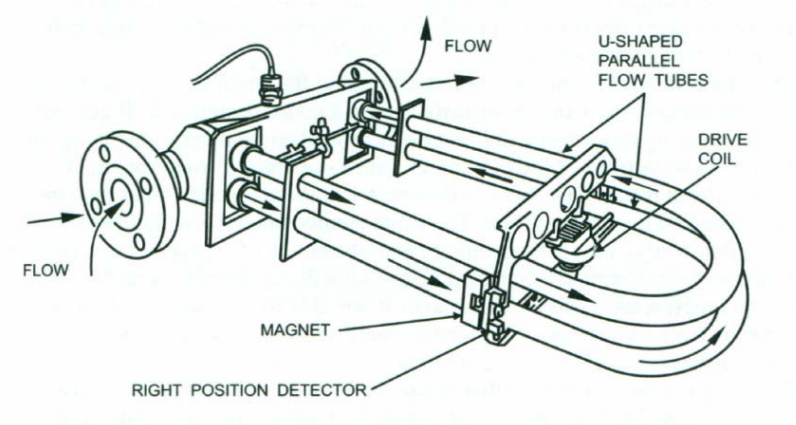
ชั่งตวงวัดได้ว่าจ้างให้ห้องปฏิบัติการหนึ่งดำเนินการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter) ขนาด ∅ 1/2 นิ้ว จำนวน 6 ชุด (6680-014-001-51, 6680-014-002-51, 6680-014-003-51, 6680-014-004-51, 6680-014-005-51 และ 6670-005-001-51) เพื่อใช้เป็นมาตรวัดแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดก๊าซ CNG ตามสถานีบริการ ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method) บนพื้นฐานมาตรฐาน ISO 4185: 1980 Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits – Weighing Method ในระหว่างการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสนั้นเราได้พบประเด็นที่สำคัญ คือ การป้อนค่าตัวแปรเพื่อใช้กำหนดการทำงาน (Configuration) ของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) ประจำตัวมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการถ่ายทอดสัญญาณและการประมวลผลสัญญาณ

ก่อนเข้าประเด็นการพิจารณาการ Configuration ตัวแปรกำหนดค่าการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสที่ใช้เป็นแบบมาตรา

เพื่อให้เข้าใจที่ไปที่มา เราจึงต้องทบทวนหลักการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสกันเสียก่อน เลยถือโอกาสทบทวนและจัดทำเป็นเอกสารไว้เผื่อไว้ใช้อ่านอ้างอิงกันต่อไป หรือหากใครคิดว่าต้องการปรับปรุงเพิ่มเนื้อหาสาระให้สมบูรณ์ดียิ่งขึ้นก็ไม่ว่ากัน (แต่บอกกล่าวสักกะหน่อย ครับ)

พบว่าหลักการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสในการหาอัตราการไหลของมวลนั้น อัตราการไหลมวลที่วัดได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับช่วงระยะเวลา ΔT

ซึ่งวัดได้จากการเปรียบเทียบผลต่างของ Phase Shift ของการเคลื่อนที่ของท่อวัด (Flow Tube) จาก Pickup Coils บนขาแต่ละข้างของท่อวัดหรือช่วงระยะเวลาที่แตกต่างของท่อวัดที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเดียวกัน ในขณะท่อวัดมีของเหลวไหลผ่านเทียบกับขณะที่ท่อวัดไม่มีของเหลวไหลผ่าน (ดูรูปที่ 8)



รูปที่ 1 โครงสร้างโดยทั่วไปของมาตรวัดมวลคอริออริส (Micro Motion, Inc.)

รูปร่างและโครงสร้างโดยทั่วไปของมาตรวัดมวลคอริออริส ดังในรูปที่ 1 เมื่อเริ่มการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสที่สภาวะไม่มีการไหลของของไหลผ่านท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส ท่อวัดจึงถูกกระตุ้นด้วยตัวขับท่อวัด (Drive Coil) ให้สั่นด้วยความถี่ค่าหนึ่ง (ω_d) จากนั้นระบบควบคุมการทำงานของมาตรวัดจะเพิ่มความถี่ขึ้นจนกระทั่งท่อวัดสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของมันด้วยแรงที่เรียกว่า “Oscillatory Driving Force” เพื่อให้ท่อวัดสั่นรอบแกน O-O (รูปที่ 3) เพียงแรงเดียว เหตุที่กระตุ้นให้ระบบมวลท่อวัดตัวเปล่าๆนี้สั่นรอบแกน O-O ด้วยความถี่ธรรมชาติก็เพราะการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของระบบมวลจะก่อให้เกิดการแทรกสอด (Resonant Frequency) และทำให้ระยะเคลื่อนที่ขึ้นลงในบริเวณปลายสุดของท่อวัดมีระยะเคลื่อนที่ (Displacement Amplitude; A) มีค่ามากที่สุดในขณะที่ใช้แรงกระตุ้นหรือพลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปยังตัวขับท่อวัดน้อยที่สุด พบว่า Amplitude ของการสั่นโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า

2.5 mm (0.1 in) ถือว่าน้อยมากดังนั้นหากไม่มีเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเราคงไม่มีมาตรวัดมวลคอริออริสไว้ใช้งานได้เหมือนในปัจจุบัน แรงกระตุ้นให้ท่อวัดสั่นด้วยตัวขับท่อวัดจึงมีค่าเท่ากับ

$$\vec{F}_d = \hat{\vec{F}}_d \sin(\omega_d . t) \qquad (1)$$

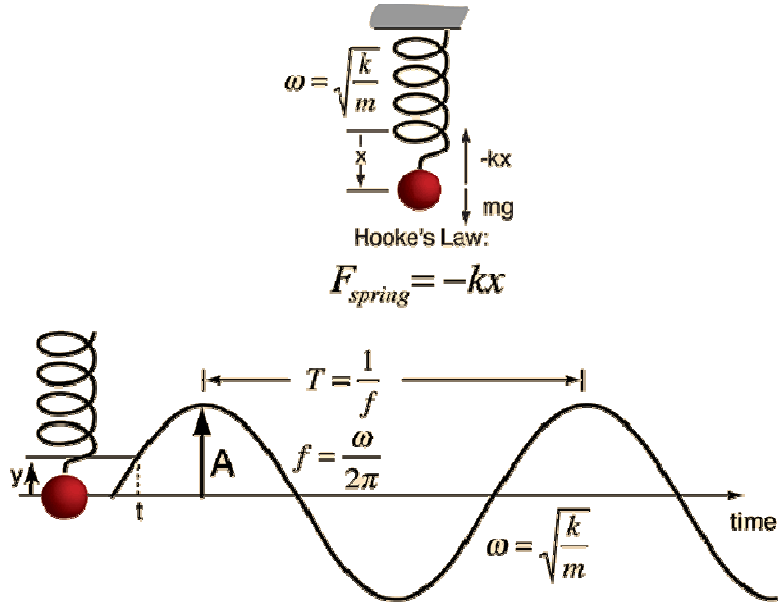
เมื่อ

$\vec{F}_d$ = แรงกระตุ้นให้ท่อวัดสั่นโดยตัวขับท่อวัด (Drive Coli)

ω_d = ความถี่เชิงมุมการสั่นของท่อวัดรอบแกน O-O (Driving Angular Frequency) ดูสมการ (14)

t = เวลา

แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่าท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสได้สั่นที่ความถี่ธรรมชาติ เราใช้หลักการทำงานระบบการสั่นสะเทือนของมวลซึ่งผูกติดอยู่กับสปริง (Vibrating Spring Mass System) ดูรูปที่ 2 เพื่ออธิบายทำความเข้าใจแบบง่ายๆ เพราะถ้าหากเราต้องพิจารณาระบบการสั่นสะเทือนของท่อวัดแบบจริงจังแล้วละก็ สมการมันยุ่งปวดหัวมากมายเลยครับ ในรูปที่ 2 เมื่อเราดึงมวลที่ติดอยู่บนปลายขดลวดสปริงลงมาแล้วปล่อยให้มวลเคลื่อนที่ขึ้นลงอิสระโดยถือว่าไม่มีแรงหน่วงใดๆ การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะถูกผลักและหน่วงจำกัดด้วยระยะการยืดของสปริง เมื่อเคลื่อนที่ครบรอบในแต่ละรอบการสั่นจะมีค่าความถี่ของการสั่นเท่ากับสมการ (2) ค่าความถี่การสั่นของระบบมวลดังกล่าวที่ทำให้มีระยะการเคลื่อนที่ (A) มากที่สุดเราจะเรียกว่า “ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)” หรืออาจเรียก “Resonant Frequency” (ดูรูปที่ 3) ดังนั้นตราบใดมวลที่ผูกอยู่กับปลายสปริงมีค่าคงที่และเมื่อดึงมวลลงมาแล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ขึ้นลงอิสระโดยไม่มีแรงเสียดทานใดๆมากระทำ (ตัวขับท่อวัดต้องทำงานตลอดเวลา) ระบบการสั่นสะเทือนของมวลซึ่งผูกติดอยู่กับสปริงดังกล่าวจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่งเสมอจนกว่าระบบถูกหน่วงให้เคลื่อนที่ขึ้นลงช้าลง ความถี่ธรรมชาติของการเคลื่อนที่ขึ้นลงมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของมวลบนปลายสปริง (Harmonic Motion)

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (2)$$

หรือ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (3)$$

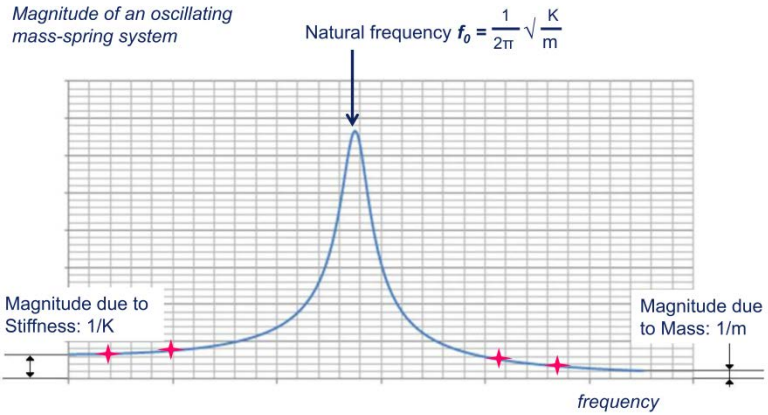
เมื่อ

ω = ความถี่เชิงมุมของการสั่นของมวล (Angular Frequency of Oscillation)

f = ความถี่ของการสั่นของมวล (Frequency of Oscillation)

k = ค่าคงที่ของสปริง (Spring Constant)

m = มวล (Mass)



รูปที่ 3 ความถี่ธรรมชาติของการสั่นของท่อวัด (Frequency Response Function; Harmonic Motion)

เมื่อท่อวัดสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ การป้อนจ่ายพลังงานไปยังตัวขับท่อวัด (Drive Coil) เพื่อให้ยังคงกระตุ้นการสั่นของท่อวัดอยู่ต่อไปก็ลดน้อยลงจนถึงค่าน้อยที่สุดทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้เพื่อทำให้ท่อวัดสั่นด้วยความถี่คงที่ที่ความถี่ธรรมชาติส่งผลให้คาบของการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ; T คงที่ จนกระทั่งมีการไหลของของไหลผ่านมาตรวัดมวลคอริออริส ระบบท่อวัดมีค่ามวลเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ระบบควบคุมอิเลคทรอนิคส์ (Feedback Control) ของมาตรวัดมวลคอริออริสจะส่งพลังงานไปยังตัวขับท่อวัดเพื่อกระตุ้นให้ท่อวัดรักษาสภาวะการสั่นของท่อวัดที่ความถี่ธรรมชาติไว้ที่ความถี่ธรรมชาติอีกค่าหนึ่งตามค่ามวลระบบท่อวัดที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ระบบท่อวัดซึ่งมีของไหลไหลผ่านสั่นด้วยค่า ω คงที่อีกค่าหนึ่งด้วยเหตุผลที่ว่าเพื่อรักษาระยะ Displacement Amplitude (A) ส่วนปลายโค้งของมาตรวัดมวลคอริออริสให้มีค่ามากที่สุดตลอดเวลา (ส่วนจะมีประโยชน์อย่างไรจะอธิบายต่อไป) และยังใช้พลังงานส่งไปยังตัวขับท่อวัดน้อยที่สุด ซึ่งจะมีผลต่อในเรื่องการออกแบบระบบส่งจ่ายไฟฟ้า, ความร้อนและการออกแบบระบบอุปกรณ์ควบคุมอิเลคทรอนิคส์ประจำมาตรวัดมวลคอริออริส สุดท้ายขอย้ำกันอีกครั้งว่าค่าการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่งจะเป็นค่าประจำระบบมวลคงที่ค่าหนึ่งเมื่อ

ระบบมวลมีค่าเปลี่ยนแปลงไปค่าการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติประจำระบบมวลนั้น ก็จะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกันแต่ระบบควบคุมของมาตรวัดมวลคอริออริสจะพยายามรักษาค่าระยะ Displacement Amplitude (A) ให้คงที่ ด้วยเหตุนี้ความเสถียรของค่า Displacement Amplitude (A) จึงมีผลต่อคุณภาพการวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส จากหลักการนี้นำไปสู่การนำไปใช้งาน เช่น

- ผลต่างของความถี่ธรรมชาติกับผลต่างของค่าน้ำหนักของระบบมวลจึงถูกนำไปใช้งานในการหาค่าความหนาแน่นของไหลที่ไหลผ่านท่อวัด
- ผลต่างของความถี่ธรรมชาติในขณะที่มีค่าน้ำหนักของระบบมวลเท่ากันจะถูกนำไปใช้ในการบ่งบอกว่ามาตรวัดมวลคอริออริสทำงานบกพร่องหรือไม่

ปรากฏการณ์ที่เกิดคู่ขนานพร้อมกันไปเมื่อระบบควบคุมการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสปรับค่าการส่งพลังงานไปยังตัวขับท่อวัดให้สั่นด้วยความถี่ธรรมชาตินั้น พบว่าภายในระบบท่อวัดจะมีแรงที่เรียกว่า “แรงคอริออริส (Coriolis Force)” ดูรูปที่ 4 ซึ่งเป็นแรงเกิดจากของเหลวกระทำต่อท่อวัดเนื่องจากการไหลของไหลผ่านท่อวัดซึ่งถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ภายใต้ความถี่คงที่ แรงดังกล่าวนี้เป็นแรงเกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติเพิ่มเติมกฎการเคลื่อนที่บนระนาบที่อยู่นิ่งไม่เคลื่อนที่ (F = ma) กลายเป็นกฎการเคลื่อนที่บนระนาบที่มีการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่จึงเรียกว่า “ปรากฏการณ์แรงคอริออริส” มีค่าเท่ากับ

$$\vec{F} = m(2\vec{\omega} \times \vec{v}) \qquad (4)$$

หรือ $F = 2m\vec{\omega}\vec{v}$

เมื่อ

F = แรงคอริออริส (coriolis force)

$\vec{\omega}$ = ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity Vector)

$\vec{v}$ = ความเร็วเฉลี่ยการไหลของเหลว

m = มวล (mass)

แต่เนื่องจากทิศทางการไหลของไหลในท่อวัดเปลี่ยนทิศกลับด้านระหว่างทิศทางการไหลท่อทางเข้าและทิศทางการไหลท่อทางออกด้าน (ดูรูปที่ 4) หากพิจารณาท่อวัด (Flow Tube) ในแนวแกน O-O ภายหลังเมื่อท่อวัดถูกกระตุ้นด้วยตัวขับท่อวัดให้สั่นที่ความถี่ธรรมชาติด้วยแรง Drive Force ตามสมการ (1) จะทำให้ท่อวัดสั่นรอบแกน O-O ด้วยความถี่ ω ($\omega = 2\pi f$) ในขณะเดียวกันมีแรงเข้ามากระทำต่อระบบท่อวัดเพิ่มขึ้นคือแรงอันเนื่องจากของเหลวกระทำบนขาท่อวัดทางด้านเข้าและขาท่อวัดทางด้านออกซึ่งเรียกว่า “แรงคอริออริส” มีค่าเท่ากับ F_1 และ F_2 ตามลำดับ โดยในเบื้องต้นเราสมมุติให้แรงทั้ง 2 มีค่าคงที่ ไม่ใช่แรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังในสมการ (1) ซึ่งทิศทางของแรงดังกล่าวจะกระทำในทิศทางตรงข้ามกันแต่ขนาดของแรงทั้งสองมีค่าเท่ากันส่งผลก่อให้เกิดการบิดของท่อวัดรอบแกน R-R เท่ากับโมเมนต์ M รอบแกน R-R กระทำต่อท่อวัดด้วยรัศมี r (ดูรูปที่ 5) ที่สภาวะสมดุลค่าโมเมนต์มีค่าเท่ากับ

$$\vec{M} = \vec{F}_1\vec{r}_1 + \vec{F}_2\vec{r}_2 \qquad (5)$$

แต่เนื่องจาก

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2$$

$$r_1 = r_2$$

ดังนั้น

$$M = 2Fr = 4mr\bar{\omega}\bar{v} \qquad (6)$$

แต่เนื่องจากอัตราการไหลมวล (Mass Flow Rate; W) สามารถหาค่าได้เมื่อทราบค่ามวล (Mass) ; m ซึ่งไหล ณ จุดที่กำหนดภายในท่อวัดต่อหน่วยเวลา ดังนั้น

$$W = \frac{m}{t} \qquad (7)$$

หรือ $$W = \frac{m\bar{v}}{L} \qquad (8)$$

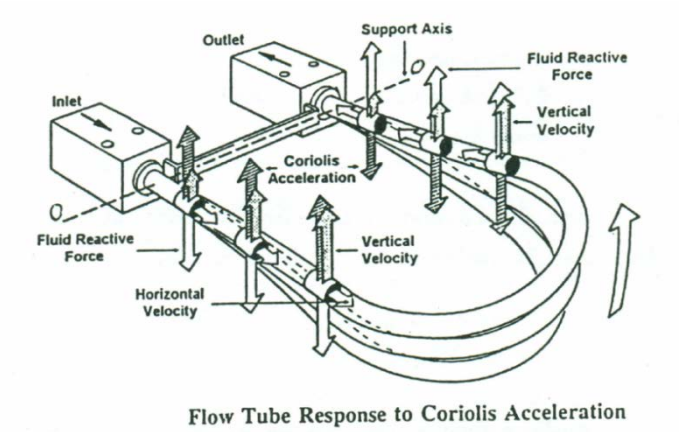
เมื่อ

$\bar{v}$ = ความเร็วเฉลี่ยการไหลของเหลว

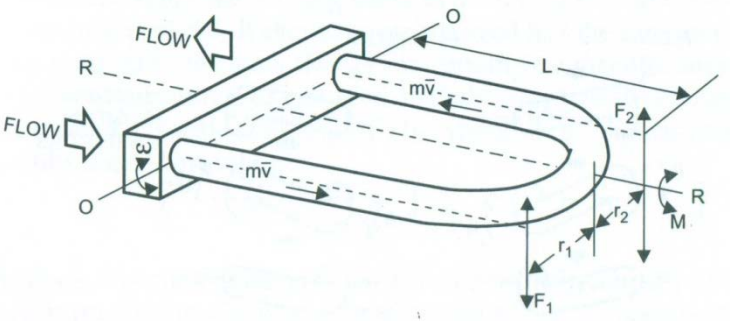
L = ความยาวท่อวัด ; m (ดูรูปที่ 5)

แทนค่าสมการ (8) ลงในสมการ (6) จะได้ว่า

$$M = 4\vec{\omega} r W L \tag{9}$$



รูปที่ 4 ทิศการไหลของไหลภายในท่อวัดและแรงคอริออริส หรือ Fluid Reactive Force



รูปที่ 5 แรงกระทำเมื่อมีของไหลไหลเข้าภายในท่อวัดด้วยทิศทางเข้าและออกกลับทิศทางกัน

พบว่าการบิดตัวของท่อวัดอันเนื่องจากโมเมนต์ซึ่งกระทำด้วยแรงคอริออริสถูกต้านหรือฝืนการบิดตัวด้วยคุณสมบัติเชิงกลของท่อวัดที่เรียกว่า “Stiffness”

โดยอยู่ในรูปของโมเมนต์บิด (Twisting Moment) หรือแรงบิด (Torque) T โดยมีสัมประสิทธิ์ K เป็นค่า Stiffness ของท่อวัดซึ่งมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ Young's Modulus) ของวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อวัด

$$T = K\theta \tag{10}$$

ก่อนจะเดินเรื่องต่อไปเรามาแวะพักและพูดคุยระหว่างทางด้วยคำว่า **"Stiffness"** เนื่องจากเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและเป็นหัวใจน้อยๆของมาตรวัดมวลคอริออริส "Stiffness" คือความสามารถของระบบกลไกที่สามารถทนทานคงทนต่อแรงภายนอกที่มากระทำโดยไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างทางมิติหรือพูดง่ายๆ คือไม่เสียรูปทรงไปในช่วง Elastic Limit ทั้งนี้ค่า Stiffness จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของ Modulus of Elastic หรือ Young's Modulus (คืออัตราส่วนระหว่าง Stress ต่อ Strain) และค่า Rigidity เมื่อพิจารณาระบบมวลและสปริงซึ่งเป็นระบบแบบง่าย (ดูรูปที่ 2) ค่า Stiffness จะเป็นค่าสัดส่วนระหว่างแรงกระทำต่อระบบมวลกับระยะทางที่มวลเคลื่อนที่ไป

$$K = \frac{F}{\Delta s} \tag{11}$$

โดยแรง F จะมีค่าเป็น นิวตัน (N) หรือ lbs และ Δs มีค่าเป็น เมตร (m) หรือนิ้ว (in.) แต่ในเทอมของโมเมนต์หรือการบิด (Torque) F จะมีค่าเป็น นิวตัน-เมตร (N-m) หรือ in.-lbs- และ Δs มีค่าเป็น องศา (°) หรือ เรเดียน (rad)

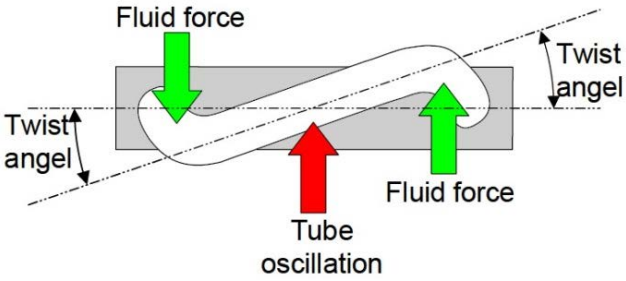
ภายใต้สภาวะสมดุลของแรงที่กระทำต่อท่อวัดทั้งหมดขณะมีของไหลไหลเข้าท่อวัดจึงได้ว่า $T = M$ ดังนั้นอัตราการไหลมวล (Mass Flow Rate) W จะมีความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการบิดตัวเชิงมุมรอบแกน R-R ด้วยมุมบิดเท่ากับ θ องศา โดยปกติแล้วค่าการบิดตัวมีค่าน้อยมากประมาณ 0.04 นิ้ว (1 มิลลิเมตร) หรืออาจมีค่าการบิดตัวสูงสุดที่อัตราการไหลสูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริสเพียง 0.0014 นิ้ว (0.035 มิลลิเมตร) ก็อาจเป็นได้ และด้วยเหตุนี้เองจึงต้องการออกแบบให้ระบบท่อวัดสั่นที่ความถี่ธรรมชาติของระบบมวลท่อวัดขณะนั้นเพื่อต้องการให้ได้

ระยะ Displacement Amplitude (A) บริเวณด้านปลายสุดบริเวณโค้งของท่อวัดมีค่ามากที่สุด เพื่อเราต้องการค่ามุมบิดสูงสุดเท่าที่ทำได้ที่อัตราการไหลมวลสูงสุด (ดูรูปที่ 6) ดังนั้น Pickup Coils บนขาแต่ละข้างของท่อวัดจึงต้องมีขีดความสามารถสูงและมีความเที่ยงตรงสูงเพื่อสามารถวัดค่ามุมการบิดตัวของท่อวัดอันน้อยนิด

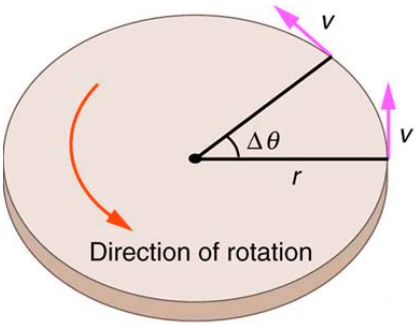
$$T = M \tag{12}$$

$$K\theta = 4\bar{\omega}rWL \tag{13}$$

$$W = \frac{K\theta}{4\bar{\omega}rL} \tag{14}$$



รูปที่ 6 การบิดตัวของท่อวัดอันเนื่องจากโมเมนต์ซึ่งกระทำด้วยแรงคอริออริสและถูกต้านการบิดตัวด้วยโมเมนต์บิดเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลของท่อวัด



รูปที่ 7 การหมุนเชิงมุม

จากนิยามการหมุนเชิงมุม ด้วยความเร็วเชิงมุม (ดูรูปที่ 7)

$$\omega = \frac{\theta}{\Delta T} = \frac{v}{r} = 2\pi f \qquad (15)$$

ดังนั้น

$$\Delta T = \frac{\theta}{\bar{\omega}} \qquad (16)$$

แทนค่าสมการ (16) ลงในสมการ (14) จะได้ว่า

$$W = \frac{K\bar{\omega}\Delta T}{4\bar{\omega}rL} = \frac{K}{4rL}\cdot\Delta T \qquad (17)$$

เมื่อ

W = อัตราการไหลมวล

K = Stiffness of the Flow Tube ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Modulus of Elasticity ของวัสดุที่ใช้ทำท่อวัดซึ่งจะมีค่าคงที่และแปรผันเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ

θ = ค่ามุมการบิดตัวของท่อวัดซึ่งหาระยะมุมการบิดตัวได้ด้วยตัวตรวจจับตำแหน่ง (Magnetic Position Sensors) จำนวน 2 ตัว

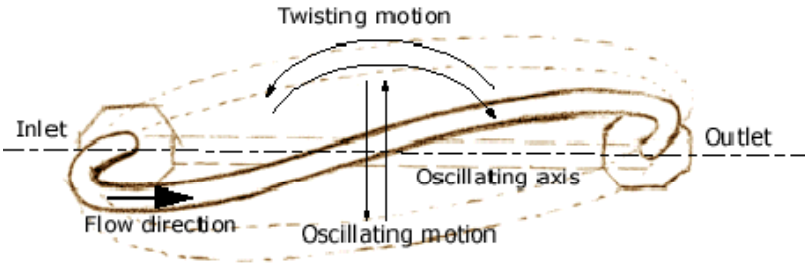
$\bar{\omega}$ = ค่าความเร็วเชิงมุมที่ทราบจากบริษัทผู้ผลิตเนื่องจากท่อวัดถูกกระตุ้นโดยอุปกรณ์อิเลคโทรแม็กเนติก (Electromagnetic Devices) หรือตัวขับท่อวัด (Drive Coil) ให้สั่นที่ความเร็วเชิงมุมค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าความถี่ธรรมชาติของท่อวัด

L = ความยาวท่อวัด โดยค่า r และค่า L เป็นค่าคงที่สามารถทราบค่าจากบริษัทผู้ผลิต

ΔT = ช่วงระยะเวลาที่แตกต่างของท่อวัดที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเดียวกัน (ดูรูปที่ 9)

$\frac{K}{4rL}$ = **Flow** Calibration **Factor** หรือที่เรียกว่า F.C.F

เราจะเห็นได้ว่าที่สภาวะการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริส ท่อวัดจะมีการสั่นรอบแกน 2 แกนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันนั้นคือการสั่นด้วยความเร็วเชิงมุมของการกระทำของตัวขับท่อวัดรอบแกน O-O กับการบิดตัวของท่อวัดด้วยแรงคอริออริสรอบแกน R-R ปรากฏการณ์นี้ฝรั่งเรียกว่า “Superimposed Mode” หรือ “Coriolis Mode” ดังในรูปที่ 8



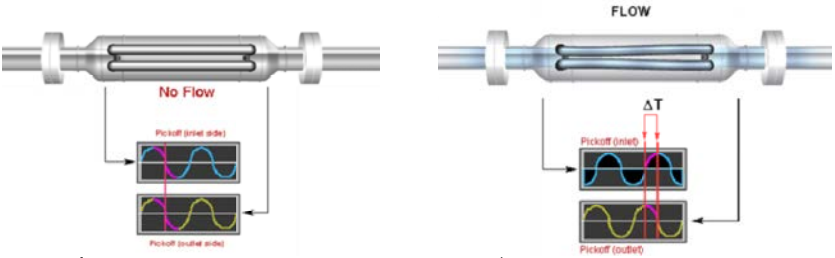
รูปที่ 8 การหมุนเชิงมุมและการบิดตัวของท่อวัดใน“Superimposed Mode” หรือ “Coriolis Mode”

จากสมการ (17) แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลมวล (Mass Flow Rate) ที่จุดใดๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับช่วงระยะเวลา ΔT ,ค่าคงที่ทางเรขาคณิตและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำท่อวัดรวมทั้งอุณหภูมิของท่อวัดที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำท่อวัดเท่านั้น อีกทั้งพบว่า W ไม่ขึ้นกับความถี่ของการสั่นของท่อวัดด้วยความเร็วเชิงมุม ω ($\omega = 2\pi f$) แต่อย่างใด

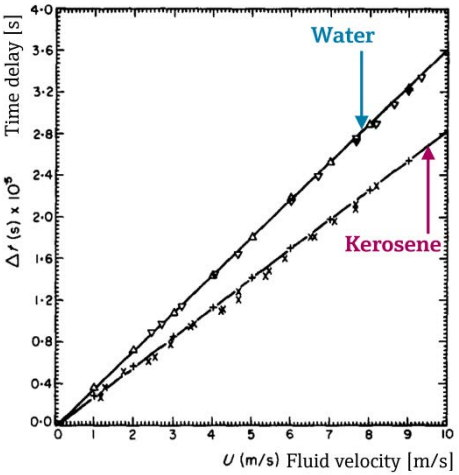
เราสามารถจัดรูปแบบสมการ (17) ได้ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ

$$W = F.C.F \cdot \Delta T \qquad (g/sec/\mu sec)\,(\mu sec) \qquad (18)$$

โดยค่า $F.C.F$ เป็นค่าที่บ่งบอกว่า มาตรวัดมวลคอริสออริสต้องการอัตราการไหลในหน่วย กรัมต่อวินาที (g/sec) ค่าหนึ่งเพื่อทำให้กราฟสัญญาณความเร็วที่วัดได้จาก Sensor Pickoff เลื่อนไป (Shift) โดยวัดเป็นผลต่างเวลา ΔT มีค่าเท่ากับ $1\mu sec$ (ดูรูปที่ 9)



รูปที่ 9 ผลต่าง Phase Shift ของท่อวัดสั่นคิดเป็นเวลา ΔT ขณะมีของเหลวไหลผ่านท่อ (FLOW: ขวามือ) กับไม่มีของเหลวไหลผ่านท่อ (NO FLOW: ซ้ายมือ) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหลมวลของเหลว



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของไหลภายในท่อกับผลต่างการ Shift ของกราฟการเคลื่อนที่ของท่อวัดสั่นคิดเป็นเวลา ΔT ขณะมีของเหลวไหลผ่านท่อ (FLOW) ต่างชนิด (ความหนาแน่นต่างกัน)

หากเรามาวิเคราะห์หน่วย F.C.F จะได้ว่า F.C.F เป็นหน่วยของแรงต่อระยะที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการกระทำของแรง ซึ่งถือเป็นหน่วยของ Stiffness ของระบบท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสนั้นเอง ดูในสมการ (11)

(g/sec/μsec) $\rightarrow$ N/m

$$
\begin{aligned}
\text{F.C.F} &\approx \frac{\left(\frac{\text{Mass}}{\text{Time}}\right)}{\text{Time}} \\
&\approx \frac{\left(\frac{\text{Force}/\text{Acceleration}}{\text{Time}}\right)}{\text{Time}} \\
&\approx \frac{\left(\frac{\text{Force}/\left(\frac{\text{Length}}{\text{Time}^2}\right)}{\text{Time}}\right)}{\text{Time}} \\
&\approx \frac{\text{Force}}{\text{Length}}
\end{aligned}
\qquad (19)
$$

หากเรานำสมการ (17) ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลมวลที่วัดได้จากมาตรวัดมวลคอริสออริสเทียบกับอัตราไหลมวลจากแบบมาตราจะได้ดังแสดงรูปที่ 11 ซึ่งเส้นกราฟจะตัดผ่านจุด (0,0)

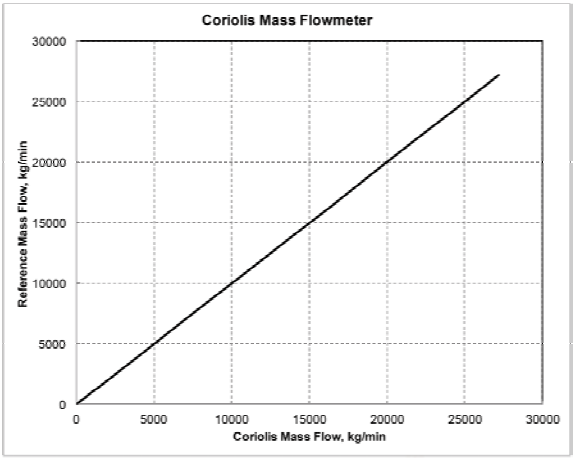
แต่หากเวลาเริ่มต้นเมื่อไม่มีการไหลมวล พบว่าท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสดันทะลึ่งสั่นจนเกิดการ Shift Curve ไปแล้ว ΔT_0 (Residual Phase at Zero Flow) ดังนั้นจะได้สมการอัตราการไหลมวลจะอยู่ในรูปสมการ (ดูรูปที่ 12)

$$W = \text{F.C.F} \cdot (\Delta T - \Delta T_0) \qquad (\text{g/sec}/\mu\text{sec})\,(\mu\text{sec}) \qquad (20)$$

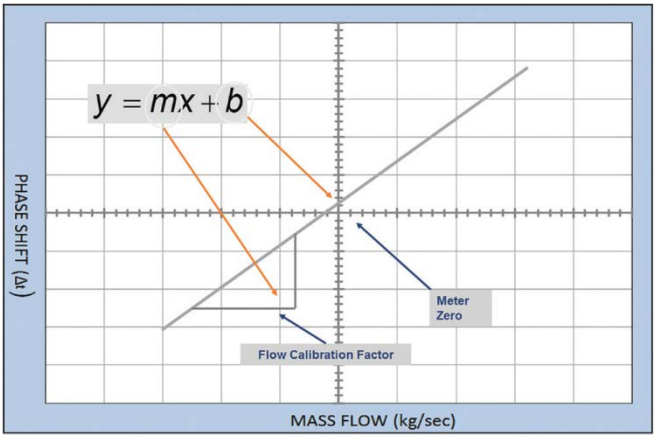
พิจารณาสมการ (20) จะเห็นได้ว่าอยู่ในรูปสมการเส้นตรง $y = mx + b$ นั้นเอง ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร 2 ตัวในการวัดค่าจึงเป็นความสัมพันธ์ของเครื่องชั่งตวงวัดที่มนุษย์คิดค้นและเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่ดีระบบหนึ่งเพราะเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ต้องการวัดมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นนั้นเอง เราจัดรูปสมการ (20) ใหม่เป็น

$$W = \text{F.C.F} \cdot \Delta T - (\text{F.C.F} \cdot \Delta T_0) \qquad (21)$$

โดยค่าความชันของกราฟเส้นตรง (m) ก็คือ F.C.F และค่าตัดแกน y ก็คือ $-(\text{F.C.F} \cdot \Delta T_0)$ หรืออาจเรียกว่า “Zero Offset”



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์อัตราการไหลมวลที่วัดได้จากมาตรวัดมวลคอริสออริสเทียบกับอัตราไหลมวลของแบบมาตรา ตามสมการ (18)



รูปที่ 12 กราฟแสดง Meter Zero เมื่อค่าความชันกราฟ m = F.C.F และค่าตัดแกน Y หรือ b = Zero Offset

ทั้งนี้หากมีการ Shift Curve ไปแล้ว ΔT_0 ทั้งที่ไม่มีการไหลของไหลผ่านท่อวัดแต่อย่างใดถือเป็นเรื่องที่ต้องพึงระวังทั้งในการสอบเทียบและการใช้งาน เนื่องจากในแต่ละครั้งที่เริ่มทำการวัดเราไม่ทราบปริมาณ ΔT_0 ในแต่ละครั้งว่าจะมี

ค่าเท่าไรคงที่หรือไม่ ดังนั้นทุกครั้งก่อนทำการสอบเทียบหรือทำการวัดเราต้องขจัด ΔT_0 ออกไปจากชีวิตเราเสียก่อนเพื่อให้สิ้นข้อสงสัย ขอให้คิดเสียว่าเสมือนเรากด “TARE” เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติทุกครั้งก่อนใช้งานนั้นเอง ไม่เช่นนั้นท่านจะมีทุนรอนผลผิดติดเนื้อติดตัวไปทุกครั้งส่วนผลจะเป็นกำไรหรือขาดทุนก็ขึ้นอยู่กับค่า “Zero Offset” จะเป็นฝั่งบวกหรือฝั่งลบ

จากสมการ (20) จึงสรุปได้ว่า หากค่า **Flow Calibration Factor** หรือ F.C.F เปลี่ยน การเปลี่ยนไปของค่า F.C.F หรือพูดอีกนัยหนึ่งนั้นคือค่า **Stiffness** ของท่อวัดเปลี่ยนอาจมีหลายสาเหตุ เช่น การกัดกร่อนทางเคมี (Corrosion) หรือการกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) อันเนื่องจากโดยปกติแล้วความหนาของท่อวัดของมาตรวัดมวลซึ่งจะบางกว่าท่อปกติที่ความดันและอุณหภูมิการออกแบบเดียวกันตลอดจนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันขณะทำงานในระบบการไหลที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุ่นแรง สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้ค่า Stiffness ของท่อวัดเปลี่ยนแปลงนั้นหมายถึงส่งผลก่อให้เกิด

1. อัตราการไหลมวล W เปลี่ยน: สมการ (19)
2. ผลการวัดค่าความหนาแน่นเปลี่ยน: สมการ (32)
3. ความถี่ธรรมชาติในการสั่นในแต่ละอัตราการไหล หรือขณะไม่มีการไหลผ่านมาตรวัดเปลี่ยน

การเปลี่ยนไปของค่า F.C.F หรือค่า **Stiffness** ของท่อวัด จะส่งผลให้มาตรวัดมวลคอริออริสให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนที่เราเรียกว่าเกิดการ “Drift” จากค่าที่ได้รับการสอบเทียบมาก่อนหน้านี้เหมือนเช่นเครื่องชั่งตวงวัดโดยทั่วไป หากเราพิจารณาสมการ (21) และรูปที่ 12 นั้นหมายถึงค่าความชันของเส้นกราฟเปลี่ยนไปนั้นเอง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันของท่อวัดก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนไปของค่า F.C.F หรือค่า **Stiffness** ของท่อวัดเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อทำการสอบเทียบเราจำเป็นต้องปรับค่ามาตรวัดมวลคอริออริสให้กลับมาแสดงผลการวัดที่ถูกต้องด้วยการปรับค่าแก้ไขด้วย “**Mass Factor**” เราไม่ควรทำการแก้ไขปรับค่า F.C.F อย่างเด็ดขาดถึงแม้การปรับค่า F.C.F จะให้ผล

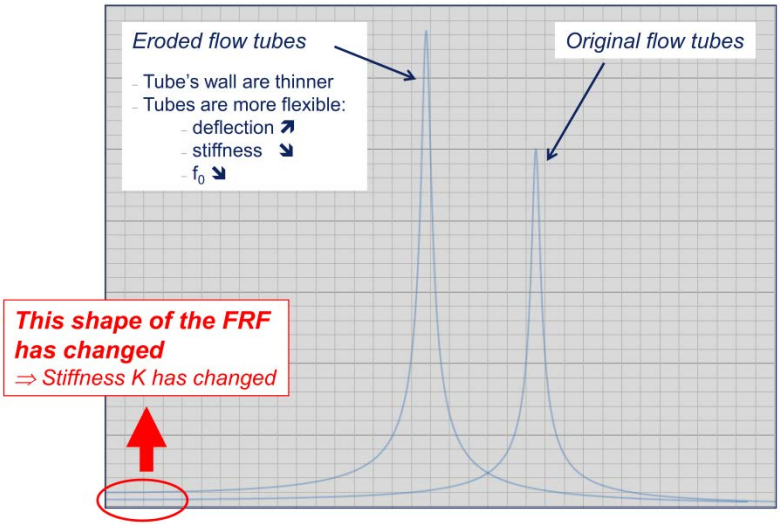
เช่นเดียวกับการปรับค่า **Mass Factor** ก็ตาม ทั้งนี้เพราะค่า F.C.F จะปรากฏบน Nameplate ประจำท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งทำให้เราตรวจสอบและติดตามประวัติมาตรวัดมวลได้ ดังนั้นจะมีแต่เฉพาะค่า **Mass Factor** ที่ปรับเปลี่ยนแก้ไขค่าเพียงค่าเดียวในการจัดเก็บประวัติมาตรวัดมวลคอริออริส ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ระยะเวลาในการใช้งานมาตรวัดมวลคอริออริสเราต้องคำนึงและให้ความสนใจการ “Drift” ของมาตรวัดมวลคอริออริสเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการกำหนดอายุการให้คำรับรองต่อไป

ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตจึงใช้เทคนิคตรวจสอบ “CMF Drift” ไปจากเดิมด้วยการตรวจสอบค่า **Stiffness** หรือ F.C.F ซึ่งถูกถือว่าเป็นค่าประจำตัวของท่อวัดนั้นๆ เสมือนเป็นลายนิ้วมือประจำท่อวัดเลยก็ว่าได้เพราะผู้ผลิตเค้าบอกว่ามันเป็นค่า Unique (หนึ่งเดียวในโลกนี้) และถูกฝังค่าไว้ในมาตรวัดมวลคอริออริส โดยผ่านช่องทางความถี่ธรรมชาติของท่อวัด (f) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยตัวขับท่อวัดที่อัตราการไหลเดียวกัน เพราะค่า Stiffness หรือ F.C.F (K) ซึ่งผูกพันกันด้วยสมการ (22) นั้นเอง ดังนั้นเมื่อทดสอบที่ระบบมวลท่อวัดเดียวกันจะต้องได้ค่าหรือรูปแบบค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นเดียวกันเพราะมาตรวัดมวลคอริออริสมีค่า Stiffness หรือ F.C.F (K) คงที่ประจำตัวใครตัวมันอยู่แล้ว ซึ่งแสดงตัวอย่างผลเปรียบเทียบการ Drift ของมาตรวัดมวลคอริออริสดังในรูปที่ 13 โดยแกน X เป็นค่าความถี่การสั่นและแกน Y เป็นระยะ Displacement Amplitude (A) และทำการเปรียบเทียบกราฟข้อมูลรูปแบบการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติเดิม (ดูรูปที่ 3) ซึ่งเก็บเป็นฐานข้อมูลฝังไว้ในตัวเครื่องเทียบกับกราฟข้อมูลรูปแบบการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติที่ทำการตรวจสอบ ณ ขณะนั้น

ซึ่งกราฟข้อมูลรูปแบบการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติที่ทำการตรวจสอบ ณ ขณะนั้นได้จากการ Fit Curve สมการการสั่นของระบบมวล ที่เค้าเล่าว่าได้จากระบบมวลที่มีการสั่นที่เรียกว่า “Simple One-Degree-of-Freedom Dynamic System” ดังรูปที่ 14 ซึ่งเป็นระบบมวลที่ใช้หลักการทำงานระบบการสั่นสะเทือนของมวลซึ่งผูกติดอยู่กับสปริง (a Vibrating Spring Mass System) เช่นดังในรูปที่

2 และเราใช้อธิบายการสั่นของระบบมวลท่อวัดที่ความถี่ธรรมชาติ เพียงแต่เพิ่มส่วนหน่วง (Damping Element); C และเปลี่ยนจากให้แรงกระทำ F(t) เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังในสมการ (1) คือแรงจากตัวขับท่อวัด ดังนั้นที่สภาวะสมดุลสมการการเคลื่อนที่ของระบบที่ถูกกระทำด้วยแรงจากตัวขับท่อวัดในรูปแบบเคลื่อน Sine Wave จะว่า

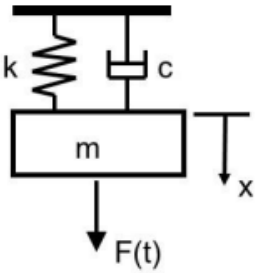
$$m\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = F\sin\omega t \qquad (22)$$



รูปที่ 13 เปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติในการสั่นของท่อวัดเปลี่ยนไปเมื่อทดสอบที่อัตราการไหลเดียวกัน

ทำการ Laplace Transform (อันนี้ต้องเรียนคณิตศาสตร์น่ะ) สมการ (22) ด้วยเทอมของส่วนหน่วง (Damping Element); C ให้หายไป เนื่องจากเราใช้ตัวขับท่อวัดให้สั่นด้วยความถี่ธรรมชาติคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า

$$Ms^2X(s) + KX(s) = F(s) \qquad (23)$$



รูปที่ 14 Simple one-degree-of-freedom dynamic system

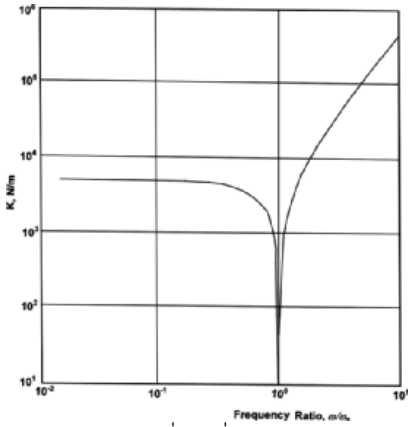
เมื่อ $K(s)$ คือ Dynamic Stiffness ของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง Amplitude สูงสุดของแรงขับท่อวัดในรูปแบบ Sine Wave ต่อ Amplitude สูงสุดของระยะการเคลื่อนที่ของจุดที่แรงดังกล่าวกระทำ ดังสมการ (24) นำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 15 โดยจุดต่ำสุดของกราฟเป็นค่าความถี่ธรรมชาติ

$$K(s) = \left.\frac{F(s)}{X(s)}\right|_{s=j\omega} = Ms^2 + K \tag{24}$$

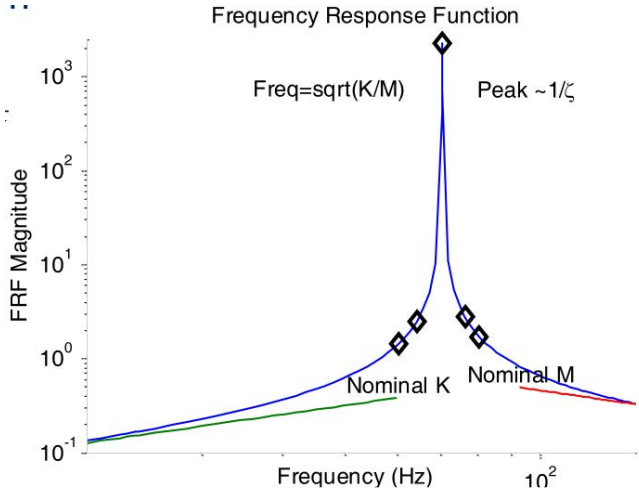
แต่การสั่นของท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสไม่ได้สั่นในเชิงเส้น $x(t)$ แต่สั่นในเชิงมุมอีกทั้งผู้ผลิตมีการปรับใช้สมการดังกล่าวแล้วเรียกใหม่ว่า “FRF” หรือ Frequency Response Function เป็นส่วนกลับของสมการ (24) คืออัตราส่วนระหว่าง Amplitude สูงสุดของระยะการเคลื่อนที่ของจุดที่แรงดังกล่าวกระทำต่อ Amplitude สูงสุดของแรงขับท่อวัดในรูปแบบ Sine Wave โดยยังคงพิจารณาส่วนหน่วง (Damping Element); C มาคำนึงด้วย จะได้ว่า (ไม่ต้องตกใจน่ะ เขียนไปลอกเค้าไป เพื่อความมันน่ะ)

$$FRF = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} = \frac{1}{-M\omega^2 + jC\omega + K} \tag{25}$$

จากกราฟในรูปที่ 14 เปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 15 เพื่อความสะดวกในการใช้งาน



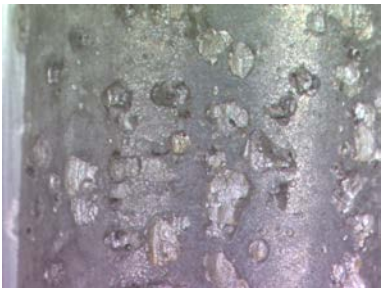
รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ความถี่การสั่นกับ Dynamic Stiffness สมการ (24) ตรงตำแหน่งสุดของกราฟคือค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นระบบมวล



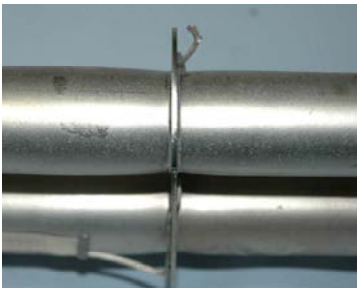
รูปที่ 16 การ Fit Curve ของ Frequency Response Function

สาเหตุที่ทำให้ F.C.F เปลี่ยนไปนั้นอาจมีหลายสาเหตุตามที่กล่าวมาแล้วด้วยกัน เช่น การสึกหรอเชิงกล (Erosion) การสึกหรอในเชิงเคมี (Corrosion) การ

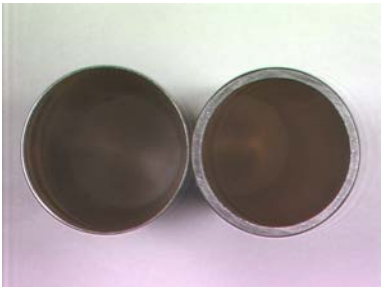
เสียรูปร่างทางมิติขนาดหรือท่อวัดสูญเสียความเป็น Stiffness เช่น ท่อวัดยืดตัว (Elongation) ท่อวัดสูญเสียรูปร่าง (Deformation of Tube) เพราะเนื่องจากความหนาของท่อวัดซึ่งโดยปกติแล้วจะมีความหนาท่อบางกว่าความหนาท่อปกติบนพื้นฐานการออกแบบความดันและอุณหภูมิเดียวกัน ตัวอย่างดังในรูปที่ 17



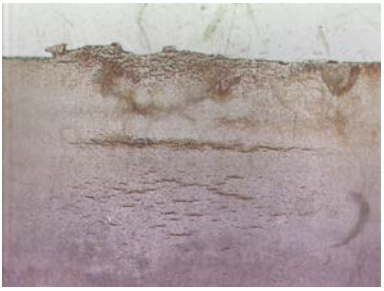
Pitting Corrosion



Over Pressure



ความหนาของท่อบางกว่าท่อปกติ



Stress Corrosion (Erosion)

รูปที่ 17 มิติและการสูญเสีย Stiffness ของท่อวัด

การหาค่าความหนาแน่นของเหลวภายในท่อวัด (Density Measurement System)

เพราะการวัดอัตราการไหลของมวลไม่ได้รับผลกระทบจากความถี่ของการสั่นของท่อวัด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำให้ท่อวัดสั่นที่ความถี่ธรรมชาติของท่อวัดแต่การที่ให้ท่อวัดมีการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติของท่อวัดมีข้อดี 2 ประการด้วยกัน

ประการแรก เมื่อท่อวัดสั่นที่ความถี่ธรรมชาติจะทำให้ประหยัดพลังงานที่ตัวขับท่อวัดใช้ในการทำให้ท่อวัดสั่นด้วยความถี่คงที่

ประการที่สอง เนื่องจากความถี่ธรรมชาติของท่อวัดขึ้นอยู่กับมวลของวัสดุซึ่งบรรจุอยู่ภายในท่อวัด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำการวัดความหนาแน่นของของเหลวที่ต้องการวัดอัตราการไหลมวลขณะนั้นควบคู่กันไปด้วยตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ตัวเดียวกันกับที่ใช้ในการหาค่าอัตราการไหลมวล

เมื่อเราใช้หลักการพื้นฐานของระบบมวลและสปริงเป็นตัวเทียบเคียงกับการทำงานของท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส ดังนั้นเมื่อให้มวลของระบบท่อวัดซึ่งประกอบด้วยมวลของท่อวัดรวมกับมวลของเหลวซึ่งอยู่ภายในท่อวัดขณะที่ถูกกระตุ้นให้สั่น มีค่าเท่ากับ

$$m = m_{tube} + m_{liquid} \tag{26}$$

แต่มวลของเหลวมีค่าเท่ากับความหนาแน่นคูณด้วยปริมาตรภายในท่อวัด, V

$$m_{liquid} = \rho V \tag{27}$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (2)

$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{k}{m_{tube} + m_{liquid}}} \\ &= \sqrt{\frac{k}{m_{tube} + \rho V}} \end{aligned} \tag{28}$$

แต่ k ในที่นี้ก็คือ Stiffness ของ Flow Tube (K) (เอาเนื้อหาและรูปมาจากหลายเล่ม เลยมึนๆอยู่เหมือนกัน) และจากความสัมพันธ์ระหว่างคาบและความถี่

$$T = \frac{1}{f} \tag{29}$$

และ

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{30}$$

เพราะฉะนั้นค่าความหนาแน่นของเหลวจึงมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{\frac{KT^2}{(2\pi)^2} - m_{tube}}{V} \quad (31)$$

หรือ

$$\rho = \frac{K}{4\pi^2 V f^2} - \frac{m_{tube}}{V} \quad (32)$$

แต่เนื่องจากตัวขับท่อวัด (Drive Coil) จะทำหน้าที่บังคับให้ท่อวัดสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติคงที่ตลอดเวลาด้วยระบบควบคุมอิเลคทรอนิคส์ (Feedback Control) ดังนั้นค่า ω จะมีค่าคงที่ส่งผลให้คาบของการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ; T คงที่ จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของท่อวัดเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของสปริง; K ของท่อวัดเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกันปริมาตรภายในท่อวัดและมวลของท่อวัดมีค่าคงที่ดังนั้นเราก็จะสามารถหาค่าความหนาแน่นของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดมวลขณะทำการวัดอัตราการไหลของมวลได้จากสมการ (32) และสังเกตได้ว่าความหนาแน่นของเหลวเป็นสัดส่วนผกผันกับความถี่ของการสั่นของท่อวัดยกกำลังสอง

แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติ การจับเวลาเพื่อหาคาบการสั่นของท่อวัดจะกระทำได้ง่ายกว่าการหาความถี่ของการสั่นของท่อวัด ดังนั้นการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริสจึงใช้การจับเวลาของคาบการสั่นของท่อวัดซึ่งมีค่าเล็กมากเป็นไมโครวินาที (Microsecond) แล้วค่อยคำนวณกลับไปเป็นค่าความถี่ของการสั่นของท่อวัดต่อไป

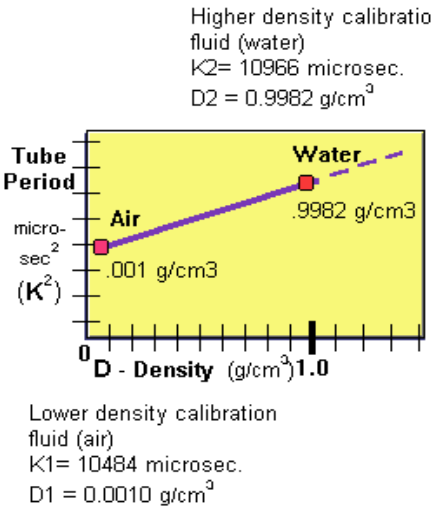
สำหรับบริษัทผู้ผลิตบางรายได้ทำการสอบเทียบความหนาแน่น (Density Calibration) จากการทำงานของตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ภายในห้องปฏิบัติการเอง โดยตรวจจับเวลาคาบการสั่นของท่อวัดซึ่งภายในบรรจุด้วยอากาศหรืออาจจะเป็นของเหลวที่รู้ค่าความหนาแน่นแน่นอนที่มีค่าน้อยๆ (Certified Reference Material; CRM) เทียบกับคาบการสั่นของท่อวัดเมื่อบรรจุน้ำบริสุทธิ์ (ซึ่งมีค่าความหนาสูงกว่า) อยู่ภายในท่อวัดให้มีคาบของการสั่น T_1 และ T_2 ตามลำดับ และให้ความหนาแน่นของอากาศและน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ D_1 หรือ D_2 ตามลำดับ ใน

การสอบเทียบความหนาแน่นของมาตรวัดมวลคอริออริสสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น (g/cc) กับคาบการสั่นของท่อวัด (Microsecond) จากสมการที่ (33) ได้เป็นเส้นตรงดังในรูปที่ 18 ดังนั้นเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น (g/cc) กับคาบการสั่นของท่อวัด (Microsecond) มีความชัดเจนเช่นนี้แล้วทันทีที่ทราบค่าคาบการสั่นของท่อวัดใดๆ ได้แล้วเราก็สามารถหาค่าความหนาแน่นของเหลวภายในท่อวัดได้จากเส้นกราฟระหว่าง 2 จุดที่ทราบค่าแล้ว แต่ต้องระมัดระวังด้วยว่าการสอบเทียบความหนาแน่นควรเลือกของเหลวตัวอย่างทั้ง 2 ให้มีช่วงความหนาแน่นครอบคลุมความหนาแน่นที่ต้องการวัดด้วย

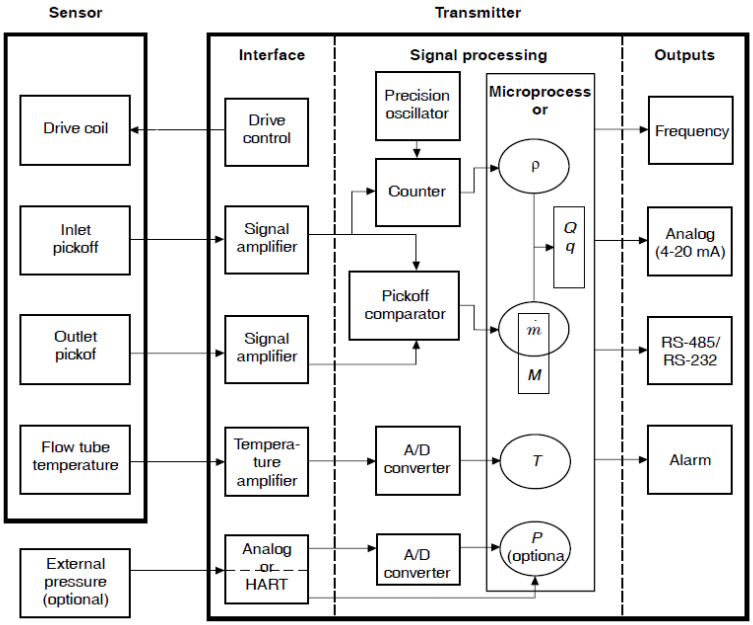
ในส่วนอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณ (Electric Transmitter หรือ ***Remote Flow Transmitter; RFT***) จะถูกใช้ให้ทำงานร่วมระหว่างตัวตรวจจับการเคลื่อนที่และถูกโปรแกรมกำหนดให้คำนวณการสอบเทียบหาความหนาแน่น D_1 และ D_2 รวมทั้งหาคาบการสั่น T_1 และ T_2 เมื่อใช้มาตรวัดมวลคอริออริสทำงาน อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณจะประมวลผลการตรวจจับคาบการสั่นของท่อวัดและทำการคำนวณความหนาแน่นจริงๆของเหลวที่ต้องการวัดด้วยสมการ

$$D_{process} = (D_2 - D_1)\frac{(T_{process}{}^2 - T_1{}^2)}{(T_2{}^2 - T_1{}^2)} + D_1 \qquad (33)$$

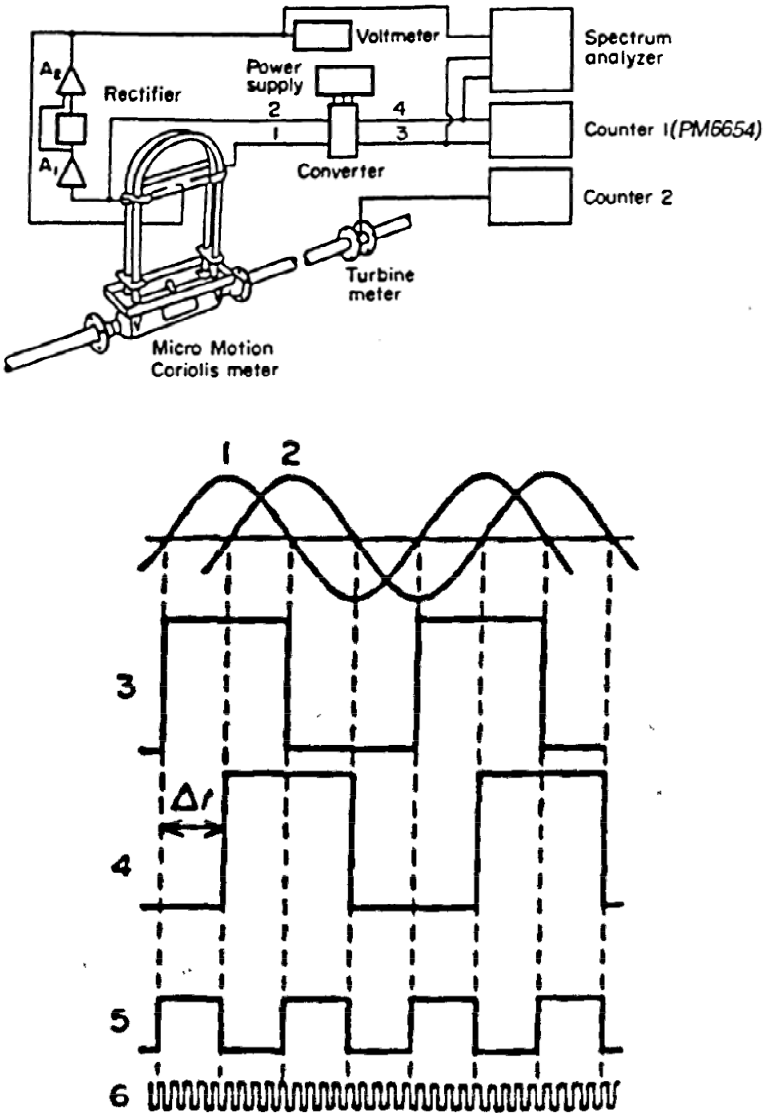
ยกตัวอย่าง มาตรวัดมวลคอริออริสทดสอบด้วยน้ำมีค่าความหนาแน่น 0.9982 g/cc ท่อวัดสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ 91.19 Hz หรือคาบการสั่น 13,158 Microsecond (T= 1/f = 1/91.19 = 13,158 Microsecond) และทดสอบด้วยอากาศมีค่าความหนาแน่น 0.001 g/cc ท่อวัดสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ 95.38 Hz หรือคาบการสั่น 10,484 Microsecond (T= 1/f = 1/91.19 = 10,484 Microsecond) ดังนั้นเมื่อทำการวัดของเหลวและท่อวัดสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ 94 Hz หรือคาบการสั่น 10,638 Microsecond ก็จะทราบค่าความหนาแน่นได้จากกราฟในรูปที่ 18 หรืออาจได้จากการแก้สมการด้วยสมการ (33) ก็จะได้ความหนาแน่นของเหลวจริง (Actual Density of the Process Fluid)



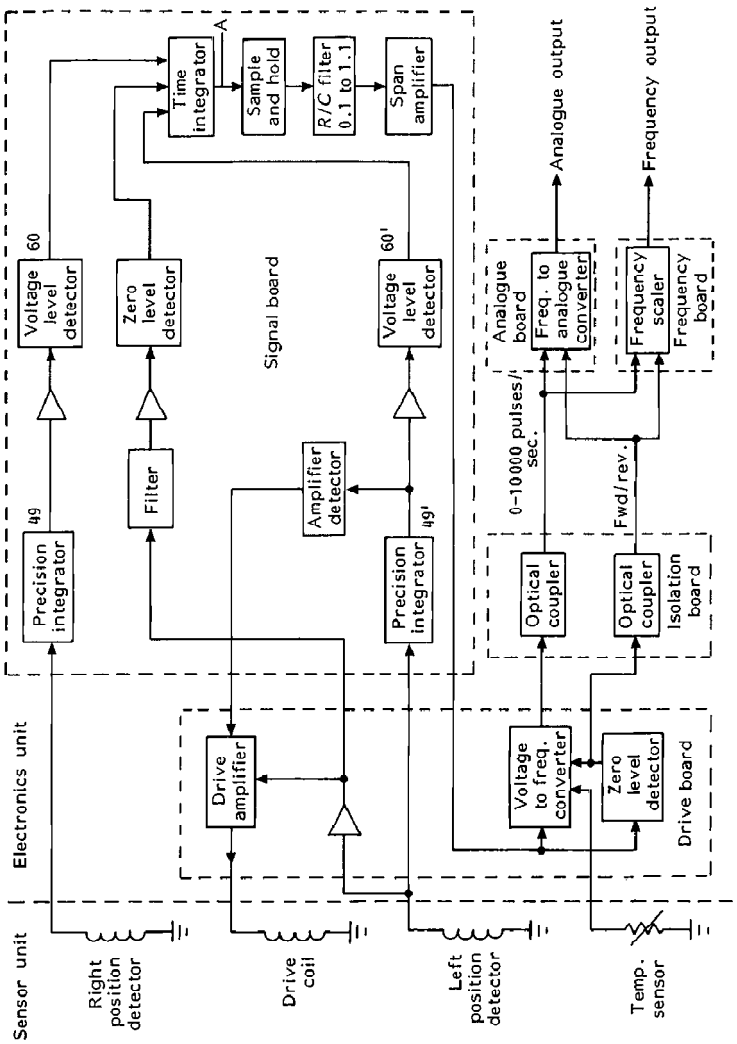
รูปที่ 18 การหาค่าความหนาแน่นของมาตรวัดมวลคอริออริส



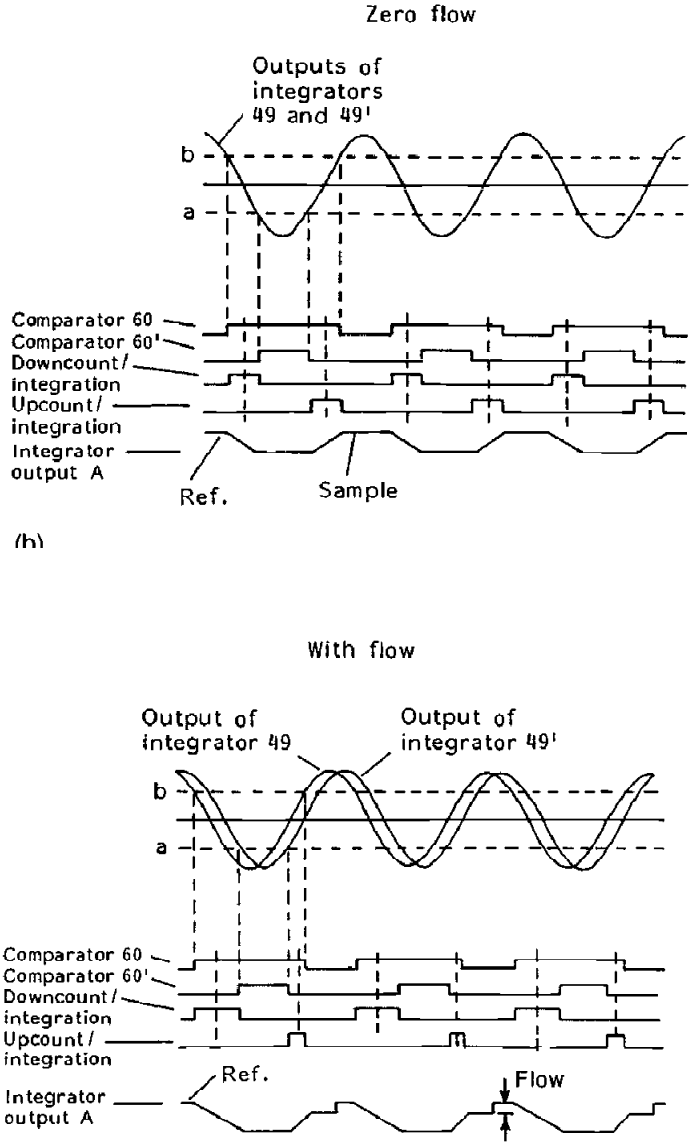
รูปที่ 19 ไดอะแกรมประมวลผลสัญญาณมาตรวัดมวลคอริออริส



รูปที่ 20 ไดอะแกรมการทำงานของส่วนอิเลคทรอนิคส์และส่วนประมวลผล โดยกราฟหมายเลข 5 และ หมายเลข 6 (สัญญาณนาฬิกามาตรฐาน) เป็นการทำงานภายในตัว Counter 1 (รูปบน)



รูปที่ 21-1 Micro Motion Signal Processing System



รูปที่ 21-2 Micro Motion Signal Processing System (บน) ณ สภาวะไม่มีการไหล, (ล่าง) ณ สภาวะที่มีการไหลผ่านท่อวัด

การทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริส (ดูรูปที่ 19, รูปที่ 20 และ รูปที่ 21) หลังจากส่วนตรวจวัด (Sensor Unit) ได้วัดอัตราการไหลมวล ผลการวัดในรูปสัญญาณทางอิเลคทรอนิคส์จะถูกส่งจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ (Pickoff Coils) ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนที่บริเวณปลายท่อวัดทั้ง 2 ตัวไปยังตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) ของตัวมาตรวัดเพื่อประมวลผลสัญญาณ จากนั้นตัวถ่ายทอดสัญญาณจะส่งข้อมูลออกไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อปลายทางต่อไป เช่น ส่วนแสดงค่า (Display Device), Flow Computer เป็นต้น เพื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นอัตราการไหลมวล

สัญญาณด้านทางออกของมาตรวัดมวลคอริออริส

สัญญาณด้านทางออกส่วนใหญ่จะมี 2 รูปแบบคือ

- สัญญาณอนาล็อกซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่ากระแสไฟมาตรฐาน (2-40 mA output), ค่าความถี่ (Frequency Output) หรือค่า Discrete Output เป็นต้น
- สัญญาณดิจิตอล (Digital Communicatiob Protocols) เช่น Modbus/RS-485 เป็นต้น

ทั้งนี้ระดับหรือปริมาณของสัญญาณที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราการไหลมวลของมาตรวัด

ในกรณีที่จะกล่าวต่อไปนี้ เราให้สัญญาณด้านทางออกอยู่ในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกเป็นค่าความถี่ (Frequency Output) ซึ่งโดยปกติจะถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณพื้นฐานของการถ่ายทอดสัญญาณจากตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitters) ไปยังส่วนประมวลผลและส่วนแสดงค่าเพื่อบ่งบอกอัตราการไหลของมาตรวัดมวลคอริออริส ถือหลักการที่ว่า **“ความถี่ด้านทางออกสูงสุดของตัวถ่ายทอดสัญญาณเป็นตัวแทนของอัตราการไหลมวลสูงสุดของมาตรวัด”** แต่หากมีความจำเป็นในทางด้านวิศวกรรมสามารถเปลี่ยนแปลงปรับลดเพิ่มค่าความถี่

ที่เหมาะสมหรือที่ต้องการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางได้แต่ก็ต้องคำนึงถึงความถี่ที่ผลิตได้ของอุปกรณ์ต้นทางคือตัวตัวถ่ายทอดสัญญาณด้วยเช่นกัน



รูปที่ 22 มาตรวัดมวลคอริออริสและตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Micro Motion Model 2700)

ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์ปลายทางบางตัวรองรับความถี่ได้สูงถึง 20,000 Hz หรือบางตัวอาจรองรับความถี่ได้เพียง 2,000 Hz เป็นต้น แต่ทั้งนี้หากตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดสามารถผลิตได้ 10,000 Hz การส่งสัญญาณด้านทางออกของมาตรวัดด้วยตัวถ่ายทอดสัญญาณก็สามารถส่งออกไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่รับสัญญาณได้ 20,000 Hz แต่ตัวถ่ายทอดสัญญาณดังกล่าวจะไม่สามารถส่งสัญญาณ 10,000 Hz ไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่รองรับความถี่ 2,000 Hz เพราะอุปกรณ์ปลายทางรับสัญญาณที่สูงกว่า 2,000 Hz ไม่ได้ทำให้สัญญาณที่สูงกว่านั้นสูญหายไม่ถูกนำไปใช้ในการประมวลผล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปรับลดความถี่ด้านทางออกจากมาตรวัดด้วยตัวถ่ายทอดสัญญาณให้เป็นตัวแทนของอัตราการไหลมวลสูงสุดของมาตรวัดก็สามารถกระทำได้แต่ต้องมีค่าไม่เกินค่าความถี่ด้านทางออกสูงสุดของตัวถ่ายทอดสัญญาณ ภายใต้วิธีการที่เรียกว่า **“Frequency Output Scaling Method”** โดยผู้ผลิตมาตรวัดมวลคอริออริสเจ้าใหญ่

$$\text{FrequencyFactor} = \frac{\text{RateFactor}}{\text{T}} \times \text{N} \qquad (34)$$

เมื่อ

Frequency Factor = ค่าความถี่ที่ต้องการแสดงผลการวัดอัตราการไหลมวล ซึ่งเป็นความถี่ของอุปกรณ์ปลายทาง (Frequency Receiving Device) ค่าความถี่นี้ต้องอยู่ภายในช่วงขอบเขต Frequency Output ของตัวถ่ายทอดสัญญาณของตัวมาตรวัด เช่น 0 – 10,000 Hz (หน่วย Hz)

Rate Factor = อัตราการไหลมวลสูงสุดของมาตรวัดที่ต้องการให้รายงานผลในรูปของค่าความถี่ (หน่วย kg/min หรือ kg/hr.)

T = แฟคเตอร์ที่ใช้ในการแปลงหน่วยเวลาใดๆ ของอัตราการไหลมวลให้มีค่าเป็นวินาที เช่น อัตราการไหลมวลหน่วย kg/min จะได้ว่า T = 60 และหน่วย kg/hr. จะได้ว่า T = 3600; (หน่วย วินาที)

N = จำนวนพัลส์ต่อหน่วยการวัดมวลของอุปกรณ์ปลายทางที่เราทำการ Configuration หรือค่า K-Factor ของมาตรวัดนั้นเอง (หน่วย pulses/kg)

<u>ตัวอย่าง 1</u> มาตรวัดมวลคอริออริสมีอัตราการไหลสูงสุด 100 kg/min มีค่า K-Factor 500 pulses/kg ใช้ Micro Motion Transmitter 1700 จะได้ว่าสัญญาณความถี่ด้านทางออกจากมาตรวัดหรือความถี่ของอุปกรณ์ปลายทางที่ต่อจากมาตรวัดมีค่าความถี่

$$\text{FrequencyFactor} = \frac{\text{RateFactor}}{\text{T}} \times \text{N}$$
$$= \frac{\text{Q}_{\text{max}}}{60} \times \text{K} - \text{Factor}$$
$$= \frac{100}{60} \times 500 = 833.333\,\text{Hz}$$

หรือพูดอีกนัยหนึ่งโดยเทียบบัญญัติไตรยางศ์ว่า ที่ 1 Hz แทนค่าอัตราการไหลมวล เท่ากับ (100 kg/min X 1000 g/kg) / (833.33 Hz x 60 sec/min) = 2.00 g/sec ในขณะที่ K-Factor 500 pulses/kg นั้นหมายถึง 2 g/pulse (เท่ากันน่ะ) ซึ่งค่าดังกล่าวทั้ง 2 นี้ควรนำไปพิจารณาในการเลือกใช้เครื่องชั่งว่าควรมีค่าขั้นหมายตรวจรับรอง (e) เท่าไหร เพื่อให้สามารถแยกแยะปริมาณน้ำหนักต่อจำนวนพัลส์ของสัญญาณหรือต่อความถี่ที่นำมาประมวลผลและพิกัดกำลังเครื่องชั่งในการสอบเทียบมาตรวัดด้วยวิธีการ Gravimetric Method ต่อไป ANS

ค่า K-Factor ของมาตรวัดมวลคอริออริส

สำหรับในประเด็นการคำนวณหาค่า K-Factor ของมาตรวัดมวลคอริออริสพบว่า ค่า K-Factor จะไม่เหมือนกับมาตรวัดปริมาตรของเหลวโดยทั่วไป เช่น มาตรวัดเทอร์ไบน์ มาตรวัด PD เป็นต้น เนื่องจาก**ค่า K-Factor ของมาตรวัดมวลคอริออริสสามารถปรับค่าได้ตามความเหมาะสมของส่วนประมวลผลหรืออุปกรณ์ปลายทาง**ซึ่งรับสัญญาณต่อจากมาตรวัดมวลคอริออริส ดังนั้นสัญญาณบ่งบอกค่าอัตราการไหลที่ส่งออกจากมาตรวัดไปประมวลผลอยู่ในรูปของความถี่จึงมีข้อจำกัด คือ

1. ความถี่ที่มาตรวัดส่งออกไปต้องไม่เกินความถี่สูงสุดของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) ของตัวมาตรวัดเอง และ
2. ความถี่ที่มาตรวัดส่งออกไปต้องไม่เกินความถี่สูงสุดของอุปกรณ์ปลายทาง เช่น ส่วนประมวลผลซึ่งรับสัญญาณต่อจากมาตรวัดมวลคอริออริส

จากเงื่อนไขในกรณีแรกเราจึงทำการปรับใช้สมการ (34) เพื่อใช้หาค่า K-Factor สูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริส จะต้องมีค่าไม่เกิน

$$K-Factor_{Max.} = \frac{f_{TRM-Max.} \times 60}{Q_{max}} \quad (35)$$

เมื่อ

$K\text{-}Factor_{Max.}$ = ค่า K-Factor สูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริส (หน่วย pulses/kg)

$f_{TRM\text{-}Max.}$ = ความถี่สูงสุดของตัวถ่ายทอดสัญญาณของตัวมาตรวัด เช่น ในกรณีตัวถ่ายทอดสัญญาณ Transmitter 1000, 2000, และ 3000 series ของยี่ห้อ Micro Motion จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 10,000 Hz หรือ 10,000 pulses/sec

$Q_{max.}$ = อัตราการไหลสูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริส (หน่วย kg/min)

จากสมการ (35) เราสามารถนำมาปรับใช้เพื่อหาค่าความถี่ด้านทางออกจากตัวถ่ายทอดสัญญาณของตัวมาตรวัดได้ว่า

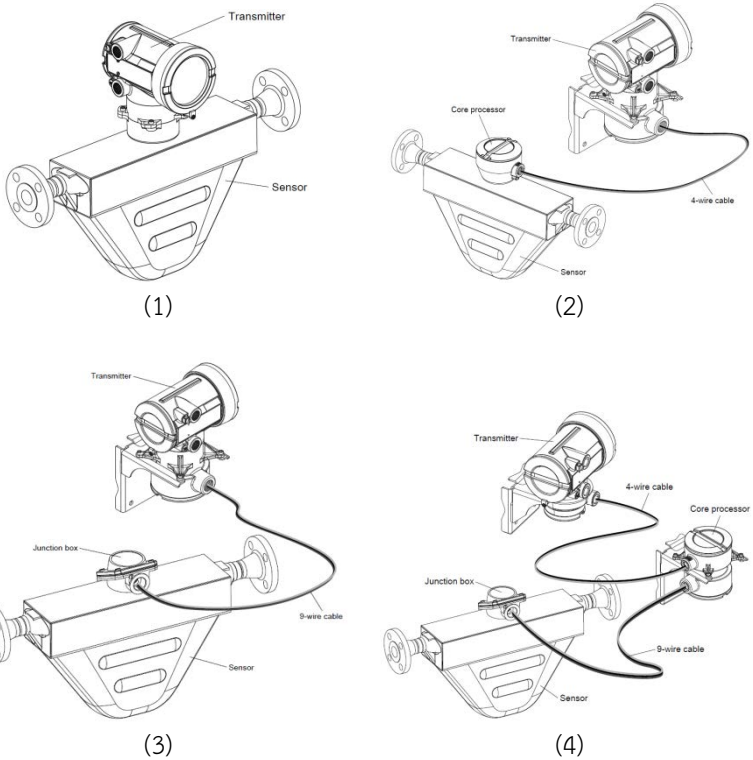
$$f_{TRM.} = \frac{Max.RateFactor}{60} \times K-Factor \quad (36)$$

<u>ตัวอย่าง 2</u> มาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S มีอัตราการไหลมวลสูงสุด 100 kg/min โดยใช้ Micro Motion Transmitter 1700 จะได้ว่าหากต้องการส่งสัญญาณด้านทางออกจากมาตรวัดด้วยความถี่สูงสุด 10,000 Hz เราสามารถปรับให้มาตรวัดมีค่า K-Factor สูงสุดไม่เกิน

$$K-Factor_{Max.} = \frac{f_{TRM-Max.} \times 60}{Q_{max}} = \frac{10{,}000 \times 60}{100} = 6{,}000 \ \ pulses/kg$$

<u>ANS</u>

นอกจากนี้เราสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ที่ส่งออกไปให้สอดคล้องกับความถี่ภาครับของอุปกรณ์ปลายทางโดยยังคงรักษา K-Factor ให้คงที่ได้โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า Rate Factor โดยไม่ต้องสอบเทียบมาตรวัดใหม่หรือที่เรียกว่า “**Frequency Output Scaling Method**” ในกรณีให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency กับ Mass Flowrate ซึ่งเป็นไปตามหลักการทฤษฎี เรามาดูกันตามตัวอย่างข้างล่าง



รูปที่ 23 รูปแบบการติดตั้งของมาตรวัดมวลคอริออริส (1) Integral installation (2) 4-wire remote installation (3) 9-wire remote installation type (4) Remote core processor with remote sensor installation type (Micro Motion)

<u>ตัวอย่าง 3</u> มาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S มีอัตราการไหลสูงสุด 100 kg/min ซึ่งประกอบด้วย Micro Motion Transmitter 1700 ซึ่งสามารถมี Frequency Factor ได้สูงสุดเท่ากับ 10,000 Hz ส่งผลให้เราสามารถกำหนดให้มีค่า K-Factor สูงสุดได้เท่ากับ 6,000 pulses/kg (ตามตัวอย่าง 2) ดังนั้นหากเราต้องการปรับค่า K-Factor จาก 6,000 pulses/kg เป็น 2,400 pulses/kg ซึ่งน้อยกว่า $\text{K-Factor}_{\text{Max}}$ (6,000 pulses/kg) ค่า Frequency Factor ที่เราควรป้อนเข้าตัวถ่ายทอดสัญญาณจึงควรมีค่า

$$f_{TRM} = \frac{100\ \text{kg/min}}{60\ \text{s/min}} \times 2{,}400\ \text{pulses/kg} = 4{,}000\ \text{Hz}$$

แต่หากพบว่าอัตราการไหลมวลสูงสุดในทางปฏิบัติมีค่าเท่ากับ 60 kg/min และต้องการปรับเปลี่ยน Rate Factor (Q_{max}) จาก 100 kg/min เป็น 60 kg/min โดยยังคงต้องการรักษาค่า K-Factor ให้คงที่เท่ากับ 2,400 pulses/kg โดยไม่ต้องสอบเทียบมาตรวัดใหม่หรือที่เรียกว่า “Frequency Output Scaling Method” เราสามารถคำนวณหา Frequency Factor ได้มีค่าเท่ากับ

$$f_{TRM} = \frac{60\,\text{kg/min}}{60\,\text{s/min}} \times 2{,}400\,\text{pulses/kg} = 2{,}400\,\text{Hz}$$

ดังนั้นในการปรับหรือ configuration ค่าตัวแปรที่เก็บไว้ในตัวถ่ายทอดสัญญาณใหม่คือป้อนค่าให้ Frequency Factor = 2,400 Hz และ Rate Factor = 60 kg/min และยังคงรักษาค่า K-Factor ให้คงที่เท่ากับ 2,400 pulses/kg

แต่หากยังพบว่าอัตราการไหลมวลสูงสุดที่สามารถทดสอบได้ภายใต้ขนาดท่อ ∅ ½ นิ้วมีแค่เพียง 40 kg/min และมีความต้องการปรับเปลี่ยน Rate Factor (Q_{max}) จาก 100 kg/min เป็น 40 kg/min โดยยังคงต้องการรักษาค่า K-Factor ให้คงที่เท่ากับ 2,400 pulses/kg โดยไม่ต้องสอบเทียบมาตรวัดใหม่หรือที่เรียกว่า “Frequency Output Scaling Method” เราสามารถคำนวณหา Frequency Factor มีค่าเท่ากับ

$$f_{TRM} = \frac{40\ \text{kg/min}}{60\ \text{s/min}} \times 2{,}400\ \text{pulses/kg} = 1{,}600\ \text{Hz}$$

ดังนั้นในการปรับหรือ configuration ค่าตัวแปรที่เก็บไว้ในตัวถ่ายทอดสัญญาณใหม่คือป้อนค่าให้ Frequency Factor = 1,600 Hz และ Rate Factor = 40 kg/min และยังคงรักษาค่า K-Factor ให้คงที่เท่ากับ 2,400 pulses/kg

นี้เป็นค่าที่คำนวณได้ในทางทฤษฎี แต่ต้องได้รับการพิสูจน์ในทางปฏิบัติจริงกันอีกครั้ง ANS

เมื่อปูความรู้แล้วต่อไปก็เข้าสู่ปัญหา “เส้นทาง...ปัญหาและอุปสรรค” โดยแต่ประเด็นและเก็บเป็นบันทึกการเดินทางแยกออกเป็นประเด็นๆ ดังนี้

ก. ประเด็นการพิจารณา : การ Configuration ตัวแปรของมาตรวัดมวลแบบมาตรา รุ่น CNG 050 ขณะสอบเทียบ

ปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อดำเนินการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter) ขนาด ∅ 1/2 นิ้ว จำนวน 6 ชุด (6680-014-001-51, 6680-014-002-51, 6680-014-003-51, 6680-014-004-51, 6680-014-005-51 และ 6670-005-001-51) เพื่อใช้เป็นมาตรวัดแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดก๊าซ CNG ตามสถานีบริการด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method) บนพื้นฐานมาตรฐาน ISO 4185: 1980 Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits – Weighing Method นั้นมีการ Configuration ตัวแปรของมาตรวัดแบบมาตราในตัวถ่ายทอดสัญญาณ (transmitter) Model 1700 Micro Motion แบ่ง 2 กลุ่มดังนี้

Case	Frequency Factor (Hz)	Rate Factor (kg/min)	K-Factor (Pulses/kg)	จำนวน (เครื่อง)
ก.	1,000	38.6	1,554.4	1
ข.	1,000	1,000	60.0	5

ดังนั้นหากถามว่าการ Configuration มาตรวัดผิดหรือเปล่า ? เรามาพิจารณาไปพร้อมกัน

<u>กรณี (ก.)</u> Configuration ค่าตัวแปรที่เก็บไว้ในตัวถ่ายทอดสัญญาณใหม่ (ดูรูปที่ 24) คือป้อนค่าให้ Frequency Factor = 1,000 Hz และ Rate Factor = 38.6 kg/min ส่งผลให้ได้ K-Factor มีค่าเท่ากับ

$$\text{K} - \text{Factor} = \frac{1{,}000 \times 60}{38.6} = 1{,}554.40 \ \text{pulses/kg}$$

ดังนั้นที่ K-Factor =1,554.40 pulses/kg จะมีอัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกมีค่าเท่ากับ 0.643 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 0.643 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz โดยเทียบบัญญัติไตรยางศ์ว่า ที่ 1 Hz แทนค่าอัตราการไหลมวลเท่ากับ (38.6 kg/min X 1,000 g/kg) / (1,000 Hz x 60 sec/min) = <u>0.643 (g/sec)/Hz</u> ในขณะที่ K-Factor 1,554.40 pulses/kg นั้นหมายถึง <u>0.643 g/pulse</u>

พิจารณาแตกออกเป็น 3 ประเด็นคือ

1. การกำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 38.6 kg/min เทียบกับความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) 1,000 Hz ดังนั้นหากทำการเพิ่มอัตราการไหลมวลให้เป็นสัดส่วนจนถึงอัตราการไหลมวลสูงสุด (100 kg/min) เทียบกับความถี่สูงสุดของตัวถ่ายทอดสัญญาณด้วยวิธีการที่เรียกว่า Scaling Method จะได้ความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณเท่ากับ 100 x 1,000 / 38.6 = 2,590.67 Hz ยังคงมีค่าต่ำกว่าความถี่สูงสุด 10,000 Hz ของตัวถ่ายทอดสัญญาณ Model 1700 Micro Motion ของมาตรวัด Model CNG050S ดังนั้นการกำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 38.6 kg/min ยังคงถูกต้องตามวิธีการค่า K-Factor

2. ค่า K-Factor ที่คำนวณได้เท่ากับ 1,554.40 pulses/kg มีต่ำกว่า $\text{K-Factor}_{\text{Max}}$ ดังในสมการ (35) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,000 pulses/kg (ดูในตัวอย่าง 2) ดังนั้นยอมรับได้

3. อัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกมีค่าเท่ากับ 0.643 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 0.643 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ0.643 g ต่อพัลส์ ซึ่งให้ค่าที่ละเอียดมาก จนต้องคำนึงถึงเครื่องชั่งที่ใช้เป็นแบบมาตราในการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

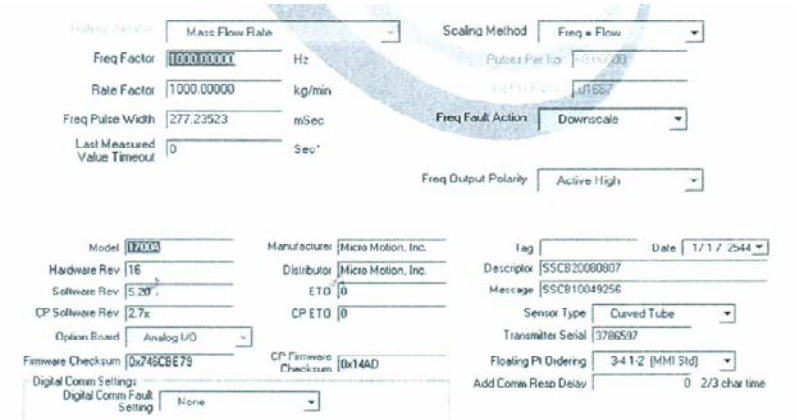


รูปที่ 24 มาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S Frequency Factor = 1000 & Rate Factor = 38.6

<u>กรณีที่ (ข.)</u> Configuration ค่าตัวแปรที่เก็บไว้ในตัวถ่ายทอดสัญญาณใหม่ (ดูรูปที่ 25) คือป้อนค่าให้ Frequency Factor = 1,000 Hz และ Rate Factor = 1,000 kg/min ส่งผลให้ได้ K-Factor มีค่าเท่ากับ

$$\text{K} - \text{Factor} = \frac{1{,}000 \times 60}{1{,}000} = 60 \ \ \text{pulses/kg}$$

ดังนั้นที่ K-Factor = 60 pulses/kg จะมีอัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกมีค่าเท่ากับ 16.666 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 16.666 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz โดยเทียบบัญญัติไตรยางศ์ว่า ที่ 1 Hz แทนค่าอัตราการไหลมวลเท่ากับ (1,000 kg/minx 1,000 g/kg)/(1,000 Hz x 60 sec/min) = 16.666 (g/sec)/Hz หรือ 16.666 g ต่อพัลส์



รูปที่ 25 มาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S Frequency Factor = 1000 & Rate Factor = 1000

K-Factor = 60 pulses/kg ยอมรับว่าไม่ผิดหากมองในมุมมองทางคณิตศาสตร์ เพราะค่าสัดส่วน Frequency Factor / Rate Factor มีค่าคงที่ คือเท่ากับ 1,000/1,000 = 100/100 = 1 แต่ความหมายจริงๆ แล้วคือการกำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 100 kg/min เทียบกับความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณ 100 Hz แต่ในแง่ของการ Configuration ในระบบมาตรวัดเช่นนี้ถือว่าผิดอย่างร้ายแรงเพราะจะไปเกี่ยวข้องในการ Configuration ที่ต่อเนื่อง เช่น Upper Rang Valve (kg/min) อีกทั้งจะเห็นได้ว่าการกำหนดให้ K-Factor = 60 pulses/kg ถือว่าน้อยเกินไป เพราะความถี่ 1 Hz มีค่าเทียบเท่ากับ 16.666 g หรือ 16.666 (g/sec)/Hz หรือ 16.666 g ต่อพัลส์ซึ่งถือว่าเป็นผลการวัดมวลของมาตรวัดมวลคอริออริสที่วัดได้มีค่าที่หยาบมาก

แต่เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้ง 2 กรณีพร้อมกัน เราจะพบว่าการกำหนดค่า K-Factor ของมาตรวัดแบบมาตราทั้ง 2 กรณี**ไม่ได้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกันทั้งๆ ที่เป็นมาตรวัดรุ่น (Model) เดียวกันและใช้งานเหมือนกัน** แต่ผลการวัดมวลของมาตรวัดได้ค่า 16.666 (g/sec)/Hz กับ 0.643 (g/sec)/Hz นี้แหละจึงเป็นปัญหา เพราะเมื่อนำไปใช้งานเป็นแบบมาตราเครื่องใดถูกหรือเครื่องใดผิด อีกทั้งเราใช้

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นแบบมาตราที่มีค่าความแม่นยำถูกต้องละเอียดเพียงพอต่อการสอบเทียบหรือไม่เพียงใด จึงต้องคำนึงผลกระทบที่ตามมาอย่างไร

ข. วิเคราะห์ปัญหาการ Configuration ตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดมวลคอริออริส รุ่น CNG 050 และผลการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักได้ว่า

1. ตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) Model 1000, 2000, และ 3000 series ของยี่ห้อ Micro Motion จะมีค่าความถี่ถ่ายทอดสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 10,000 Hz หรือ 10,000 pulses/sec ดังนั้นการ configuration ให้ Frequency Factor = 1,000 จึงไม่ผิดแต่ทำไมต้องเลือก 1,000 Hz ดังนั้นเสมือนเรามีเครื่องชั่งมีจำนวนขีดขั้นหมายมาตรา n = 10,000 ตามที่ผู้ผลิตออกแบบเพื่อใช้งานแล้วทำไมจึงปรับลดลงเหลือเพียง n = 1,000 ทำให้เครื่องชั่งหยาบขึ้นไปอีกถึงแม้อาจได้ผลในเชิงความเสถียรการอ่านค่าผลการชั่งก็ตามแต่ต้องพิจารณาว่าได้ไม่คุ้มเสีย?

2. อัตราการไหลสูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริสที่ใช้เป็นแบบมาตรา Model CNG050S239NCAZEZZX ซึ่งมีอัตราการไหลมวลของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) สูงสุด 100 kg/min ไม่ใช่ 1,000 kg/min และไม่ใช่ 38.6 kg/min (แต่เป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ผู้ผลิตทดสอบด้วยตัวกลางของไหลที่เป็นน้ำ) ดังนั้นการ configuration ให้ Rate Factor = 38.6 หรือ 100 ถึงจะไม่ผิดเมื่อเราแทนค่าลงในสมการ (20) แล้วให้ค่าไม่เกิน $\text{K-Factor}_{\text{Max}}$ แต่ทำไมถึงเลือกค่าแตกต่างกันทั้งๆ เป็นเครื่องรุ่นเดียวกัน แต่ Rate Factor = 1,000 นี้ดูแล้วไม่สวย

3. ค่า K-Factor เท่ากับ 1,554.40 pulses/kg จะมีอัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกมีค่าเท่ากับ 0.643 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 0.643 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ 0.643 g ต่อพัลส์ และในกรณีที่มีค่า K-Factor เท่ากับ 60 pulses/kg จะมี อัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกมีค่าเท่ากับ 16.666 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 16.666 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ 16.666 g ต่อพัลส์ในขณะที่บริษัทฯ มีเครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg, e= 1 g, n = 60,000 ใช้ในการสอบเทียบที่อัตราการไหลต่ำและเครื่องชั่ง 500 kg, e= 50 g, n = 10,000

ใช้ในการสอบเทียบที่อัตราการไหลสูง ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดสุดสามารถแยกแยะผลผิดได้ละเอียดเพียง 1 g ในกรณีนี้จึงใช้ได้เฉพาะเมื่อ K-Factor เท่ากับ 60 pulses/kg เท่านั้น คือที่ 16.666 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ 16.666 g ต่อพัลส์ และไม่สามารถบ่งบอกผลผิดได้เมื่อ K-Factor เท่ากับ 1,554.40 pulses/kg นั้นคือที่ 0.643 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ 0.643 g ต่อพัลส์ สรุปได้ตามตารางด้านล่าง

	ความสามารถแยกแยะผลผิดโดยเครื่องชั่ง	
	60 kg, e= 1 g	500 kg, e= 50 g
K-Factor = 1554.40 pulses/kg	×	×
K-Factor = 60.0 pulses/kg	√	×

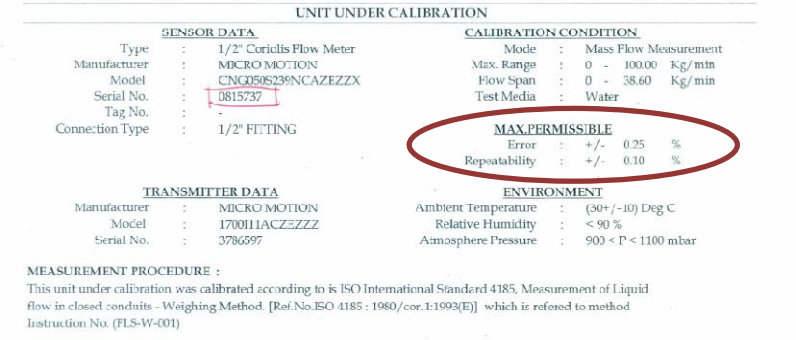
ตารางที่ 1 Configuration ตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดมวลคอริออริส ด้วยค่า K-Factor ที่แตกต่างกัน

4. การกำหนด Maximum Permissible Error (MPE) ให้มีค่าเท่ากับ ±0.25% และ Repeatability มีค่าเท่ากับ ±0.1% (ดูรูปที่ 26) ดูเหมือนจะดีเพราะ MPE ของตู้จ่าย CNG ตามสถานีบริการเรากำหนดให้มีค่าเท่ากับ ± 2.0% (ณ พ.ศ. 2560) แต่จากข้อมูลผู้ผลิตมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S กำหนดให้ MPE ±0.5% และ Repeatability ±0.25% ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าต้องทดสอบด้วย **CNG** (ดังรูปที่ 27) แต่ในทางปฏิบัติเป็นการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราของชั่งตวงวัดโดยใช้**น้ำ**เป็นตัวกลางสอบเทียบแทนก๊าซ CNG ดังนั้นค่า MPE และ Repeatability จึงควรน้อยลงประมาณ 5 เท่าโดยเทียบเคียงข้อมูลของผู้ผลิตมาตรวัดมวลคอริสออริส Micro Motion ที่ผลิตให้มาตรวัดสามารถวัดได้ทั้ง Gas และ Liquid ดังในรูปที่ 28 แต่หากไม่เป็นเช่นนั้นต้องให้ผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายผู้ผลิตพิจารณาให้ข้อมูลเพิ่มเติม

ดังนั้นชั่งตวงวัดจึงควรกำหนดให้มาตรวัดมวลคอริออริสที่ใช้เป็นแบบมาตรา Model CNG050S239NCAZEZZX มี Maximum Permissible Error

(MPE) ±0.1% และ Repeatability ±0.05% สำหรับการสอบเทียบในลักษณะ Stand Alone และที่อัตราการไหลมวลตั้งแต่ช่วงประมาณ ≤ 1/5 Q_{max} ถึง Q_{max} ของมาตรวัดต่อไป (ดูตารางที่ 2)

แต่การกำหนด MPE ของผู้ผลิตมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S ดังรูปที่ 27 เป็นการกำหนดในรูปแบบของ “Batch Accuracy” ประเด็นนี้ได้ทราบและเข้าใจภายหลัง 2 ปีต่อมาจากผู้ผลิตว่า มันเป็น “Batch Accuracy” จริงๆ นั้นคือจบรอบการจ่ายต่อครั้งจริงๆ ไม่ใช่ MPE ที่อัตราการไหลมวลที่ค่าคงที่นั้นๆ อันนี้จะมีผลต่อมาในการกำหนด MPE ของเราต่อไป ติดตามตอนต่อไป..เด้อ



UNIT UNDER CALIBRATION

SENSOR DATA

Type	:	1/2" Coriolis Flow Meter
Manufacturer	:	MICRO MOTION
Model	:	CNG050S239NCAZEZZX
Serial No.	:	0815737
Tag No.	:	-
Connection Type	:	1/2" FITTING

CALIBRATION CONDITION

Mode	:	Mass Flow Measurement
Max. Range	:	0 - 100.00 Kg/min
Flow Span	:	0 - 38.60 Kg/min
Test Media	:	Water

MAX.PERMISSIBLE

Error	:	+/- 0.25 %
Repeatability	:	+/- 0.10 %

TRANSMITTER DATA

Manufacturer	:	MICRO MOTION
Model	:	1700111ACZEZZZ
Serial No.	:	3786597

ENVIRONMENT

Ambient Temperature	:	(30+/-10) Deg C
Relative Humidity	:	< 90 %
Atmosphere Pressure	:	900 < P < 1100 mbar

MEASUREMENT PROCEDURE :

This unit under calibration was calibrated according to is ISO International Standard 4185, Measurement of Liquid flow in closed conduits - Weighing Method. [Ref.No.ISO 4185 : 1980/cor.1:1993(E)] which is refered to method Instruction No. (FLS-W-001)

รูปที่ 26 MPE และ Repeatability ของมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S โดยบริษัทฯ

Accuracy and repeatability

Specification	Value
Batch accuracy[1][2]	±0.50% of batch
Repeatability[1]	±0.25% of rate

(1) In terms of percent of total batch delivered on CNG.

(2) Accuracy is under typical CNG batch/dispensing conditions. Typical batch/dispensing conditions are defined as those where the flow rate is greater than 4 lbs/min (109 kg/hr).

รูปที่ 27 ข้อมูล Accuracy and repeatability ของ มาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S โดยผู้ผลิตฯ

Accuracy and repeatability on liquids and slurries

	Accuracy[1]		Mass/volume flow repeatability
	Mass flow	Volume flow	
ELITE	±0.05%[2]	±0.05%[2]	±0.025%
F-Series	±0.10%	±0.1%	±0.05%
H-Series	±0.10%	±0.1%	±0.05%
LF-Series	±0.50%	±0.50%	±0.05%
T-Series	±0.15%	±0.25%	±0.05%
R-Series	±0.40%	±0.4%	±0.20%

(1) Flow rate accuracies are base percentages. For total accuracy see the box on page 10. Stated accuracy includes the combined effects of repeatability, linearity, and hysteresis. Specifications for ELITE ±0.0002 g/cm³ (±0.2 kg/m³) density accuracy are based on reference conditions of water at 68 to 140 °F (20 to 60 °C) and 15 to 30 psig (1 to 2 bar). All other specifications are based on reference conditions of water at 68 to 77 °F (20 to 25 °C) and 15 to 30 psig (1 to 2 bar).
(2) Sensor accuracies may vary with calibration option selected. Consult the sensor Product Data Sheet for details.

Accuracy and repeatability on gases

	Accuracy[1]	Repeatability
ELITE	±0.25[2]/±0.35% of rate	±0.20% of rate
CNG-Series	±0.50% of rate	±0.25% of rate
F-Series	±0.50% of rate	±0.25% of rate
H-Series	±0.50% of rate	±0.25% of rate
LF-Series	±0.50% of rate	± 0.05% of rate[3]
T-Series	±0.50% of rate	±0.05% of rate
R-Series	±0.75% of rate	±0.5% of rate

(1) Flow accuracies are base percentages. For total accuracy see the box on page 10. Stated accuracy includes the combined effects of repeatability, linearity, and hysteresis.
(2) CMFS models only
(3) ±0.05% of rate or 1/2[(zero stability/flow rate) x 100]% of flow rate, whichever is greater.

รูปที่ 28 MPE และ Repeatability ของมาตรวัดมวลคอริออริสที่วัดได้ทั้ง Gas และ Liquid

5. พิจารณาค่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อขนาด ∅ ½ นิ้ว (Q = VA) ในทางวิศวกรรมนั้นปกติกำหนดการออกแบบระบบท่อให้ความเร็วของเหลว (น้ำ/ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม) ภายในท่อควรอยู่ระหว่าง 3-10 ft./s (0.9144 – 3.048 m/s) ดูตารางที่ 4 สำหรับข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส CNG050 นั้นเราไม่มีข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ใช้เป็นท่อวัด (Sensor Tube หรือ Flow Tube) แต่อนุมานในใจว่าบางกว่าท่อที่ออกแบบอยู่บนพื้นฐานอุณหภูมิและความดันเดียวกัน (ดูรูปที่ 17) ดังนั้นพิจารณาให้ท่อวัดมีความหนาระหว่างท่อ ∅ ½ นิ้ว Sch. 40, ID = 0.622 นิ้ว (15.76 มม.), ท่อ Sch. 80, ID = 0.546 นิ้ว (13.84 มม.), ท่อ Sch. 160, ID = 0.464 นิ้ว (11.74 มม.) และท่อ Sch. XXS, ID = 0.252 นิ้ว (6.36 มม.)

Model	Q_{max} [kg/h]	Q_t	Q_{min} [kg/h]	diameter in/outlet [mm]	maximum p_{max} [bar]		minimum actual density [kg/m³]
					A/M/L/S (y)	B/C/E/H/P/Y (y)	
CMF025 y)	19 x actual density [kg/m³]		3	6	103	190	4
CMF050 y)	60 x actual density [kg/m³]		15	12	103	185	5
CMF100 y)	175 x actual density [kg/m³]		60	25	100	170	6,9
CMF200 y)	425 x actual density [kg/m³]		200	50	108	190	9,5
CMF300 y)	1.175 x actual density [kg/m³]		500	80	119	185	8,6
CMF350 M/L/H/P	1.940 x actual density [kg/m³]		1236	90	102	155	12,7
CMF350 A/B/C/E	1.940 x actual density [kg/m³]	≤ 1/5 Q_{max}	2472	90	102	155	25,5
CMF400 y)	3.150 x actual density [kg/m³]		9.000	100	103	197*)	57,2
DS600 S	3.300 x actual density [kg/m³]		6.500	150	43	N/A	39,4
CNG050	4620		115	12	345		-
CMFHC2 y)	3.571 x actual density [kg/m³]		6.182	200	102	206	34,7
CMFHC3 y)	5.904 x actual density [kg/m³]		12.364	200	102	206	41,9
CMFHC4 y)	9.244 x actual density [kg/m³]		18.545	250	102	206	40,2

Remarks:
- *) with the exception to the value as indicated in the table the maximum pmax value of the CMF400P is 205 bar.
- y) Indicates the type of material the meter is build of.
- The Qmax is limited to a maximum speed of the flow in the sensor. The stated formula reflects the calculation of the value for Qmax based on the maximum speed, while using the actual density.
- If the meter is used in a specific density range, the minimum density is used to calculate the value for Qmax.
- Turn down ratio (Qmax to Qmin) □ 20:1.
- All sensors can be used bi-directional.

ตารางที่ 2 Flow Characteristics ของมาตรวัดมวลคอริออริส จากเอกสาร NMI

American Standard Association (ASA) ซึ่งก่อตั้งในปี 1918 ปัจจุบันคือ American National Standards Institute (ANSI) ได้นิยามความหนาของท่อในรูปของหมายเลข “Schedule No.” ซึ่งมีนิยามว่า

$$\text{Schedule No.} = \frac{1000 \times P}{S \times E} \qquad (37)$$

เมื่อ

P = Operating Pressure lb/in^2

S = Allowable Stress lb/in^2

E = The Quality Factor

แต่ผลลัพธ์จากสมการข้างบนก็ไม่ได้ตัวเลขจำนวนเต็มเสียทีเดียวแต่ก็ใกล้เคียงแล้วปัดให้เป็นจำนวนเลขจำนวนเต็มลงตัว คือ Sch. 20, 40, 60, และ 80 เป็นต้น

American Standard Association (ASA) ได้กำหนดแนวทางการเลือกความหนาท่อที่มีความสัมพันธ์กับความดันออกแบบภายในท่อดังในตารางที่ 3

American Standard Association (ASA) Pressure Class	Schedule No. of Pipe
≤ 250 lbs/sq.in.	40
300 - 600 lbs/sq.in.	80
900 lbs/sq.in.	120
1500 lbs/sq.in.	160
2500 (1/2 in. – 6 in.) lbs/sq.in.	XX (double extra strong)
2500 (8 in. and larger) lbs/sq.in.	160

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของความดันออกแบบภายในท่อกับความหนาท่อในค่าของ Schedule No.

แต่ ∅ ½ นิ้ว ท่อ Sch. 160 และท่อ Sch. XXS ออกแบบให้ทดแรงดันปลอดภัยที่ 2500 psig หรือ ประมาณ 170 Barg แต่ในขณะที่ CNG050 ออกแบบให้ทนแรงดันถึง 300 Barg ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อจึงน่าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.464 นิ้ว (11.74 มม.) ถึง 0.252 นิ้ว (6.36 มม.) จึงใช้ค่าเฉลี่ยที่ 0.358 นิ้ว (9.05 มม.) แต่จากข้อมูลที่ทราบมาภายหลังว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ใช้เป็นท่อวัดวัด (Sensor Tube) สำหรับมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG050 มีค่าเท่ากับ 0.346457 นิ้ว (8.8 มม.) เพราะถ้าหากผลิตให้ท่อวัดมีความหนาเท่ากับท่อ Sch. XXS อาจมีปัญหากับการทำให้ท่อวัดสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของท่อวัด แต่ถือว่าเป็นตัวเลขที่น่าแปลกใจ อีกทั้งผู้ผลิตกำหนดไว้ในเอกสารว่ารุ่นดังกล่าวสามารถทนแรงดันได้ถึง 300 Bar ดังนั้นจึงฝากไว้ที่ชนิดวัสดุและการป้องกันท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสฉีกขาดด้วยตัวเรือนที่ครอบอยู่ภายในนอกอีกชั้นหนึ่ง

กระมัง ซึ่งเป็นไปตามที่อนุมานในใจว่าท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออรสบางกว่าท่อที่ออกแบบอยู่บนพื้นฐานอุณหภูมิและความดันเดียวกัน

ในการออกแบบระบบท่อเพื่อขนส่งหรือส่งจ่ายของเหลวนั้น ในทางวิศวกรรมโดยปกติแล้วจะแนะนำให้ความเร็วของเหลวที่ไหลในท่อควรอยู่ในช่วงความเร็วการไหล 3 - 10 ft./s (0.9144 – 3.048 m/s) ดังนั้นจากสมการอัตราการไหลภายในท่อ Q = VA อัตราการไหลสูงสุดของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อขนาด ∅ ½ นิ้ว จึงควรมีค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 0.003335 – 0.011117 m^3/min หรือ 3.335 – 11.117 kg/min (น้ำ) แต่อัตราการไหลสูงสุดที่ห้องปฏิบัติการฯทั้งในประเทศไทยและห้องปฏิบัติการของผู้ผลิตสามารถกระทำได้คือประมาณ 38.6 kg/min (น้ำ) นั้นหมายถึงความเร็วของน้ำภายในท่อ ∅ ½ นิ้ว มีค่าอยู่ระหว่าง 3.0 - 34.5 ft./s (0.9144 – 10.52 m/s) ถือเป็นความเร็วการไหลน้ำผ่านท่อที่สูงมากและอาจก่อให้เกิด Cavitation ภายในท่อได้ (ดูรูปที่ 29) ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่สำคัญที่สุดของมาตรวัดมวลคอริออริสคือให้ผลผิดอย่างไม่น่าพอใจหากต้องทำการวัดอัตราการไหลมวลของการไหลที่เค้าเรียกว่า “การไหล 2 สถานะ (2-phase fluid)” ในขณะที่ค่า Reynolds Number ของการไหลภายในท่อดังกล่าวมีค่าโดยประมาณอยู่ระหว่าง 8,000 – 90,000 จึงเป็นไปไม่ได้ที่สามารถใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบและสร้างอัตราการไหลได้ถึง 100 kg/min หรือความเร็วการไหลของน้ำภายในท่อ ∅ 8.8 มม เท่ากับ 90 ft./s (27.43 m/s) สำหรับมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S239NCAZEZZX ที่มีขนาด ∅ ½ นิ้วซึ่งออกแบบเพื่อใช้วัดก๊าซ แต่มีข้อสังเกตว่า (ในความเห็นส่วนบุคคล) อัตราการไหลสูงสุดของมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050 น่าจะอยู่ที่ 4,620 kg/hr หรือ 77 kg/min ตามตารางที่ 2

6. การเกิดสภาวะการไหล 2 สถานะ (2-phase flow) ในระบบท่อที่ใช้สอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น

- ความเร็วของน้ำที่ไหลในระบบท่อมีค่าความเร็วสูงกว่าค่าหนึ่งจนทำให้เกิด Cavitation ภายในระบบท่อ โดยเฉพาะภายในท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส (ดูรูปที่ 29)

Table 6.1.[1] Suggested Fluid Velocities in Pipe and Tubing [a]

Fluid	Suggested Trial Velocity	Pipe Material
Acetylene (Observe pressure limitations)	4000 fpm	Steel
Air, 0 to 30 psig	4000 fpm	Steel
Ammonia		
Liquid	6 fps	Steel
Gas	6000 fpm	Steel
Benzene	6 fps	Steel
Bromine		
Liquid	4 fps	Glass
Gas	2000 fpm	Glass
Calcium Chloride	4 fps	Steel
Carbon Tetrachloride	6 fps	Steel
Chlorine (Dry)		
Liquid	5 fps	Steel, Sch. 80
Gas	2000—5000 fpm	Steel, Sch. 80
Chloroform		
Liquid	6 fps	Copper & Steel
Gas	2000 fpm	Copper & Steel
Ethylene Gas	6000 fpm	Steel
Ethylene Dibromide	4 fps	Glass
Ethylene Dichloride	6 fps	Steel
Ethylene Glycol	6 fps	Steel
Hydrogen	4000 fpm	Steel
Hydrochloric Acid		
Liquid	5 fps	Rubber Lined
	4000 fpm	R. L., Saran, Haveg
Gas		
Methyl Chloride		
Liquid	6 fps	Steel
Gas	4000 fpm	Steel
Natural Gas	6000 fpm	Steel
Oils, lubricating	6 fps	Steel
Oxygen	1800 fpm Max.	Steel (300 psig Max.)
(ambient temp.)	4000 fpm	Type 304 SS
(Low temp.)		
Propylene Glycol	5 fps	Steel

Fluid	Suggested Trial Velocity	Pipe Material
Sodium Hydroxide		
0—30 Percent	6 fps	Steel
30—50 Percent	5 fps	and
50—73 Percent	4	Nickel
Sodium Chloride Sol'n.		
No Solids	5 fps	Steel
With Solids	(6 Min.— 15 Max.)	Monel or nickel
	7.5 fps	
Perchlorethylene	6 fps	Steel
Steam		
0–30 psi Saturated*		
30–150 spi Saturated or superheated*	4000—6000 fpm	Steel
150 psi up superheated	6000–10000 fpm	
*Short lines	6500–15000 fpm (max.)	
Sulfuric Acid		
88—93 Percent	4 fps	S. S.—316, Lead
93—100 Percent	4 fps	Cast Iron & Steel, Sch. 80
Sulfur Dioxide	4000 fpm	Steel
Styrene	6 fps	Steel
Trichlorethylene	6 fps	Steel
Vinyl Chloride	6 fps	Steel
Vinylidene Chloride	6 fps	Steel
Water		
Average service	3–8 (avg. 6) fps	Steel
Pump suction lines	3–8 fps	Steel
Maximum economical (usual)	7–10 fps	Steel
Sea and brackish water, lined pipe	5–8 fps (Min.) 3	R. L., concrete, asphalt-line, saran-lined, transite
Concrete	5–12 fps	

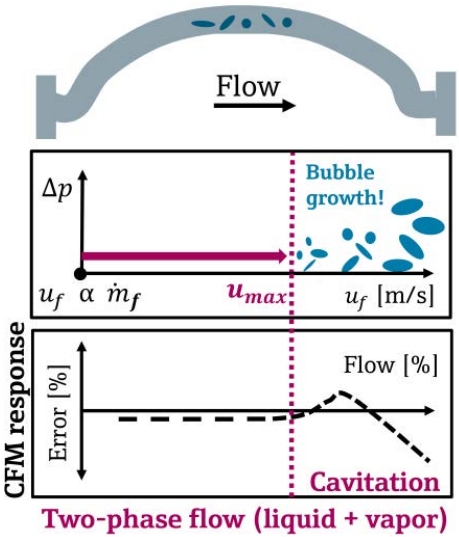
[a] The velocities are suggestive only and are to be used to approximate line size as a starting point for pressure drop calculations. The final line size should be such as to give an economical balance between pressure drop and reasonable velocity. R. L. is rubber-lined steel.

ตารางที่ 4 ความเร็วของไหลภายในท่อแนะนำสำหรับการออกแบบระบบท่อ.

- ระบบท่อที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริส ไม่ได้จัดให้มีเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator) เพื่อกำจัดไอหรือ

อากาศออกไปจากระบบท่อขณะทำการสอบเทียบ เพราะมีหลายสาเหตุที่ทำให้ไอหรืออากาศเล็ดรอดเข้าระบบท่อนั้นมีด้วยกันหลายสาเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ตอนปั๊มเริ่มทำงานหรือหยุดทำงาน การปิด-เปิดวาล์ว เป็นต้น

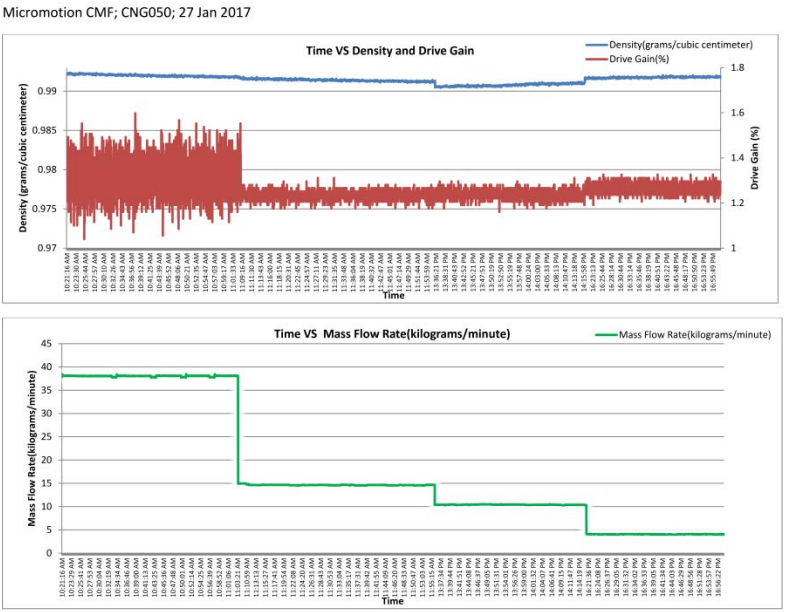
ผลที่ตามมาจะทำให้ผลการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสมีค่าผลผิดสูงกว่าปกติ ดังในรูปที่ 29 (ล่างสุด) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อัตราการไหลหรือที่ความเร็วการไหลภายในท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสมีค่าสูงเกินไป



รูปที่ 29 ความเร็วของของเหลวภายในท่อวัดที่สูงมากเกินความเร็วสูงสุดค่าหนึ่ง (u_{max}) จะทำให้ของเหลวเกิดปรากฏการณ์ Cavitation

เพื่อทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานของเรา เราจึงพยายามหาความรู้ว่าเราจะสามารถทราบอาการผิดปกติหากเกิดสภาวะการไหล 2 สถานะ (2-phase flow) ในระบบท่อได้อย่างไร ก็ไปเจอว่าว่า “Drive Gain” ในบทความหนึ่งเราจึงตรวจสอบในเบื้องต้นจากค่า Drive Gain ของมาตรวัดมวลคอริออริสโดยไม่มีข้อมูล

ว่ามาตรวัดมวลคอริออริส CNG 050 ควรมีค่า Drive Gain เท่าไรในสภาวะทำงานปกติและค่า Drive Gain สามารถเปลี่ยนแปลงได้มากเท่าไหร แต่เมื่อนำข้อมูลดิบมาเขียนกราฟดังในรูปที่ 30 พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลง Drive Gain มากกว่า 10% ที่อัตราการไหลสูงที่ 38.6 kg/min และจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลง Drive Gain มากผิดปกติเมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลมวลที่ค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 30 CNG 050 ที่อัตราการไหลประมาณ 38.6 kg/min อัตราการเปลี่ยนแปลง Drive Gain จะมากกว่า 10%

7. เพื่อยุติข้อถกเถียงทางเทคนิคที่ว่า บริษัทฯ สามารถทำการปรับค่าแก้ไข (re-configuration) ใหม่โดยจะทำการปรับ Frequency Factor และ Rate Factor ถึงแม้จะทำให้ค่า K-Factor เปลี่ยนแปลงไปแต่ค่า Meter Factor ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งค่า Repeatability ที่คำนวณหาได้จากการสอบเทียบเดิม

ซึ่งทางชั่งตวงวัดมีความเห็นแย้ง ดังนั้นชั่งตวงวัดกับห้องปฏิบัติการฯ จึงได้ทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริสที่ใช้เป็นแบบมาตรา Model CNG050S239NCAZEZZX ใหม่ โดยรอบแรกทำการสอบเทียบที่ค่า configuration เดิมคือ K-Factor 60 pulses/kg (Frequency Factor = 1,000 & Rate Factor = 1,000) จากนั้นสอบเทียบเมื่อ configuration ใหม่เป็น K-Factor 500 pulses/kg (Frequency Factor = 833.3301 & Rate Factor = 100) นั้นคือ

$$\text{K} - \text{Factor} = \frac{833.3301 \times 60}{100} = 500 \ \ \text{pulses/kg}$$

หรือคิดเป็น 2.0 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 2.0 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz โดยเทียบบัญญัติไตรยางศ์ว่า ที่ 1 Hz แทนค่าอัตราการไหลมวลเท่ากับ (100 kg/min X 1,000 g/kg)/(833.3301 Hzx60 sec/min) = 2.0 (g/sec)/Hz หรือ 2 g/pulse

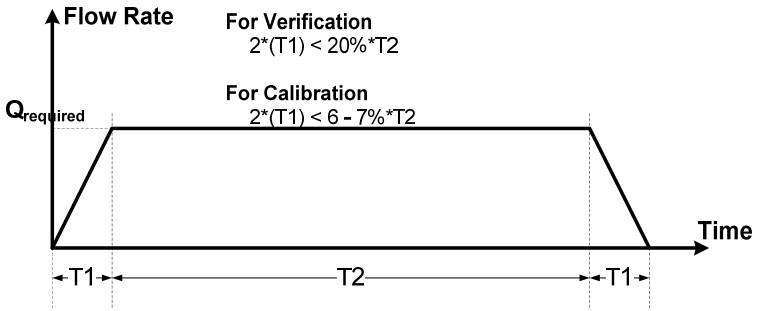
8. ปริมาณน้ำที่ทดสอบในแต่ละรอบการสอบเทียบที่อัตราการไหลมวลแตกต่างกัน หรือที่เรียกว่า “Batch Size” โดยพิจารณา 2 ปัจจัยหลักๆ คือ

- ขนาดของ Batch Size หรือจำนวนกิโลกรัมของน้ำที่นำไปชั่งน้ำหนักต้องมีค่ามากเพียงพอที่ไม่ทำให้ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องชั่งเกิน ±0.025% (จาก Proving Coriolis Flowmeter, October 1998, Micro Motion. INC.)

$$\text{U}_{\text{WI-Res}} = \frac{\text{ScaleResolution}}{\text{BatchSize}} \times 100 \qquad (38)$$

$$\begin{aligned} \text{BatchSize} &= \frac{\text{ScaleResolution}}{\text{U}_{\text{WI-Res}}} \times 100 \\ &= \frac{\text{ScaleResolution}}{0.025} \times 100 \\ &= \frac{\text{ScaleResolution}}{0.00025} \end{aligned} \qquad (39)$$

- ระยะเวลารอบการสอบเทียบแต่ละรอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 นาที และต้องมีรูปแบบอัตราการไหล ดังในรูปที่ 31

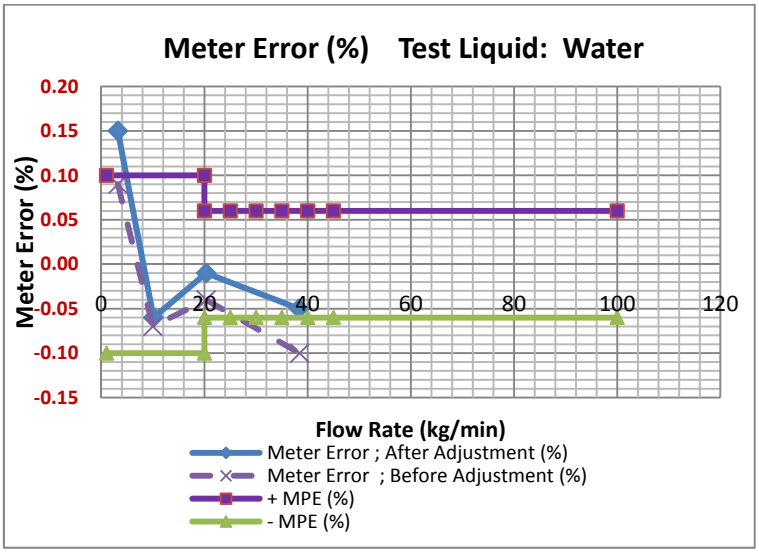


รูปที่ 31 รูปแบบอัตราการไหลของมาตรวัดในทางปฏิบัติเพื่อหา Meter Factor ที่อัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่ง

ผลการสอบเทียบได้ดังในกราฟรูปที่ 32 โดยมีข้อพิจารณา

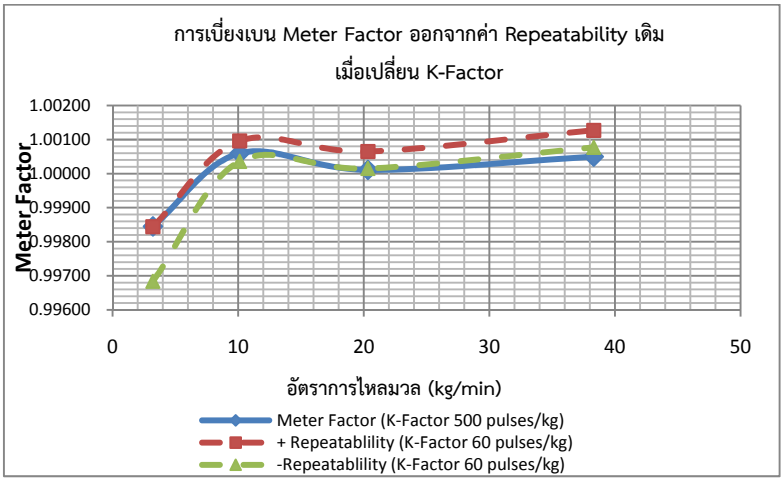
1. ในเทอมของผลผิดมาตรวัด (Meter Error,%)

สังเกตพบว่าที่อัตราการไหลต่ำ จากเดิมที่ผิดน้อย (Meter Error น้อย) เมื่อปรับค่า K-Factor แล้วพบว่าผิดมากขึ้น เนื่องจากในการสอบเทียบช่วงอัตราการไหลต่ำทางบริษัทฯ ใช้เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น JAGXTREME ซึ่งมีพิกัดกำลัง 60 kg และค่า e = d = 1g ซึ่งมีค่าความละเอียดมากพอที่จะตรวจสอบ 2.0 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 2.0 g ต่อความถี่ 1 Hz หรือ 2 g/pulse (K-Factor = 500 pulses/kg) และมีค่ามากเกินพอในการตรวจสอบ 16.666 (g/sec)/Hz หรือพูดง่ายๆ ว่า 16.66 g ต่อค่าความถี่ 1 Hz หรือ 16.66 g/pulse (K-Factor = 60 pulses/kg) ดังนั้นเมื่อปรับเปลี่ยนค่า K-Factor จาก 60 pulses/kg ไปเป็น 500 pulses/kg แล้วมาตรวัดจึงสามารถตรวจสอบผลผิดได้ละเอียดมากสูงขึ้นเพราะมาตรวัดมวลคอริออริสสามารถแยกแยะการวัดได้ละเอียดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 32 ผลเปรียบเทียบการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S ด้วยค่า K-Factor 60 pulses/kg (Before Adjustment) กับค่า K-Factor 500 pulses/kg (After Adjustment)

สังเกตพบว่าที่อัตราการไหลสูง จากเดิมที่ผลผิดมาตรวัดมวลคอริออริสมีค่ามาก (Meter Error มาก) เมื่อปรับค่า K-Factor จาก 60 pulses/kg ไปเป็น 500 pulses/kg แล้วพบว่ามีผลผิดน้อยลงเนื่องจากในการสอบเทียบช่วงอัตราการไหลสูงเดิมที่ทางบริษัทฯ ใช้เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น JAGXTREME ซึ่งมีพิกัดกำลัง 500 kg และค่า e = d = 50g ถือว่าเป็นเครื่องชั่งมีค่าหยาบเกินไปที่จะแยกแยะผลผิดของมาตรวัดมวลคอริออริสได้ชัดเจนเพียงพอที่ 16.666 (g/sec)/Hz หรือ 16.666 g/pulse (K-Factor =60 pulses/kg) กับ 2.0 (g/sec)/Hz หรือ 2.0 g/pulse (K-Factor = 500 pulses/kg) เพราะเครื่องชั่งมีค่า e = 50 g ในขณะเดียวกันก็สามารถเห็นผลต่างการทำงานของมาตรวัดเมื่อมีค่า K-Factor แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดที่อัตราการไหลสูงและเมื่อใช้เวลาการวัดอัตราการไหลมวลนานมากขึ้น

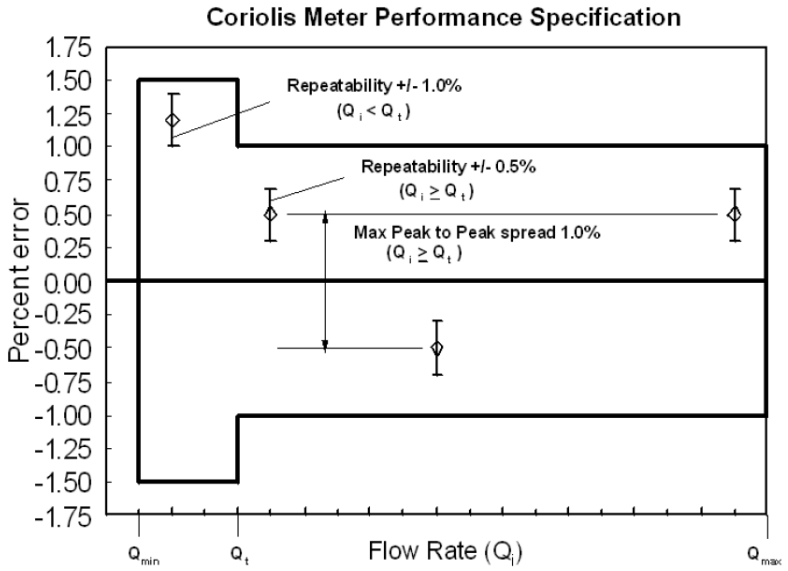


รูปที่ 33 ผลเปรียบเทียบ Meter Factor มาตรวัดมวลคอริออริส CNG050S ด้วยค่า K-Factor 500 pulses/kg (After Adjustment)

2. ในเทอมของความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability), %

ในทางทฤษฎีแล้วการปรับเปลี่ยนสัดส่วนความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) ของมาตรวัดเทียบกับอัตราการไหลมวลในอัตราส่วนคงที่ที่เรียกว่าวิธีการ Scaling Method เราจะได้ค่า K-Factor คงที่และจะไม่ก่อให้มีผลผิดมาตรวัดหรือ **Meter Factor** แตกต่างกัน หรือแตกต่างกันแต่จะอยู่ภายในช่วง Repeatability ของแต่ละอัตราไหลการไหลหรือจะใช้ค่า Repeatability ตลอดช่วงอัตราการไหลของค่า K-Factor เดิม

แต่ในกรณีนี้ดูรูปที่ 33 พบว่าค่า **Meter Factor** ของมาตรวัดมวลคอริออริส Model CNG050S หลังจากปรับค่า K-Factor จาก 60 pulses/kg ไปเป็น 500 pulses/kg แล้วปรากฏว่า **Meter Factor** มีค่าอยู่นอกกรอบค่า Repeatability เดิมเมื่อยังใช้ค่า K-Factor 60 pulses/kg



Note 1. The tolerance for maximum permissible error applies after the application of the final meter factor (F).

Note 2. The tolerance for linearity applies after any corrections performed within the meter itself but prior to the application of any linearization algorithms by equipment auxiliary to the meter.

Figure 7.1: Performance Specification Summary

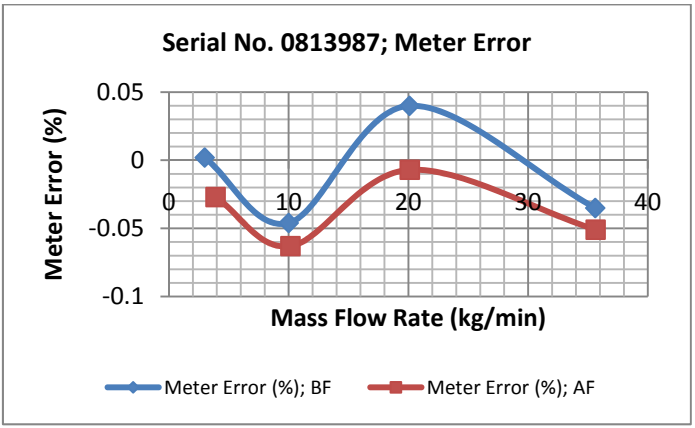
รูปที่ 34 สมรรถนะมาตรวัดมวลคอริออริสตามข้อกำหนด AGA Report No. 11

สรุป

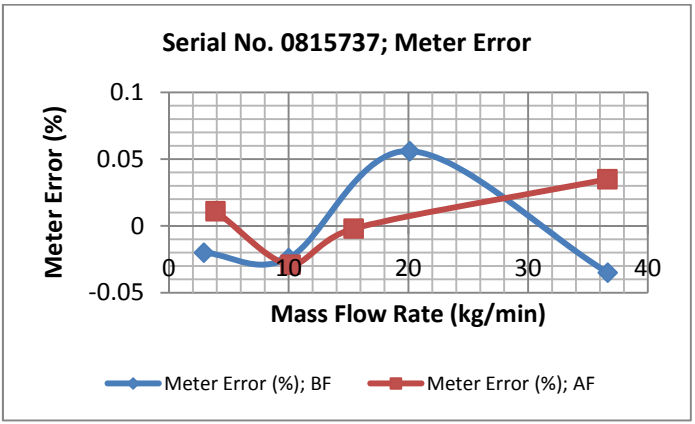
จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จึงมาถึงข้อยุติที่ว่าการ Configuration มาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งเป็นแบบมาตราในการตรวจสอบมาตรวัด CNG ตามสถานีบริการควรตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกันและสอดคล้องกับ Facilities ของบริษัท ฯ ภายในประเทศและอยู่บนพื้นฐานมาตรฐาน AGA Report No. 11 (API MPMS 14.9) Measurement of Natural Gas by Coriolis Meter (รูปที่ 34) ตามที่ผู้ผลิต Emerson อ้างอิงไว้ในคู่มือ ชั่งตวงวัดจึงตัดสินใจให้ทำการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งเป็นแบบมาตราของชั่งตวงวัดใหม่โดยใช้ค่า K-Factor 600 pulses/kg ด้วยเงื่อนไข Frequency Factor = 1,000 & Rate Factor = 100 ซึ่งจะ

ได้อัตราการไหลมวลต่อค่าความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดมีค่าเท่ากับ 1.6666 (g/sec)/Hz หรือ 1.6666 g/pulse และเครื่องชั่งที่ใช้งานของห้องปฏิบัติการฯ เป็นเครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น JAGXTREME ซึ่งมีพิกัดกำลัง 60 kg และค่า e = d = 1g ซึ่งมีค่าความละเอียดพอที่จะตรวจสอบได้ด้วยความน่าเชื่อถือระดับหนึ่งสำหรับช่วงอัตราการไหลต่ำ ส่วนช่วงอัตราการไหลเกิน 1/5 Q_{max} ก็ยังกังวลอยู่

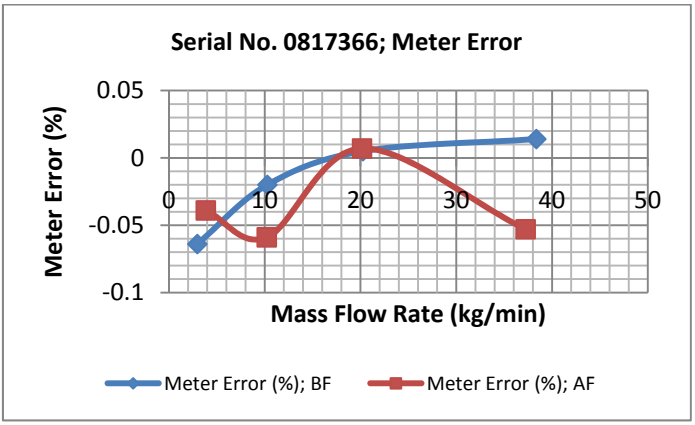
ผลการสอบเทียบหลังจากปรับค่า K-Factor มีค่าเท่ากับ 60 pulses/kg (เส้นกราฟ Meter Error (%); BF) เป็น 600 pulses/kg (เส้นกราฟ Meter Error (%); AF) จำนวน 5 ชุด ได้แก่ 6680-014-001-51 (SN 0813987), 6680-014-002-51 (SN 0815737) , 6680-014-003-51 (SN 0817366), 6680-014-004-51(SN 0815591) และ 6680-014-005-51 (SN 0817295) ได้ผลดังรูปที่ 35 ถึงรูปที่ 39 และ หลังจากปรับค่า K-Factor มีค่าเท่ากับ 1,554.40 pulses/kg เป็น 600 pulses/kg จำนวน 1 ชุด ได้แก่ 6670-005-001-51 (SN'0806308) ดังรูปที่ 40 ทำให้นึกถึงประโยคที่ว่า “สร้างบ้านผิดคิดจนตัวตาย” แปลงเป็น “Config ผิด.....คิดจนตัวตาย” ??? ครับ



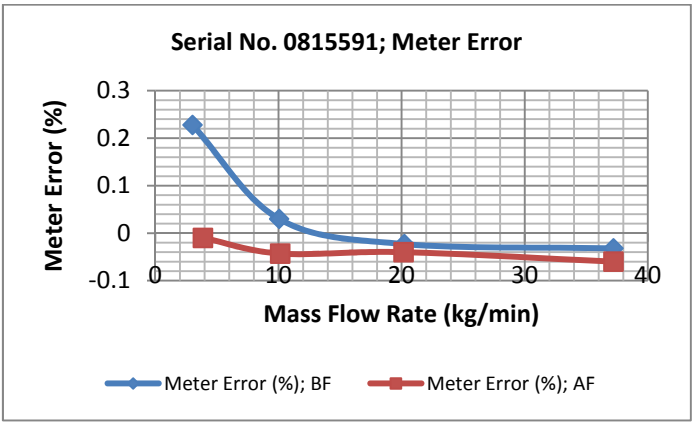
รูปที่ 35 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6680-014-001-51 (SN 0813987)



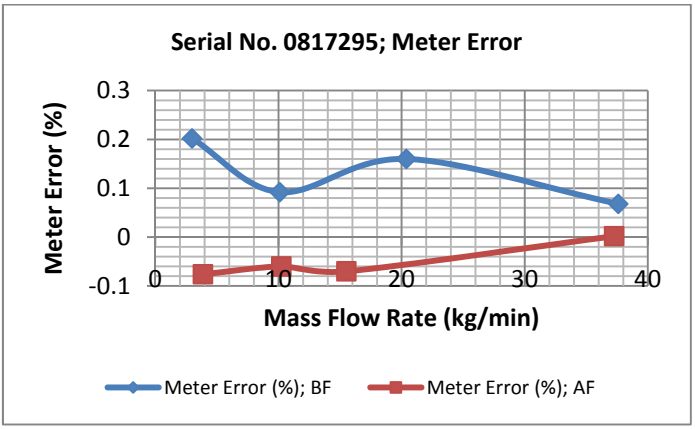
รูปที่ 36 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6680-014-002-51 (SN 0815737)



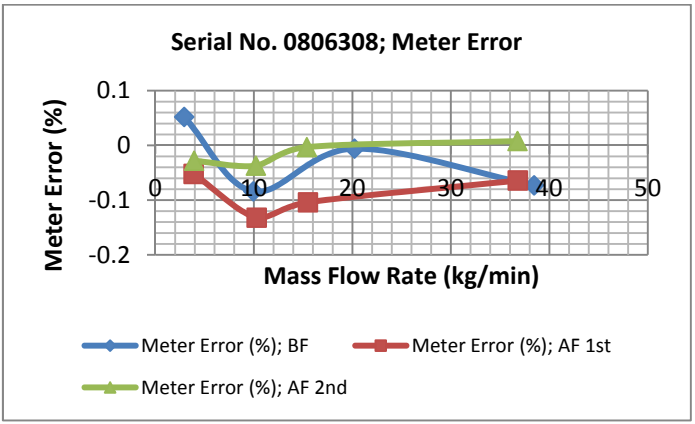
รูปที่ 37 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6680-014-003-51 (SN 0817366)



รูปที่ 38 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6680-014-004-51 (SN 0815591)



รูปที่ 39 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6680-014-005-51 (SN 0817295)



รูปที่ 40 สมรรถนะของมาตรวัดมวลคอริออริสหมายเลข 6670-005-001-51 (SN'0806308)

ค. ค่าอัตราการไหลมวลที่ทดสอบมีความหลากหลาย และการเลือกใช้เครื่องชั่งสำหรับการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method) บนพื้นฐานมาตรฐาน ISO 4185: 1980 Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits – Weighing Method

เดิมทีบริษัทฯ ได้ทำการสอบเทียบมาตรวัด Coriolis Mass Flow Meter ซึ่งเป็นแบบมาตราทั้งของชั่งตวงวัดและบริษัทฯ ที่ทำหน้าที่ซ่อมตู้จ่าย CNG โดยสอบเทียบที่อัตราการไหลทดสอบที่แตกต่างกัน เช่น 180.936 kg/hr, 901.239 kg/hr, 1201.913 kg/hr, 1406.525 kg/hr , 9.801 kg/min, 19.118 kg/min, 29.150 kg/min เป็นต้น อีกทั้งจำนวนค่าอัตราการไหลทดสอบก็แตกต่างกัน เช่นสอบเทียบที่อัตราการไหล 3 Flow Rates และ 4 Flow Rates บ้างซึ่งไม่เท่ากันในแต่ละมาตรวัด ดังนั้นชั่งตวงวัดพิจารณาแล้วจึงได้กำหนดอัตราไหลทดสอบสำหรับมาตรวัดมวลคอริออริสแบบมาตรา 4 อัตราการไหลด้วยกันเพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานจริงในภาคสนาม คือ

1. 3.86 kg/min
2. 10.0 kg/min

3. 20.0 kg/min และ

4. 38.6 kg/min

เมื่อกำหนดอัตราการไหลทดสอบครบ 4 ค่าแล้ว ชั่งตวงวัดยังพบประเด็นการเลือกใช้เครื่องชั่งในการสอบเทียบของบริษัทฯ ซึ่งสรุปได้ว่า

1. Flow rate 3.86 kg/min และ 10 kg/min ใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg มีค่าอ่านละเอียด 1 g

2. Flow rate 20.0 kg/min และ 38.6 kg/min ใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 500 kg มีค่าอ่านละเอียด 50 g

ประกอบกับปัญหาการ Configuration ตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดมวลคอริออริส รุ่น CNG 050 ใน**ประเด็น ก.** พบว่าค่า K-Factor มีค่าละเอียดเกินไปบ้างหยาบเกินไปบ้าง ไม่สอดคล้องกับการใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg และพิกัดกำลัง 500 kg เมื่อชั่งตวงวัดพบปัญหาดังกล่าวจึง

1. กำหนดค่าในการ Configuration ที่แน่นอน โดยให้ค่า Frequency Factor และ Rate Factor ใหม่เป็น 1000 และ 100 ตามลำดับ เพื่อให้ K-Factor; Pulse Output เท่ากับ 600 Pulse/kg ดังนั้นจะได้ค่าอัตราการไหลมวลต่อความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดเท่ากับ 1.6666667 g/sec/Hz หลังจากได้ทำการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราฯ ปรากฏผลตาม ตารางที่ 5

2. พบว่าผลที่ได้จากการใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 500 kg มีค่าอ่านละเอียดไม่เพียงพอต่อการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสจึงได้ตกลงกำหนดให้ใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg มีค่าอ่านละเอียด 1 g ทุกอัตราการไหลทดสอบของการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสแบบมาตราเท่านั้น ซึ่งมีความละเอียดพอยอมรับได้ในการแยกแยะค่าอัตราการไหลมวลต่อความถี่ด้านทางออกของตัวถ่ายทอดสัญญาณของมาตรวัดเท่ากับ 1.6666667 g/sec/Hz

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลและเอกสารต่างๆ ทั้งจาก AGA และอื่นๆว่าในการสอบเทียบมาตรวัดมวล Coriolis Mass Flow Meter ซึ่งใช้วัดของไหลที่เป็นก๊าซ สามารถนำมาสอบเทียบโดยใช้ตัวกลางที่เป็นของไหลชนิดน้ำได้ ชั่งตวงวัดจึง

วัน สอบเทียบ	Flow Rate (l/min)	Meter Error (%)	Repeatability (%)	Peak to Peak spread (%)	Linearity (%)
21 พ.ย. 58	3.86	-0.076	0.020	0.079	0.079
	10.23	-0.060	0.051		
	15.51	-0.077	0.022		
	37.26	0.002	0.052		
21 พ.ย. 58	3.89	0.011	0.060	0.064	0.064
	10.16	-0.029	0.026		
	15.43	-0.002	0.021		
	36.62	0.035	0.036		
20 พ.ย. 58	3.9	-0.027	0.057	0.056	0.044
	10.15	-0.063	0.027		
	20.12	-0.007	0.050		
	35.64	-0.051	0.047		
21 พ.ย. 58	3.93	-0.028	0.043	0.045	0.045
	10.2	-0.037	0.028		
	15.38	-0.003	0.016		
	36.77	-0.008	0.050		
20 พ.ย. 58	3.85	-0.039	0.045	0.066	0.066
	10.21	-0.059	0.025		
	20.16	0.007	0.033		
	37.24	-0.053	0.029		
21 พ.ย. 58	3.86	-0.010	0.028	0.05	0.05
	10.14	-0.043	0.047		
	20.16	-0.040	0.045		
	37.21	-0.060	0.030		

ตารางที่ 5 ข้อมูลการสอบเทียบมาตรวัดมวลแบบมาตรา Coriolis Mass Flowmeter ด้วยอัตราการไหลทดสอบระบุ และใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg และพิกัดกำลัง 500 kg

พิจารณาและปรับสัดส่วนเกณฑ์ยอมรับได้ในการสอบเทียบมาตรวัดมวลฯที่ใช้เป็นมาตรวัดแบบมาตรา สรุปได้ว่า

1. ใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบ
2. MPE ≤ 0.1%
3. Repeatability ≤ 0.06%
4. Max. Peak to Peak spread ≤ 0.12% และ
5. Linearity ≤ 0.06%

หลังจากที่ชั่งตวงวัดได้กำหนดให้มีการ Configuration ของมาตรวัดมวลคอริออริสแบบมาตราที่แน่นอนพร้อมกำหนดให้ทดสอบที่อัตราการไหลที่แน่นอนเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการไหลใช้งานจริงในภาคสนามสำหรับการใช้ตู้จ่าย CNG แล้ว ยังกำหนดให้เลือกใช้เฉพาะเครื่องชั่งที่มีค่าแม่นยำที่พอยอมรับได้แล้วอีกทั้งกำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้แล้วชั่งตวงวัดแล้วยังคงพบปัญหาใหม่ที่เข้ามาอีกคือ เมื่อสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสแบบมาตราที่อัตราการไหลช่วงประมาณ 18 - 29 kg/min ด้วยเครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg และระบบสอบเทียบของบริษัทฯ เครื่องชั่งให้ผลการชั่งน้อยกว่าปกติทำให้ได้ค่าผลผิด (ค่าน้ำหนักที่มาตรวัดแบบมาตราฯที่ถูกสอบเทียบอ่านได้ลบด้วยค่าน้ำหนักที่เครื่องชั่งแสดงค่า) มากจนผิดสังเกต ซึ่งประเมินว่าน่าจะเกิดจากภายในท่อไม่ได้มีสภาวะการไหลแบบ Single – Phrase Fluid (ของเหลวเพียงสถานะเดียว) อย่างสมบูรณ์เมื่อมีการปรับให้มีอัตราการไหลภายในท่อมีค่าอยู่ในช่วง 18 - 29 kg/min

ภายหลังในวันที่ 21 พ.ย. 2558 จึงตกลงร่วมกันว่าจะหลบช่วงการสอบเทียบที่อัตราการไหลทดสอบ 18 - 29 kg/min ดังกล่าว โดยให้ทำการสอบเทียบที่อัตราการไหลทดสอบที่ 15.5 kg/min แทนอัตราการไหลที่ 20.0 kg/min

สรุป การกำหนด

1. การ Configuration ของมาตรวัดแบบมาตราให้ค่า Frequency Factor และ Rate Factor ใหม่เป็น 1000 และ 100 ตามลำดับ เพื่อให้ K-Factor; Pulse Output เท่ากับ 600 Pulse/kg

2. กำหนดอัตราการไหลมวลทดสอบสำหรับมาตรวัดแบบมาตราฯ 4 อัตราการไหลมวล ได้แก่

ก. 3.86 kg/min

ข. 10.0 kg/min

ค. 15.5 kg/min

ง. 38.6 kg/min

3. กำหนดให้ใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg มีค่าอ่านละเอียด 1 g ทุกอัตราการไหลทดสอบของการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราฯ เท่านั้น

4. เกณฑ์ยอมรับได้ในการสอบเทียบมาตรวัดมวลฯ CNG 050 ที่ใช้เป็นมาตรวัดแบบมาตราสรุปได้ว่า

ก. ใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบ

ข. MPE ≤ 0.1% (0.5/5 = 0.1)

ค. Repeatability ≤ 0.06% (0.25/5 = 0.05)

ง. Max. Peak to Peak spread ≤ 0.12% (AGA Report No. 11)

จ. Linearity ≤ 0.06% (0.25/5 = 0.05)

$$\text{Linearity} = \frac{\text{MF}_{\max} - \text{MF}_{\min}}{\left(\frac{\text{MF}_{\max} + \text{MF}_{\min}}{2}\right)} \times 100\ \% \qquad (40)$$

ฉ. Batch size > scale resolution/0.00025

ในส่วนของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error; MPE) เรามีแนวคิดประเมิน

$$\text{MPE} = \sqrt{\text{Error}^2 + \text{Repeatability}^2 + \text{Linearity}^2 + \text{Hysteresis}^2} \qquad (41)$$

เพื่อให้แน่ใจว่าการกำหนดเกณฑ์พิจารณานี้ไม่เป็นการกระทำที่เกินเหตุ ชั่งตวงวัดได้ทำการรวบรวมข้อมูลมาตรวัดแบบมาตรา Coriolis Mass Flow

Meter ที่ได้รับการสอบเทียบภายหลังที่มีการกำหนดกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนในการปฏิบัติงานแล้วพบว่าทุกเครื่องผ่านเกณฑ์ตามที่ได้กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตามหากมีข้อมูลหลักฐานใหม่และเป็นที่ยอมรับของอานารยะประเทศและขัดกับเกณฑ์พิจารณาที่ชั่งตวงวัดกำหนดไว้ ชั่งตวงวัดยินดีแก้ไขให้ถูกต้องและสอดคล้องกับสากลด้วยความเต็มใจยิ่ง

MPE = Error ± Uncertainty	**0.1**
Error	0.05
Uncertainty	
Repeatability	0.05
Lineaity	0.05
Hysteresis	0.05
MPE (Sum of Square Root)	0.1

ตารางที่ 6 แนวคิด MPE

ง. ประเด็นการกำหนดค่า Linearity ≤ 0.6% เมื่อเวลาผ่านไป...พบว่ามันสูงเกินไปแล้ว ทำอย่างไร?

เมื่อเวลาผ่านไปประมาณสัก 1 ปี มีโจทย์เข้ามาใหม่อีกแล้ว อาจจะเป็นเครื่องมือของระบบสอบเทียบมันเก่าลง หรือคนของเราเก่าลง หรือมาตรวัดมวลคอริ-ออริสจากผู้ผลิตมีคุณภาพด้อยลง ฯลฯ คิดได้ไปต่างๆ นานา แต่ที่แน่ๆ งานเข้าครับเพราะพบว่ามีมาตรวัดมวลคอริออริสหลายตัวจากผู้แทนจำหน่ายของผู้ผลิตส่งเครื่องไปสอบเทียบที่บริษัทฯ แล้วปรากฏว่าไม่ผ่านเกณฑ์ Linearity ≤ 0.06% ทำให้ผู้แทนจำหน่ายจากผู้ผลิต CNG 050 ส่งขายให้ลูกค้าไม่ได้ ต้องทำการประชุมร่วมกันช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2560 มากันครบครับทุกฝ่ายครับ ฝ่ายขาย ฝ่ายผลิต ฝ่ายสอบเทียบ ฝ่ายมืนๆอย่างเราๆท่านๆ ฝ่ายผู้ซื้อ เหนื่อยเลยทีเดียว จึงตั้งคำถามให้ฝ่ายผลิตฯ ช่วยหาคำตอบมาให้ 3 ข้อเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา คือ

1. CNG 050 เป็น Model สำหรับการใช้งานปกติ ไม่ถูกจัดหรือผลิตออกให้เป็นรุ่นที่มีขีดความสามารถในระดับ Master Meter แต่เราพยายามเข็นกันให้ CNG 050 เป็น Master Meter ใช่หรือไม่?

2. ขอให้ทาง Emerson ไปหาเอกสาร Pattern Approval จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องว่ายอมให้ MPE เมื่อใช้สารตัวกลางเป็น Gas กับ Liquid แตกต่างกันหรือเท่ากันตามที่กล่าวอ้างใน Product Data Sheet, PS-00408, Rev. E, April 2013 ที่รับรองว่า "AGA 11-approved for the fiscal transfer of CNG" เพื่อใช้เป็นแนวทางปรับปรุงข้อตกลงตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ ตลอดจนวิธีการหาค่า Q_t ของ CNG050 ตาม AGA report no. 11

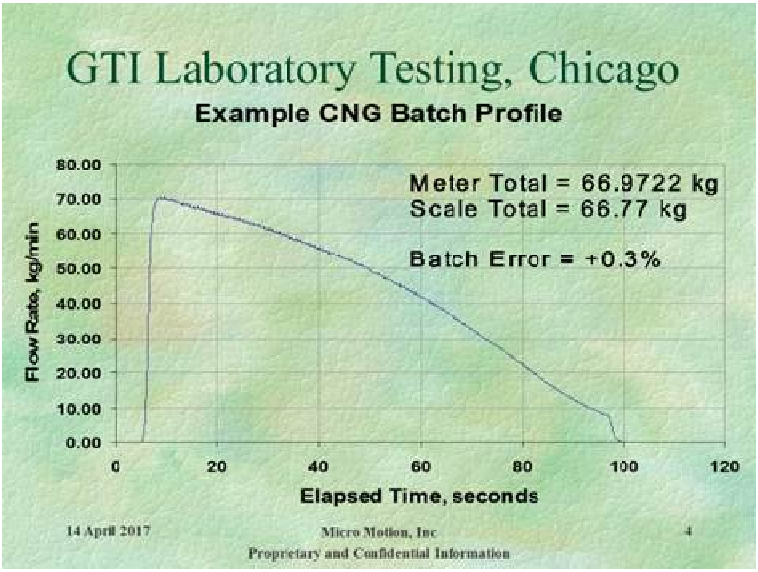
3. ค่า Drive Gain ของ CNG050 ที่ได้จากบริษัทฯ สอบเทียบนั้นพบว่าเปลี่ยนแปลงในระดับสูงในช่วง 20-90% ขึ้นอยู่กับ Mass Flowrate ชั่งตวงวัดจึงขอให้ทางบริษัทผู้สอบเทียบไปทบทวน รวมทั้งขอให้ Emerson ช่วยหาข้อมูลค่า Drive Gain ที่มีค่าปกติขณะใช้งานกับค่าที่เบี่ยงเบนไปในช่วงที่ยอมรับได้และไม่มีผลต่อ Meter Error กับค่า Drive Gain เมื่อเริ่มผิดปกติเมื่อมีการไหล 2-Phase Fluid เพื่อพิสูจน์ว่าเรื่องดังกล่าวจะไม่ไปมีผลกระทบต่อค่า Linearity รวมทั้ง Flow Control Valve ซึ่งให้ความแม่นยำสูงกว่า 10% ควรทำการปรับแต่งการทำงาน Flow Control Valve อีกทั้งควรติดตั้ง Air-Gas Eliminator ในระบบสอบเทียบด้วย

นอกจากนี้ขอรบกวนผู้ผลิต Emerson หาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ Flow Tube ของ CNG050 และข้อมูลอื่นๆ

เวลาผ่าน 2-3 เดือนจึงได้มีคน Emerson จากประเทศผู้ผลิตและในประเทศไทยเข้าร่วมประชุมซึ่งสรุปได้ว่า

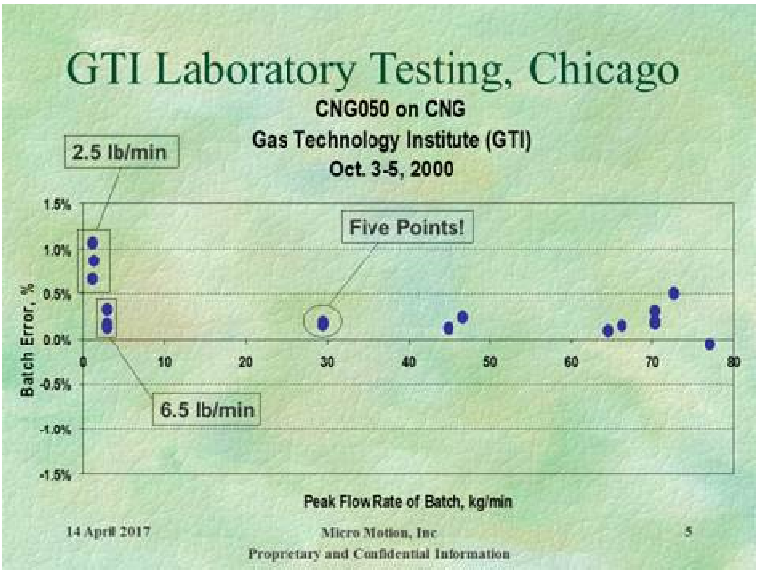
ก. กรณี MPE ≤ 0.1% , (0.5/5 = 0.1) ทางผู้ผลิตแจ้งว่าเนื่องจากการกำหนด Error ของ CNG050 ทาง Emerson กำหนดเป็น "Batch Accuracy" (ดูรูปที่ 27) ซึ่งต่างจากการกำหนด Accuracy ของมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่นอื่นๆ เช่น Model CMF

ทาง Emerson อธิบายการพิจารณา Batch Accuracy ดังรูปที่ 41 เพราะมาตวัดมวลคอริออริส CNG050s ถูกออกแบบในรูปแบบการใช้งานด้วยวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นการจ่ายเป็นปริมาณจำนวนหนึ่งต่อครั้งที่ภาษาปะกิตเรียกว่า “Batch” และปริมาณการจ่ายต่อครั้งคือการหาพื้นที่ใต้รูปกราฟในรูปที่ 41 นั้นเอง จากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่าตอนเริ่มแรกอัตราการไหลจะสูงขึ้นทันทีเมื่อเจอความดันต้านจากภายในถัง CNG ความดันจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเต็มถึงจึงปิดวาล์วหยุดจ่าย CNG ดูจากข้อมูลถังของเค้าใหญ่พอสมควร ประมาณ 67 kg



รูปที่ 41 การกำหนดความเที่ยงของมาตรวัดมวลคอริออริสในรูปของ “Batch Accuracy” มีค่าเท่ากับ +0.3% (< 0.5% MPE)

แต่เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนหรือที่ผู้ผลิตเรียก “Batch Error” ณ อัตราการไหลที่แตกต่างกันเพื่อพิจารณาค่า Repeatability ของมาตรวัดมวลคอริออริสเทียบกับอัตราการไหลสูงสุดของการจ่ายเป็นปริมาณจำนวนหนึ่งต่อครั้ง (Peak Flowrate of Batch) จะได้ดังในรูปที่ 42



รูปที่ 42 การพิจารณา Repeatability ของมาตรวัดมวลคอริออริสเทียบกับอัตราการไหลสูงสุดของการจ่ายเป็นปริมาณจำนวนหนึ่งต่อครั้ง (Batch) มีค่าน้อยกว่า ±0.25% of Rate

ข. AGA Report No 11 กำหนดอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดโดยใช้อัตราการไหลที่ Q_t เป็นตัวแบ่งโซนของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error; MPE) ดังในรูปที่ 34 ดังนั้นจึงขอทราบค่าของ Q_t ของรุ่น CNG050S มีค่าเท่าไหร่ ที่เป็นค่าที่แน่นอน ไม่ใช่เป็นค่าทั่วไปคือ $Q_t \leq 1/5$ Qmax ดังปรากฏในเอกสาร Pattern Evaluation ของ NMI ซึ่งเป็นหน่วยงานของประเทศเนเธอร์แลนด์และมีอิทธิพลต่อการร่าง OIML Recommendation ดังในรูปที่ 43 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดขอบเขตของค่าความเป็นเชิงเส้น (%Linearity) ในการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสเพื่อใช้เป็นแบบมาตราต่อไป

1.2 Essential characteristics

1.2.1 Flow characteristics
The meter has the following flow characteristics:

Model	Q_{max} [kg/h]	Q_t	Q_{min} [kg/h]	diameter in/outlet [mm]	maximum p_{max} [bar]		minimum actual density [kg/m³]
					A/M/L/S (y)	B/C/E/H/P/Y (y)	
CMF025 y)	19 x actual density [kg/m³]	≤ 1/5 Q_{max}	3	6	103	190	4
CMF050 y)	60 x actual density [kg/m³]		15	12	103	185	5
CMF100 y)	175 x actual density [kg/m³]		60	25	100	170	6,9
CMF200 y)	425 x actual density [kg/m³]		200	50	108	190	9,5
CMF300 y)	1.175 x actual density [kg/m³]		500	80	119	185	8,6
CMF350 M/L/H/P	1.940 x actual density [kg/m³]		1236	90	102	155	12,7
CMF350 A/B/C/E	1.940 x actual density [kg/m³]		2472	90	102	155	25,5
CMF400 y)	3.150 x actual density [kg/m³]		9.000	100	103	197*)	57,2
DS600 S	3.300 x actual density [kg/m³]		6.500	150	43	N/A	39,4
CNG050	4620		115	12	345		-
CMFHC2 y)	3.571 x actual density [kg/m³]		6.182	200	102	206	34,7
CMFHC3 y)	5.904 x actual density [kg/m³]		12.364	200	102	206	41,9
CMFHC4 y)	9.244 x actual density [kg/m³]		18.545	250	102	206	40,2

Remarks:
- *) with the exception to the value as indicated in the table the maximum pmax value of the CMF400P is 205 bar.
- y) Indicates the type of material the meter is build of.
- The Qmax is limited to a maximum speed of the flow in the sensor. The stated formula reflects the calculation of the value for Qmax based on the maximum speed, while using the actual density.
- If the meter is used in a specific density range, the minimum density is used to calculate the value for Qmax.
- Turn down ratio (Qmax to Qmin) □ 20:1.
- All sensors can be used bi-directional.

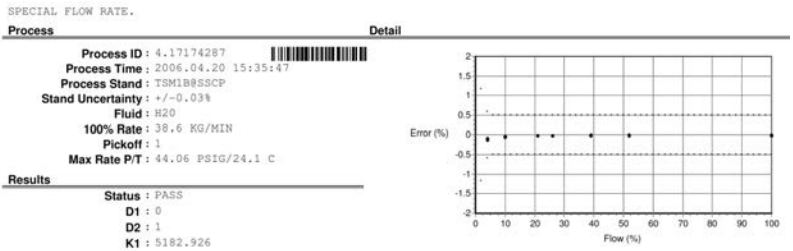
รูปที่ 43 ค่า Q_t ของมาตรวัดมวลคอริออริสในรุ่นต่างๆ รวมถึงรุ่น CNG050S

ทางผู้ผลิตได้แจ้งข้อมูลและเราสรุปได้ว่าทาง Emerson ได้

- ทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริส CNG050S ด้วยน้ำเป็นตัวกลางในการสอบเทียบเช่นกันไม่ได้ทดสอบด้วย Gas แต่อย่างใด

- ขั้นตอนสอบเทียบที่อัตราการไหลทดสอบ เริ่มด้วยอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ 38.6 kg/min แล้วลดลงไปยังอัตราการไหลต่ำสุดที่ 1.544 จากนั้นไต่อัตราการไหลกลับไปยังที่อัตราการไหลสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง

  - 38.6 kg/min
  - 1.544 kg/min
  - 3.86 kg/min
  - 8.106 kg/min
  - 10.036 kg/min
  - 15.054 kg/min
  - 20.072 kg/min
  - 38.6 kg/min



รูปที่ 44 ตัวอย่างการทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG050S ผลดังในรูปที่ 45

โดยมีอัตราการไหลน้ำทดสอบ

- การหาค่า Q_t ของ CMF เมื่อ**ทำการทดสอบด้วยน้ำ**ได้จากสมการ

$$Q_t = \frac{\text{Zero Stability}}{\left(\frac{\text{Accuracy}}{100}\right)} = \frac{0.009\,\text{kg/min}}{\left(\frac{0.5}{100}\right)} = 1.8\ \text{kg/min} \qquad (42)$$

Flow (%)	Flow Rate (kg/min)	Meter Total (kg)	Reference Total (kg)	Error (%)	Specification (±%)
100.0	38.6	82.0391	82.04114	-0.002	0.500
100.0	38.6	40.78022	40.78374	-0.009	0.500
100.0	38.6	41.10197	41.10268	-0.002	0.500
100.0	38.6	40.67531	40.67687	-0.004	0.500
100.0	38.6	40.57326	40.58166	-0.021	0.500
4.0	1.544	5.10354	5.108102	-0.089	0.583
4.0	1.544	5.15879	5.162674	-0.075	0.583
4.0	1.544	5.17231	5.176476	-0.080	0.583
4.0	1.544	5.1064	5.113481	-0.138	0.583
4.0	1.544	5.11836	5.124716	-0.124	0.583
10.0	3.86	6.43994	6.443403	-0.054	0.500
10.0	3.86	6.47686	6.479517	-0.041	0.500
10.0	3.86	6.47803	6.47992	-0.029	0.500
10.0	3.86	6.48037	6.481717	-0.021	0.500
10.0	3.86	6.48063	6.48432	-0.057	0.500
21.0	8.106	8.23173	8.232845	-0.014	0.500
21.0	8.106	8.23381	8.235081	-0.015	0.500
21.0	8.106	8.24512	8.245601	-0.006	0.500
21.0	8.106	8.2485	8.249119	-0.008	0.500
21.0	8.106	8.23303	8.233798	-0.009	0.500
26.0	10.036	10.33942	10.34063	-0.012	0.500
26.0	10.036	10.13792	10.13946	-0.015	0.500
26.0	10.036	10.03756	10.04062	-0.030	0.500
26.0	10.036	10.03028	10.03325	-0.030	0.500
26.0	10.036	10.03197	10.03416	-0.022	0.500
39.0	15.054	15.63198	15.63388	-0.012	0.500
39.0	15.054	15.4739	15.47625	-0.015	0.500
39.0	15.054	15.81411	15.81427	-0.001	0.500
39.0	15.054	15.93904	15.94239	-0.021	0.500
39.0	15.054	15.78837	15.79125	-0.018	0.500
52.0	20.072	21.79528	21.79896	-0.017	0.500
52.0	20.072	21.53164	21.53271	-0.005	0.500
52.0	20.072	21.51526	21.52047	-0.024	0.500
52.0	20.072	21.70376	21.70772	-0.018	0.500
52.0	20.072	21.49706	21.50075	-0.017	0.500
100.0	38.6	41.00733	41.00963	-0.006	0.500
100.0	38.6	40.91087	40.91227	-0.003	0.500
100.0	38.6	40.84548	40.84982	-0.011	0.500
100.0	38.6	41.27578	41.28074	-0.012	0.500
100.0	38.6	40.85458	40.85991	-0.013	0.500

รูปที่ 45 ตัวอย่างผลการทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG050S

จากข้อมูลของผู้ผลิตมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG050S

1. มี Zero stability เท่ากับ 0.009 kg/min (ดูรูปที่ 46)

2. Batch Accuracy เท่ากับ 0.5% (ดูรูปที่ 27)

พบว่าค่าที่ได้สอดรับกับกราฟที่แสดงผลการทดสอบดังข้างบน และสำหรับอัตราการไหลของน้ำที่เกินกว่า Q_t = 1.8 kg/min นั้นจะมีค่า Error น้อยกว่า 0.06 %

Zero stability

Zero stability is used when the flow rate approaches the low end of the flow range where the meter accuracy begins to deviate from the stated accuracy rating, as depicted in the turndown section below. When operating at flow rates where meter accuracy begins to deviate from the stated accuracy rating, accuracy is governed by the formula: accuracy = (zero stability/flow rate) x 100%. Repeatability is similarly affected by low flow conditions.

	All models		Standard Volume(1)	
Performance specification	**lb/min**	**kg/min**	**SCFM**	**Nm³/hr**
Zero stability	0.02	0.009	18	8

(1) CNG with SG= 0.66 at 60 °F (15.5 °C) and 14.73 psia (1bara).

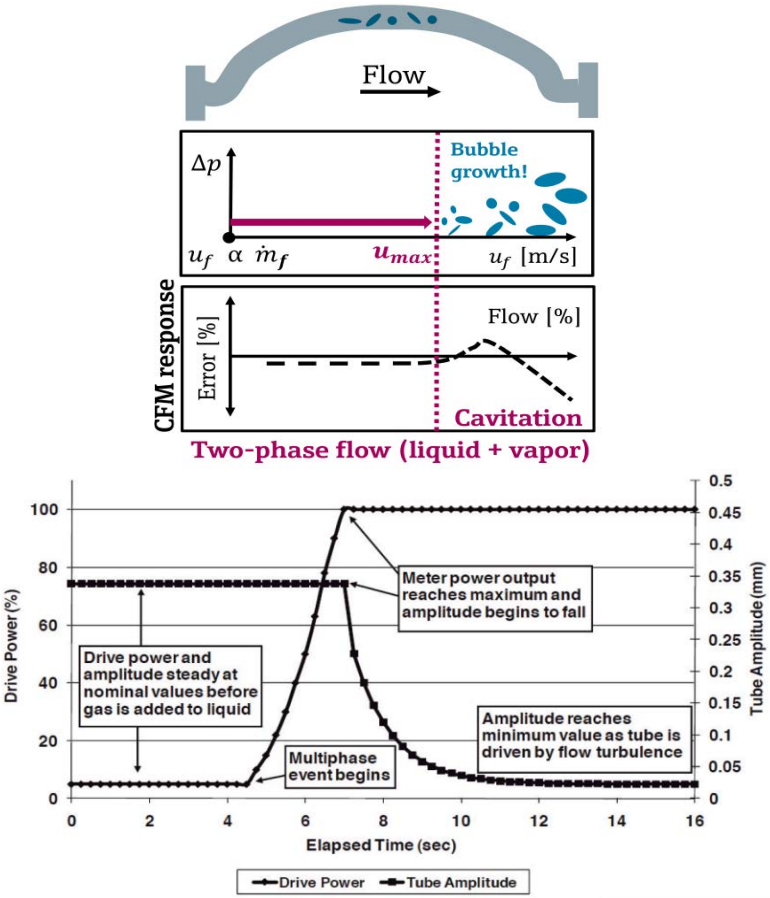
รูปที่ 46 ค่า Zero Stability ของมาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG050S

ค. การประกันคุณภาพสภาวะตัวกลางของเหลวสำหรับการสอบเทียบนั้นคือสภาวะ Single-Phase Liquid ในระบบสอบเทียบมาตรวัดของบริษัทฯ เราพบว่าระบบท่อของบริษัทฯ เป็น

1. ระบบท่อระบบสอบเทียบของบริษัทฯ ไม่มีตัวกำจัดไอ/อากาศ
2. ไม่ติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure Gauges) ก่อนทางเข้าและหลังทางออกมาตรวัดมวลคอริออริส
3. เมื่อทำการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ Drive Gain > ±20% ที่อัตราการไหลทดสอบที่อัตราการไหลประมาณ 38 kg/min (ดังในรูปที่ 47)

จากการประเมินข้อมูลเมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ Flow Tube ของ CNG050S หรือค่า ∅ ID ของ Sensor Tube ของ CNG050 เท่ากับ 0.346457 นิ้ว (8.8 มม.) (ข้อมูลจาก Emerson) เพื่อพิจารณาอัตราการไหลทดสอบด้วยน้ำของบริษัทฯ ช่วง 3.86 - 38.6 kg/min ความเร็วของเหลวไหลผ่าน Sensor Tube มีค่าอยู่ระหว่าง 3.0 - 34.5 ft./s (0.9144 – 10.52 m/s) ซึ่งปกติการไหลของเหลว (น้ำ) ภายในท่อจะออกแบบความเร็วของเหลวภายในท่อที่ 3 -

10 ft./s (0.9144 – 3.048 m/s) ด้วยความเร็วของเหลวสูงมากดังกล่าวจึงเกรงว่าจะเกิด Cavitation ซึ่งก่อให้เกิดการไหล 2 สถานะ (2-Phase Flow) ในระบบท่อส่งผลให้มีค่า Drive Gain สูงขึ้นและเปลี่ยนแปลงเกิน 10% (ดูรูปที่ 29, รูปที่ 30 และรูปที่ 47) โดย Emerson แจ้งว่าค่า Drive Gain ไม่ควรเปลี่ยนแปลงเกิน 10%



รูปที่ 47 ค่า Drive Gain ของมาตรวัดมวลคอริออริสกับการไหลของเหลวภายในท่อเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากของเหลวสถานะเดียวเป็นของไหล 2 สถานะคือของเหลวบวกกับไอหรืออากาศ

ทาง Emerson ได้แจ้งว่าได้ทำการอธิบายแนะนำให้ทางบริษัทฯ สอบเทียบแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการควบคุมความดันทางเข้า CNG050S ที่ต้องการทดสอบให้มีค่าไม่น้อยกว่า 40 Psig เพราะความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ของ CNG050S มีค่าประมาณ 14.6 psig ทั้งนี้เพื่อป้องกันความดันด้านทางออกมาตรวัดมวลคอริออริสมีค่าต่ำกว่าความดันไอของน้ำจนก่อให้เกิด Cavitation ได้ เพราะเดิมทีทางบริษัทฯ รักษาความดันด้านทางเข้าไว้เพียงประมาณ 20 Psig ซึ่งเมื่อน้ำไหลผ่านมาตรวัดแล้วความดันด้านทางออกมาตรวัดจะเหลือเพียง 20-14.6 = 5.4 psig และเป็นที่เข้าใจได้ว่าในทางปฏิบัติความดันในระบบท่อมันขึ้นๆลงๆ ดังนั้นความดันด้านทางออกอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 5.4 psig แต่เพราะเราใช้น้ำเป็นตัวกลางในการสอบเทียบมาตรวัดจึงได้ใช้ประโยนช์จากคุณสมบัติของน้ำตรงที่น้ำมีค่าความดันไอต่ำหรือมีความดันไอน้อยมากไม่ถึง 1.0 psig ที่อุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นจึงช่วยลดโอกาสการเกิดการไหล 2 สถานะ

การที่ทางบริษัทฯ แจ้งว่ารักษาความดันด้านทางเข้ามาตรวัดที่ต้องการทดสอบ 20 psig เราคาดว่าน่าจะเพื่อเป็นการถนอมปั๊มอีกทั้งต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากหากต้องการอัตราการไหลน้อยแต่ความดันสูงต้องใช้ปั๊มชนิด Centrifugal มากกว่า 1 ตัว

ในการกำหนดการรักษาความดันย้อนกลับ (Back Pressure) ทางเข้าและทางออกในมาตรวัดเทอร์ไบน์ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการติดตั้งมาตรวัดเพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ “Cavitation” ซึ่งส่งผลต่อความเที่ยงของมาตรวัดจนถึงทำความเสียหายกับตัวมาตรวัดได้ โดยเฉพาะกับของเหลวที่มีค่าความดันไอสูง เช่น LPG ตามคำแนะนำของ API กำหนดให้ความดันย้อนกลับมีค่าเท่ากับ

$$BP = (\Delta P \times 2) + (VP \times 1.25) \qquad (43)$$

เมื่อ BP = Back pressure

ΔP = ความดันตกคร่อม (pressure drop) ของมาตรวัดเทอร์ไบน์ที่อัตราการไหลสูงสุด

VP = ความดันไอสมดุลของเหลวที่อุณหภูมิทำงาน (operating temperature); **psia**

เพื่อความระมัดระวังในการสอบเทียบมาตรวัดใดๆ เราจึงอาจนำการรักษาความดันย้อนกลับ (Back Pressure) ทางเข้าและทางออกในมาตรวัดเทอร์ไบน์มาประยุกต์ใช้งานในอนาคตต่อไปได้ทั้งมาตรวัดชนิด PD Meter หรือ มาตรวัดมวลคอริออริส ดังสมการ (43)

ง. ก่อนทำการสอบเทียบทุกครั้งต้องใช้ Prolink (อุปกรณ์ไปเกี่ยวดึงสัญญาณและข้อมูลจากตัว Transimiter) ทำการ Zero มาตรวัดมวลคอริออริสทุกครั้ง เนื่องจาก

$$W = F.C.F \cdot (\Delta T - \Delta T_0) \qquad (g/sec/\mu sec)\,(\mu sec)$$

หากไม่มี Prolink ให้ใช้ Factory Zero Setting หรือปิดวาล์วหัวท้าย CNG050S และต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิเสถียรมากเพียงพอจากนั้นทำการกด Zero เพราะหากการ Set Zero ผิด Performance Curve ของมาตรวัดมวลคอริออริสจะไม่เป็นเส้นตรงแต่จะเป็น**รูประฆังคว่ำ** (ผู้แทน Emerson บอกมา)

จ. ต่อข้อสงสัยที่ว่า โดยปกติการสอบเทียบมาตรวัดใดๆ เราต้องสอบเทียบด้วยของไหลตัวกลางสอบเทียบชนิดเดียวกับที่ใช้งานจริง แต่หลายกรณีในทางปฏิบัติต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง โดยเฉพาะห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดฯอาจต้องจัดเก็บของเหลวหลากหลายชนิดหรือผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะไอหลายชนิด หรือ ฯลฯ เพื่อใช้เป็นของไหลตัวกลางสอบเทียบซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุน โดยมีธรรมชาติปัญหาเช่นเดียวกับกรณีที่ทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริสสำหรับใช้วัดการส่งจ่ายก๊าซ CNG ที่มีความดันถึง 300 barg โดยประมาณซึ่งเป็นการยากที่ต้องลงทุนจัดเก็บ CNG ในปริมาณให้เพียงพอต่อการสอบเทียบ CNG050S ดังนั้นเมื่อทั้งผู้ผลิต Emerson และบริษัทฯสอบเทียบต่างใช้น้ำเป็นของเหลวตัวกลางสอบเทียบ ทางเราจึงขอเอกสารเพื่อยืนยันว่าตามที่ AGA ระบุไว้

DECLARATION

Number NMi-SO14200852-04
Page 1 of 2
Project number SO14200852

Issued by	NMi Certin B.V. Hugo de Grootplein 1 3314 EG Dordrecht The Netherlands
Applicant:	Emerson Process Management Flow B.V. Neonstraat 1 6718 WX Ede The Netherlands
Submitted:	Coriolis meters Manufacturer : Micro Motion Sensor Models : CMF025, CMF050, CNG050, CMF100, CMF200, CMF300, CMF350, CMF400, CMFHC2, CMFHC3 and CMFHC4
Scope of investigation:	Investigation of the Micro Motion coriolis meters, model CMF025, CMF050, CNG050, CMF100, CMF200, CMF300, CMF350, CMF400, CMFHC2, CMFHC3 and CMFHC4 with both water and natural gas or nitrogen as medium. The background of the investigation is to find out whether those meters can be used for custody transfer purposes with a certain gas, while they are verified with water, without testing them with that particular gas.
Tests:	With several meters of the above mentioned models an accuracy test is performed with water. After that the accuracy test is repeated with natural gas or nitrogen, under high pressure. During both tests each meter is programmed with the same calibration parameter (FlowCal factor).
Result:	The maximum measured difference between both accuracy tests is 0,5% for all above mentioned sensor models, except for the CMF025 where 0,6% is found. Concerning this maximum measured difference, while adding an extra safety margin the verification of the coriolis meters may be performed with water, without testing them with the particular gas, when using the maximum permissible errors with water, as stated in the table below.

Flow range	Maximum permissible errors with gas	Maximum permissible errors with water
Q_{min} - 0,2 Q_{max}	± 2,0%	± 1,3%
0,2 Q_{max} - Q_{max}	± 1,0%	± 0,3%

NMi Certin B.V.
Hugo de Grootplein 1
3314 EG Dordrecht
The Netherlands
T +31 78 6332332
certin@nmi.nl
www.nmi.nl

This document is issued under the provision that no liability is accepted and that the applicant shall indemnify third-party liability.

The designation of NMi Certin BV.as Notified Body can be verified at http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/

Parties concerned can lodge objection against this decision, within six weeks after the date of submission, to the general manager of NMi (see www.nmi.nl).

Reproduction of the complete document only is permitted.

รูปที่ 48 Declaration, Number NMI-SO14200852-04, Project number SO14200852, 27 October 2014

DECLARATION

Number NMi-SO14200852-02
Page 2 of 2
Project number SO14200852

Remark

The above mentioned safety margin of 0,1% (CMF025) or 0,2% (other sensor models) is applied due to the fact that only a limited number of meters is used for this declaration. This safety margin may be reduced, when this is justified by extra tests in future.

Dordrecht, 27 October 2014
NMi Certin B.V.

H.S. Schouten
Senior Approvals Expert

NMi Certin B.V.
Hugo de Grootplein 1
3314 EG Dordrecht
The Netherlands
T +31 78 6332332
certin@nmi.nl
www.nmi.nl

This document is issued under the provision that no liability is accepted and that the applicant shall indemnify third-party liability.

The designation of NMi Certin BV.as Notified Body can be verified at http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/

Parties concerned can lodge objection against this decision, within six weeks after the date of submission, to the general manager of NMi (see www.nmi.nl).

Reproduction of the complete document only is permitted.

รูปที่ 48 (-ต่อ-) Declaration, Number NMI-SO14200852-04, Project number SO14200852 , 27 October 2014

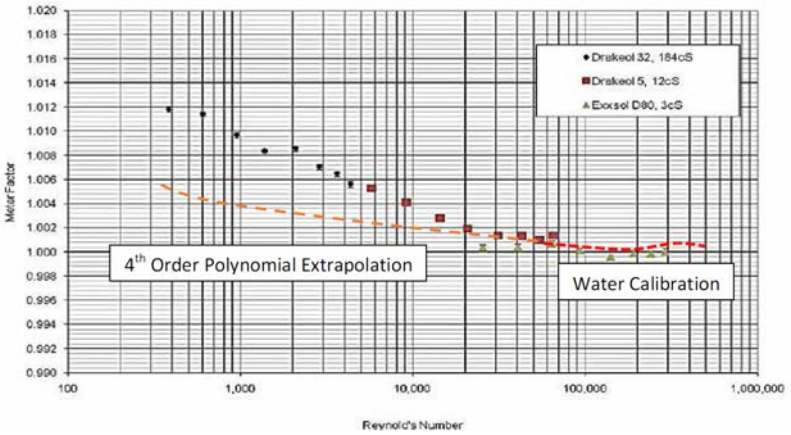
ว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้ ทาง Emerson จึงให้เอกสารเราดังในรูปที่ 48 เป็นเอกสาร Declaration, Number NMI-SO14200852-04, Project number SO14200852 , 27 October 2014 สรุปได้ว่าหากทำการการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) ด้วยน้ำโดยไม่ได้ทำการทดสอบด้วย Gas ที่ต้องการนำไปใช้ ทาง NMI (Netherlands Measurement Institute) ได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบ CNG050 โดยเปรียบเทียบผลการวัดเมื่อใช้ค่า F.C.F. คงที่แล้วพบว่าการทดสอบ CNG050 ด้วยน้ำกับเมื่อทดสอบ CNG050 ด้วย Natural Gas หรือ Nitrogen มีค่าผลต่างกันมากที่สุดไม่เกิน **0.5%**

แต่เนื่องจากมาตรวัดอัตราการไหลแทบทุกชนิดขึ้นอยู่กับ Reynold Number ซึ่งรวมถึงมาตรวัดมวลคอริออริส **ดังนั้นหากเปลี่ยนของไหลตัวกลางสอบเทียบก็ควรดำเนินการสอบเทียบในช่วงอัตราการไหลที่ให้ช่วงค่า Reynold Number ในช่วงใกล้เคียงกัน** ซึ่งเพื่อความสะดวกในการพิจารณาเราพอแบ่งช่วง Reynolds Number ออกเป็น 4 ช่วงโดยประมาณคือ

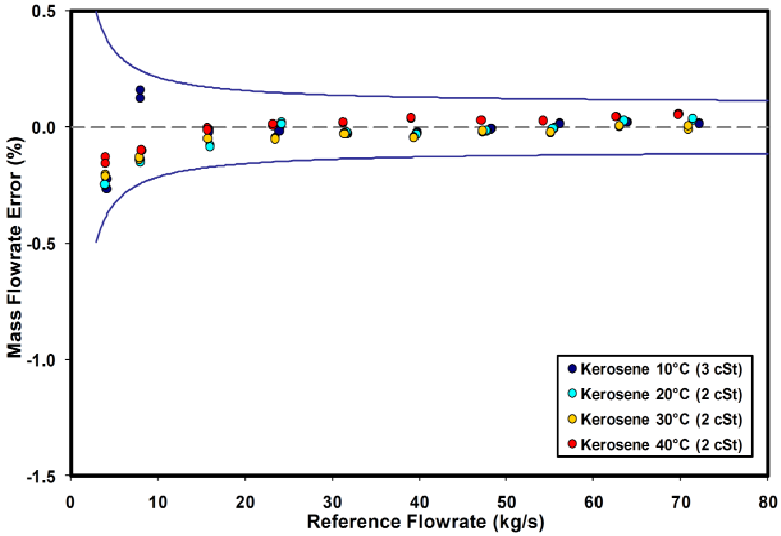
- High Reynolds Number : $\mathbf{Re > 1{,}000{,}000}$ ได้แก่การไหลของก๊าซ เช่น LNG, Butanes เป็นต้น
- Medium Reynolds Number : $\mathbf{10{,}000 \leq Re \leq 1{,}000{,}000}$ ได้แก่การไหลของเหลว เช่น Kerosences, Jet Fuels, Light and Medium Crudes, Diesels เป็นต้น
- Low Reynolds Number (Transition Flow) : $\mathbf{2{,}000 \leq Re \leq 10{,}000}$ ได้แก่การไหลของเหลว เช่น Heavy Oils, Bunker Oils เป็นต้น
- Low Reynolds Number (Laminar Flow) : $\mathbf{Re \leq 2{,}000}$

ตัวอย่างในรูปที่ 49 เปรียบเทียบผลการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสด้วยของเหลวที่มีค่าความหนืดแตกต่างกัน 184 cSt, 12 cSt, 3 cSt และน้ำ (ที่ 20 °C มีค่าประมาณ 1cSt) แต่ในช่วง Reynold Number ต่ำเราจำเป็นต้อง Fit Curve ในกรณีของน้ำด้วยสมการยกกำลัง 4 เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสมรถนะมาตร

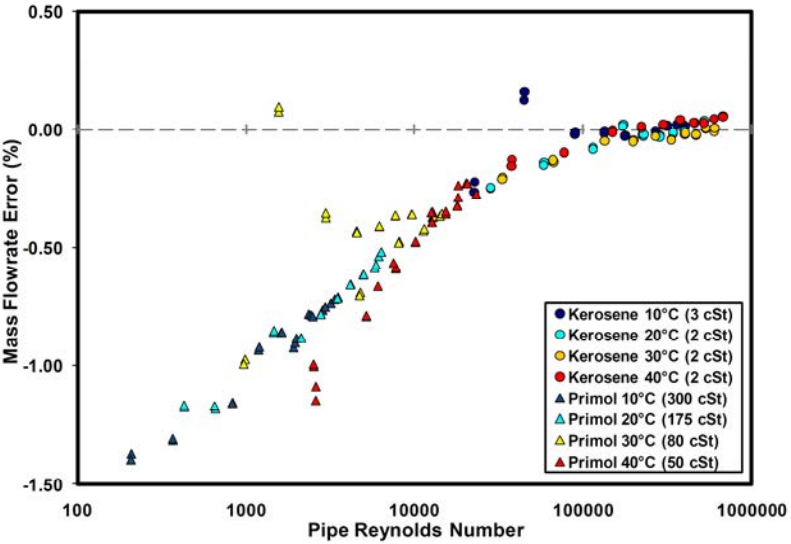
วัดได้ตลอดช่วง Reynold Number ให้ใกล้เคียงกันของเหลวที่มีค่าความหนืดแตกต่างกันเพื่อสามารถตรวจสอบผลต่างการวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสขนาด 4 นิ้วดังกล่าว ด้วยเหตุนี้เองจึงได้ Meter Factor แตกต่างกันเมื่อสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสด้วยของไหลต่างชนิดกันส่วนมากน้อยแตกต่างกันไป แต่ที่แน่นอนแสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดของเหลวมีผลต่อความเที่ยงของมาตรวัดมวลคอริออริส ตัวอย่างเปรียบเทียบเพิ่มเติมดังในรูปที่ 50 แต่เมื่อ NMI กล้าออก Declaration ดังกล่าวว่าการทดสอบ CNG050 ด้วยน้ำกับเมื่อทดสอบ CNG050 ด้วย Natural Gas หรือ Nitrogen มีค่าผลต่างกันมากที่สุดเท่ากับ **0.5%** ด้วยค่า F.C.F. เท่ากัน เราก็ต้องเชื่อจนกว่ามีหลักฐานขัดแย้งและพิสูจน์ได้ว่า NMI Declaration ไม่ถูกต้อง หรือพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า **0.5%** ด้วยค่า F.C.F. เท่ากันตามที่เค้าประกาศ ตอนนี้ยอมไปก่อน เพราะเราไม่รู้และเราไม่มีงบประมาณลงทุนสร้างสาธารณูพื้นฐานสำหรับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายของประเทศได้ ทำใจว่าเรามีขีดความสามารถบริหารงานขั้นสูงด้วยการ Outsourecing อย่าเท่ๆ



รูปที่ 49 ค่า Meter Factor ของการสอบเทียบ ∅ 4" Coriolis Meter

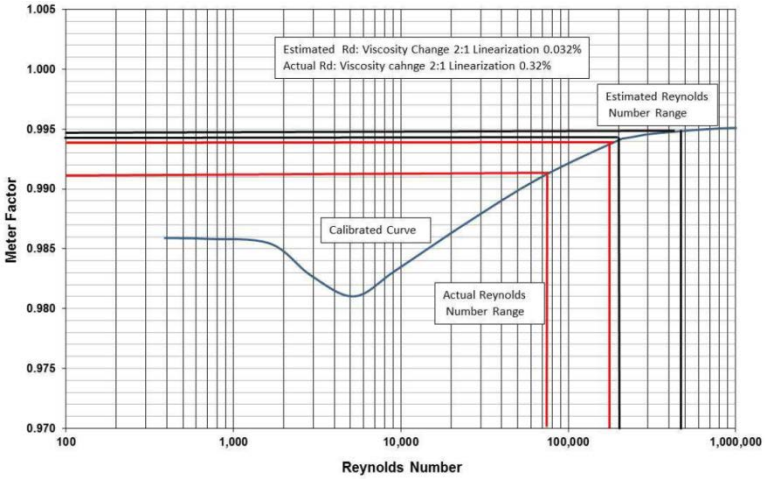


(ก)



(ข)

รูปที่ 50 Reynolds Number มีผลต่อผลผิดอัตราการไหลมวลของมาตรวัดมวลคอริออริสเมื่อใช้กับของเหลวที่มีค่าความหนืดต่างกัน



รูปที่ 51 Reynolds Number มีผลต่อ Meter Factor ของมาตรวัดมวลคอริออริสเมื่อสอบเทียบที่ช่วง Reynolds Number หนึ่งแต่กลับไปใช้งานจริงอีกช่วง Reynolds Number หนึ่งซึ่งจะได้ Meter Factor ต่างกัน

สู่...ปลายทาง (ณ เวลานี้ 2560)

เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รับมาใหม่จากเดิมที่เข้าใจว่าผล MPE ของมาตรวัดมวลคอริออริสของ Micro Motion ซึ่งทำการทดสอบด้วยน้ำเทียบกับทดสอบด้วยก๊าซจะต่างกัน 5 เท่านั้นในรุ่น CMF ต่างๆจึงตกไปไม่สามารถใช้กับรุ่น CNG050S อีกประเด็นคือมาตรวัด CNG050S ออกแบบมาเพื่อสำหรับใช้การวัดแบบ Batch สำหรับตู้จ่าย CNG ด้วยเหตุนี้ชั่งตวงวัดเห็นควรปรับเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่แนวปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริส CNG050S ที่ใช้เป็น **Master Flowmeter** กำหนดใหม่เป็น

a. ใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบ

b. ทดสอบที่อัตราการไหลสูงกว่า Q_t = 1.8 kg/min สำหรับใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบ

$$Q_t = \frac{\text{Zero Stability}}{\left(\frac{\text{Accuracy}}{100}\right)} = \frac{0.009\,\text{kg/min}}{\left(\frac{0.5}{100}\right)} = 1.8\ \text{kg/min}$$

c. อัตราการไหลมวลทดสอบ 38.6, 3.86, (8), 10, 15, (20), (38.6) kg/min ตัวเลขภายในวงเล็บถ้าทางบริษัทฯพร้อมก็ควรทำ เนื่องจากอัตราการไหลมวลที่ตู้จ่าย CNG มีค่าสูงสุดในทางปฏิบัติอยู่ไม่เกิน 10 kg/min

d. MPE ≤ 0.25% (0.5/2 = 0.25)

e. Repeatability ≤ 0.125% (0.25/2 = 0.125)

f. Max. Peak to Peak spread ≤ 0.125% (AGA Report No. 11 ดังในรูปที่ 34)

g. Linearity ≤ 0.125% (0.25/2 = 0.125)

h. Batch size > scale resolution/0.00025 (Proving Coriolis Flowmerters, October ,1998 , a target scale resolution uncertainty of ±0.025%)

i. การคำนวณหา MPE เท่ากับ

$$\text{MPE} = \sqrt{\text{Error}^2 + \text{Repeatability}^2 + \text{Linearity}^2 + \text{Hysteresis}^2}$$

j. ในการปรับแก้ไขผลการวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส ห้ามทำการปรับแก้ไขค่า F.C.F. (ค่า F.C.F. ต้องตรงกับ Nameplate ที่ติดอยู่บน CNG 050 เสมอ) ให้ไปปรับที่ค่า Mass Factor เท่านั้น

k. ค่า Drive Gain ของ CNG050S กำหนดให้ Average Drive Gain มีค่าเท่ากับ 2% อาจมีค่าได้ถึง 4% ตามคำแนะนำจาก Emerson ตามรูปที่ 52 นอกจากนี้ยังได้รับข้อมูลเพิ่มเติมอีกว่า ในกรณี Legacy Transmitters ค่าพลังงานสูงสุดที่สามารถส่งไปกระตุ้นให้ Flow Tubes สั่นอยู่ที่ 14 Volts ในขณะที่ Transmitter รุ่นใหม่ที่เรียกว่า MVD Transmitters นั้นจะคิดเป็นจำนวน % จะให้ค่าพลังงานสูงสุดเพื่อกระตุ้น Flow Tubes ให้สั่นที่ความถี่ธรรมชาติ (Resonance Frequency) อยู่ที่ 100.45% ดังนั้นในภาพรวมสำหรับมาตรวัด

มวลคอริออริสยี่ห้อ Emerson พบว่าภายใต้ของไหล Single Phase ที่อยู่ภายในมาตรวัดมวลคอริออริสโดยปกติแล้วจะใช้พลังงานไปกระตุ้น Flow Tubes อยู่ในค่าช่วง 2-5 Volts สำหรับ Legacy Transmitters และค่าน้อยกว่า 25% สำหรับ MVD Transmitters

In general drive gain for all MMI Coriolis sensors is below 15% under normal operation. Most are lower than this, but this is a broad number that can be applied. For the specific sensors you asked about, here are average drive gain values for those sensors:

CNG050 Average Drive Gain = 2%

CMF050 Average Drive Gain = 13%

CMF100 Average Drive Gain = 5%

Values will vary some between sensors, and operating conditions, but these are the expected values during normal operation (when the pipe is full of liquid or gas only). Values can increase with changes in process conditions (elevated temperature, or pressure), but values close to what I have listed are what I would expect when testing in a lab.

รูปที่ 52 ข้อมูลทาง E-mail

แต่ภายหลังจากการกำหนดแนวทางปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดมวลคอริออริสจากข้อ a. ถึง k. แล้วก็ยังมีปัญหา เช่น

บริษัทฯ ขอทดสอบที่อัตราการไหลที่สูงกว่า 15 Kg/min ขึ้นไป โดยจำเป็นจะต้องใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 500 Kg (d=0.050 kg) และตามสูตรข้อ h จะใช้ Batch Size อย่างน้อย = 0.050 Kg / 0.00025 = 200 Kg และพบว่าค่า Drive Gain ไม่เกิน 10% อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ทางเราได้ชี้แจงว่า Batch Size เป็นสูตรการคำนวณตามเอกสาร “Proving Coriolis Flowmerters, October ,1998” โดย Micro Motion เพื่อสร้างความมั่นใจว่าเครื่องชั่งที่ใช้ต้องมีความละเอียดเพียงพอและประกันว่าค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความละเอียดของเครื่องชั่งไม่ก่อให้เกิดค่าความไม่แน่นอนสูงกว่า ±0.025% (a target scale resolution uncertainty of ±0.025%) ซึ่งเป็นประเด็นเรื่องการควบคุมค่า

Uncertainty ของการสอบเทียบในส่วนของเครื่องชั่งที่เลือกใช้ไม่ใช่เรื่องของ Drive Gain ดังนั้นหาก FlowLab ต้องการใช้เครื่องชั่งพิกัดกำลัง 60 kg มีค่า d = 1 กรัม สำหรับอัตราการไหลทดสอบ CNG050 ต่ำกว่า 15 Kg/min กับเครื่องชั่งพิกัดกำลัง 500 kg มีค่า d = 50 กรัมสำหรับอัตราการไหลทดสอบ CNG050 15 Kg/min ขึ้นไป จะส่งผลให้การ Configuration ประจำ CNG050 ในส่วนของค่า Freq Factor (Hz) (MAX. $\leq$ 10,000) = 1000 และ Rate Factor (kg/min) = 100 ใช้ไม่ได้ในทันทีเนื่องจากเครื่องชั่งพิกัดกำลัง 500 kg มีค่า d = 50 กรัม มีค่าหยาบเกินไปเพื่อหาผลผิดที่อัตราการไหลต่อความถี่ที่ 1.666666667 (g/sec)/Hz เรื่องมันก็วกกลับมาที่เดิมอีกแล้ว...

การติดตามผลการดำเนินการ ทางบริษัทฯแจ้งว่าเมื่อกลับไปดำเนินการตามที่ตกลงไว้มีดังตัวอย่างในรูปที่ 53 ส่วนจะใช้เครื่องชั่งกี่เครื่องลืมถามไป สังเกตุพบว่าที่อัตราการไหลมวล 20 และ 38.6 kg/min ให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด -0.308% และ 0.5% ตามลำดับซึ่งมีค่าเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่ยอมให้คือ 0.25% เราจึงลงความเห็นว่าตรวจ CNG050S ที่อัตราการไหล 3.8, 8, 10, และ 15 kg/min ด้วยน้ำเพราะใช้งานจริงไม่เกิน 10 kg/min และน่าจะสอดคล้องกับตู้จ่าย CNG ใน USA ที่ใช้ CNG050S วัดที่ 2.2-33 lb/min (0.998 – 14.97kg/min) ดังในรูปที่ 54 และนี้คือขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการฯ บริษัทฯ ที่ทำได้และน่าจะคุ้มทุนในการทำธุรกิจ เราต้องยอมรับ

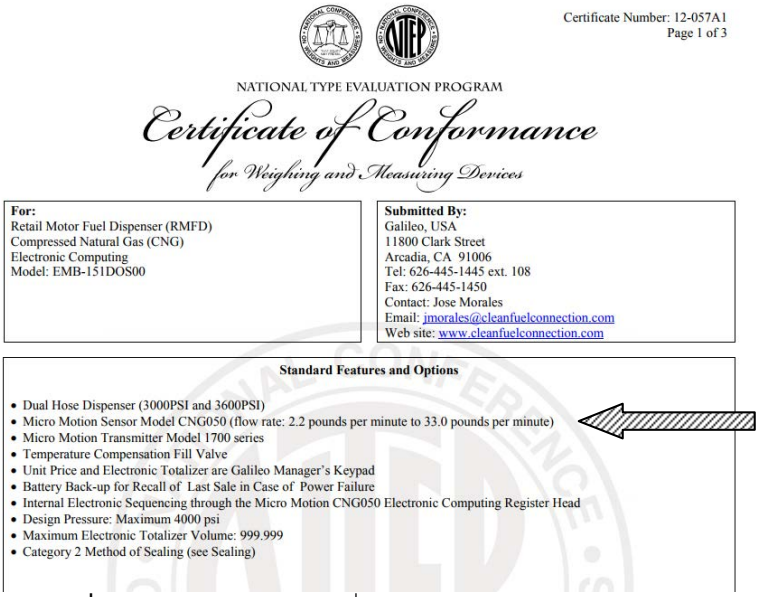
MASTER CNG METER INTERNAL TEST SUMMARY

Customer : Scan Inter
Make : Micro Motion
Model : CNG050
Serial No. : 0806278
Test date : 3-Jul-2017

MPE : 0.25
%Error : 0.125
%Repeat : 0.125
%Linearity : 0.125
%Hysterisis : 0.125

No.	Flowrate (kg/min)	Drive Gain (%)	Pressure (Bar)			Pressure (Psi)			Press Pump (Kg/cm²)	CV (%)	Error (%)	Repeat (%)
			Inlet	Outlet	Drop	Inlet	Outlet	Drop				
1	3.86	0.55	1.45	1.40	0.05	21.03	20.31	0.73	1.48	22	0.123	0.013
2	8.0	0.55	1.40	1.30	0.10	20.31	18.86	1.45	1.47	36	0.101	0.007
3	10.0	0.55	1.45	1.26	0.19	21.03	18.28	2.76	1.49	41	0.099	0.021
4	15.0	0.57	1.40	1.10	0.30	20.31	15.95	4.35	1.50	55	-0.060	0.015
5	20.0	0.57	1.40	0.90	0.50	20.31	13.05	7.25	1.53	100	-0.308	0.016
6	38.6	0.57	3.25	1.60	1.65	47.14	24.21	23.94	3.70	100	0.500	0.034

รูปที่ 53 ตัวอย่างผลการสอบเทียบ



Certificate Number: 12-057A1
Page 1 of 3

NATIONAL TYPE EVALUATION PROGRAM

Certificate of Conformance
for Weighing and Measuring Devices

For:
Retail Motor Fuel Dispenser (RMFD)
Compressed Natural Gas (CNG)
Electronic Computing
Model: EMB-151DOS00

Submitted By:
Galileo, USA
11800 Clark Street
Arcadia, CA 91006
Tel: 626-445-1445 ext. 108
Fax: 626-445-1450
Contact: Jose Morales
Email: jmorales@cleanfuelconnection.com
Web site: www.cleanfuelconnection.com

Standard Features and Options

- Dual Hose Dispenser (3000PSI and 3600PSI)
- Micro Motion Sensor Model CNG050 (flow rate: 2.2 pounds per minute to 33.0 pounds per minute)
- Micro Motion Transmitter Model 1700 series
- Temperature Compensation Fill Valve
- Unit Price and Electronic Totalizer are Galileo Manager's Keypad
- Battery Back-up for Recall of Last Sale in Case of Power Failure
- Internal Electronic Sequencing through the Micro Motion CNG050 Electronic Computing Register Head
- Design Pressure: Maximum 4000 psi
- Maximum Electronic Totalizer Volume: 999.999
- Category 2 Method of Sealing (see Sealing)

รูปที่ 54 ตัวอย่างตู้จ่าย CNG ที่ใช้มาตรวัด CNG050 ใน USA

สำหรับมาตรวัดมวลคอริออริสหากทดสอบด้วยน้ำในโหมด Liquid Flow Rate ก่อให้เกิดความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ของมาตรวัดมวลคอริออริส ประมาณ 14.5 psig (1 barg) ที่ Normal Flow Rate จากข้อมูลของบริษัทฯ พบว่าที่อัตราการไหลมวล 38 kg/min ใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบซึ่งถือว่าเทียบเท่ากับการทดสอบโดยใช้ Gas ด้วยอัตราการไหล 100 kg/min พบว่ามีความดันตกคร่อมของ CNG050 ประมาณ 24 psig (1.65 barg) ดังนั้นเป็นสิ่งยืนยันว่าควรให้ความดันทางเข้ามาตรวัดมีค่าไม่น้อยกว่า 40 psig เพราะความดันตกคร่อมของมาตรวัดมวลคอริออริส CNG050 ประมาณ 14.5 psig จริง ส่งผลให้ความดันด้านทางออกจะเหลือประมาณ 25.5 psig (1.76 barg) ซึ่งสอดคล้องกับมาตรวัดปริมาตรของเหลวในระบบ LACT (Lease Automatic Custody Transfer) ที่กำหนดและออกแบบให้ความดันทางออกของมาตรวัดปริมาตรของเหลว เช่น พวก

PD Meter มีค่าอย่างน้อย **20 psig หรือ 20 psig + Reid Vapor Pressure (RVP)** (TVP = True vapor pressure, RVP = Reid vapor pressure) เลือกค่าที่มากกว่า

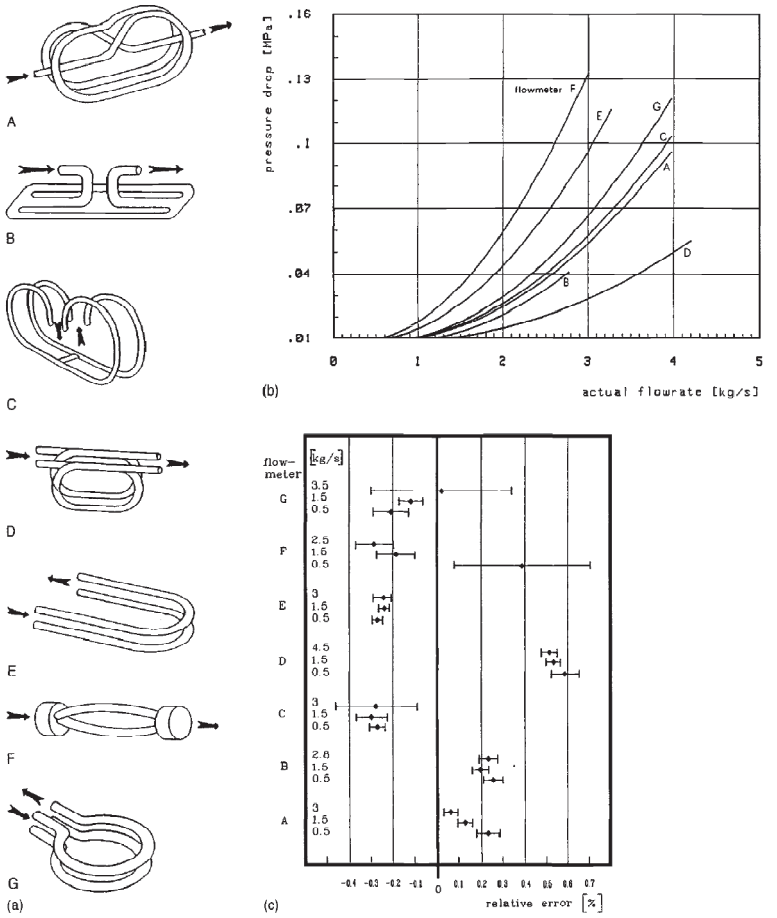


Figure 17.10. Cascetta et al. (1992) plot of data for a selection of commercial flowmeters in a 25 mm test line (reproduced with permission from the Institute of Measurement and Control): **(a)** Flow paths of the meters A–G; **(b)** Pressure loss; **(c)** Accuracy and repeatability of the meters.

รูปที่ 55 ความดันตกคร่อมมาตรวัดมวลคอริออริสที่มีรูปแบบท่อวัดแตกต่างกัน

จากหนังสือ Flow Measurement Handbook, ROGER C. BAKER, หน้า 411, 17.2.7 PRESSURE LOSS, Cascetta et al. (1992) ให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อมมาตรวัดมวลคออริออริสสำหรับรูปแบบของท่อวัดในแบบต่างๆ ดังในรูปที่ 55. อ่านต่อเองนะครับ

หากสนใจดูเพิ่มเติมในเอกสาร Product Data Sheet, PS-00374, Rev AE, July 2017, Micro Motion® ELITE® Coriolis Flow and Density Meters

มาตรวัดปริมาตรของเหลว (แบบมาตรา)
(Master Flowmeter)

อะไรคือมาตรวัดแบบมาตรา หรือ Master Flow Meter เป็นคำถามที่เกิดขึ้นมาทุกครั้งที่มีปัญหา เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำมาตรวัดปริมาตรของเหลวมาใช้ควบคุมการทำงานในกระบวนการผลิต ขนส่ง หรือใช้เพื่อการซื้อขายผลิตภัณฑ์ของเหลว ความต้องการหรือบีบบังคับกลายๆผ่านระบบมาตราสากลหรือระหว่างประเทศ เช่น มาตรฐาน ISO ของคู่ค้าหรือแม้แต่จากข้อปฏิบัติตามกฎหมายของภาครัฐ การมุ่งหาแบบมาตราเพื่อตอบสนองความต้องการและแก้ไขปัญหาชีวิตของผู้ครอบครองมาตรวัดปริมาตรของเหลวจึงเกิดอาชีพที่เค้าเรียกว่า Third Party หรือคนกลาง หรือผู้ให้บริการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งดูเหมือนอยู่ในสภาพการณ์แข่งขันที่รุนแรงดังกับ “RED OCEAN” มีแต่ปลาฉลามในท้องทะเลเดือด ดังนั้นการลดต้นทุนการทำงาน ความต้องการทำงานที่รวดเร็วได้ปริมาณงานมาก (แต่คุณภาพอาจต้องว่ากล่าวกันต่อไป) จึงพยายามมุ่งหาแบบมาตราที่เรียกว่า Master Flow Meter มาใช้งานไม่ว่าจะจัดหามาใช้เอง เช่าหรือยืมจากบริษัทฯ ที่ให้เช่าหรือยืมก็ว่ากันไป ปัญหาของผู้รับบริการที่ขาดบุคคลากรที่จะกำกับดูแลหรือเท่าทันThird Party หรือคนกลาง หรือผู้ให้บริการสอบเทียบฯ ก็ยังอยู่ในสภาพที่ต้องมีคำถาม ซึ่งนั้นแหละไม่ต้องหันมาถามภาครัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแลเลยเพราะดูจะเหมือนอาการทรุดหนักน่าเป็นห่วงเสียยิ่งกว่า เพราะขาดผู้บริหารที่เข้าใจงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ที่สามารถมองงานได้ทะลุปรุโปร่ง แต่อย่างไรก็ตามยังนับว่าโชคดีที่งานด้านนี้ยังเกี่ยวข้องกับกลุ่มสังคมคนที่มีความรู้พอที่จะเรียนรู้และมีขีดความสามารถป้องกันและรักษาผลประโยชน์ของตนเองได้อย่างดีกว่าเมื่อเทียบกับสังคมอื่นๆที่ใช้เครื่อง

ชั่งตวงวัดและสินค้าหีบห่อ ซึ่งน่าเป็นห่วงและมีอาการร่อแร่ เช่น ชาวไร่ ชาวนา ชาวสวน เป็นต้น

เรามาพิจารณามาตรวัดแบบมาตราหรือ Master Flow Meter ในที่นี้เราตีกรอบให้แคบๆเพื่อป้องกันความสับสน เอาเป็นว่าเราจะพูดยกตัวอย่างเฉพาะ PD Master Flow Meter ดีมั๊ยเมื่อเข้าใจแล้วค่อยนำไปปรับใช้กับมาตรวัดฯ ชนิด Turbine หรือ Coriolis Mass Flow Meter กันต่อไป เอาละเรามาพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลักๆ คือ กรณีแรก มาตรวัดแบบมาตราที่ประจำอยู่ในระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่ติดตรึงอยู่กับที่ กับกรณีหลังเป็นมาตรวัดแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unite) เราจะแยกแยะเพียง 2 กรณีนี้เท่านั้นเพื่อป้องกันความสับสน แต่หากในอนาคตมีกรณีที่เพิ่มเติมแตกหน่อออกมาค่อยว่ากันอีกที ส่วนใครจะมีวิจารณ์หรือพิจารณากันอีกทีก็ขอให้เป็นคนรุ่นต่อไปครับ

อะไรคือระบบการวัดปริมาตรของเหลว อะไรคือมาตรวัดปริมาตรของเหลว เรามาดูกันว่าจากกฎกระทรวงฯ (ฉบับเทคนิค) ภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ให้นิยามไว้ว่า

“**ระบบการวัดปริมาตรของเหลว**” หมายความว่า ระบบที่ประกอบด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลว อุปกรณ์ควบ และอุปกรณ์เสริม

“**อุปกรณ์ควบ (Ancillary Device)**” หมายความว่า อุปกรณ์ใช้งานพิเศษเฉพาะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของการวัด เช่น ส่วนตั้งศูนย์ ส่วนพิมพ์ค่า ส่วนแสดงราคา ส่วนแสดงผลรวม ส่วนแปลงค่า หรือ ส่วนตั้งปริมาณจ่ายล่วงหน้า

“**อุปกรณ์เสริม (Additional Device)**” หมายความว่า ส่วนหรืออุปกรณ์ที่นอกเหนือจากอุปกรณ์ควบที่จำเป็นต้องใช้เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในผลการวัดอย่างถูกต้อง หรือมุ่งใช้เพื่อช่วยให้การดำเนินการในการวัดสะดวกยิ่งขึ้น หรือเป็นอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัด เช่น เครื่องกำจัดไอ ไส้กรอง ปั๊ม วาล์ว หรือท่อ

มาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องมีอุปกรณ์ควบและอุปกรณ์เสริมที่มีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศผ่านเข้าไปในมาตรวัดขณะทำการวัด

(2) วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับหรือวิธีการป้องกันการไหลย้อนกลับใดๆ ไม่ให้ของเหลวไหลย้อนกลับสู่มาตรวัดอีก

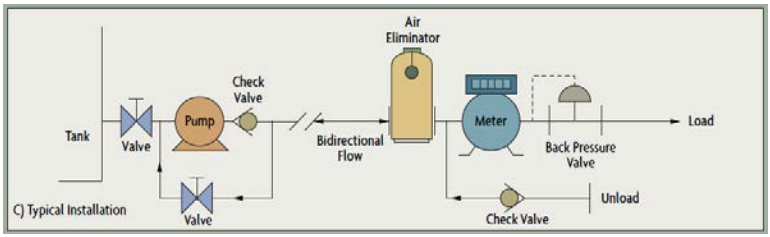
(3) สำหรับมาตรวัดปริมาตรน้ำมันหล่อลื่น เมื่อระดับของแหล่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่นลดระดับต่ำลงจนมีผลต่อความแม่นยำของการวัด มาตรวัดต้องมีอุปกรณ์ที่หยุดการทำงานได้โดยอัตโนมัติ หรือมีสัญญาณเตือนที่เห็นได้ชัดเจน

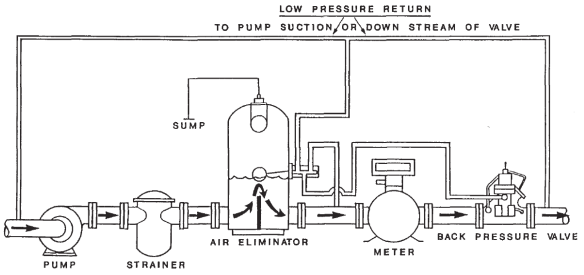
(4) สำหรับมาตรวัดมวลโดยตรง (Direct Mass Flowmeter) หากต้องการแสดงค่าเป็นปริมาตร มาตรวัดมวลโดยตรงต้องมีวิธีการอัตโนมัติที่สามารถวัดค่าและแก้ไขค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำการวัด เมื่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นมีผลต่อความแม่นยำของการวัด

ซึ่งดูๆไปก็คือมาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิด Positive Displacement Flow Meter; PD Meter ต้องมีองค์ประกอบดังรูปที่ 1 ข้างล่างนี้แหละ (ให้ดู 2 แบบเพื่อความมันครับ) อย่าลืมนะครับเราใช้คำว่า “**ต้องมี**” หรือภาษาประกิตเค้าใช้คำว่า “**shall**”

กรณีมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่เป็นมาตรวัดแบบมาตราประเภทที่ติดตรึงอยู่กับที่จึงต้องมีองค์ประกอบตามรูปที่ 1 เมื่อนำมาตรวัดแบบมาตราส่งไปสอบเทียบ (Calibration) คือจะถอดไปเฉพาะตัวมาตรวัดแบบมาตราตัวเดียวโดดๆไปวางบนส่วนที่เค้าเรียกว่า “Test Bench” เมื่อทดสอบแล้วผลการทดสอบมาตรวัดแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสูงสุดต้องไม่เกิน 1/3 ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องการทดสอบ เช่น มาตรวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ใช้ในการซื้อขายสินค้าและบริการจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 นั้นหมายถึงเฉพาะตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวตัวโดดๆ (Stand Alone) จะมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 0.3% ของปริมาตรทดสอบ แต่ถ้าหากนำมาตรวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจัด

อยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 ไปติดตั้งในระบบติดตรึงอยู่กับที่ (System) เรายอมให้มาตรวัดฯดังกล่าวมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดได้ไม่เกิน 0.5% ของปริมาตรทดสอบ นั้นหมายถึงเรายอมให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่เพิ่มขึ้นมา 0.2% ของปริมาตรทดสอบ ซึ่งอาจเป็นผลกระทบขององค์ประกอบของระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่มาตรวัดปริมาตรของถูกไปติดตั้งอยู่ คิดตามผมมาเรื่อยๆน่ะครับ





รูปที่ 1 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบการวัดปริมาตรของเหลว

ดังนั้นมาตรวัดแบบมาตราหรือ Master Meter จึงต้องอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับในทุกกรณีแบบตัวเดียวโดดๆ (Stand Alone) คือ 0.1% ของปริมาตรทดสอบ (0.3/3 = 0.1% ของปริมาตรทดสอบ) บวกกับเงื่อนไขอื่นๆ ที่ละไว้ก่อน จากนั้นเมื่อผ่านการสอบเทียบเราก็จะยกกลับมาติดตั้งในระบบการวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา ผลที่ตามมาในชีวิตความเป็นจริงพบว่ามาตรวัดแบบมาตราดังกล่าวจะมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสูงขึ้นมากกว่า 0.1% ของปริมาตรทดสอบ แต่ไม่น่าจะถึง 0.167% ของปริมาตรทดสอบ (0.5/3 = 0.166% ของปริมาตรทดสอบ) จึงสามารถรองรับเพื่อใช้ในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตร

ของเหลวที่ติดตั้งในระบบเช่นบนรถยนต์จ่ายน้ำมันให้กับเครื่องบิน (ชั้นความเที่ยง 0.5) ก็ขับรถยนต์มาเทียบท่าระบบการวัดปริมาตรของมาตรวัดแบบมาตราได้ตรวจสอบความเที่ยงของมาตรวัดประจำรถยนต์ฯเทียบกับมาตรวัดแบบมาตราเป็นอันว่าจบพิธีกรรรมไปหนึ่งกรณี

กรณีที่สอง เป็นมาตรวัดแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unite) เรามาตั้งคำถามว่ามันต้องมีทุกสิ่งอันตามในรูปที่ 1 ด้วยหรือไม่ เช่นควรมีปั๊มหรือไม่ ตอบว่าไม่จำเป็นเพราะในหลักการสอบเทียบ (Calibration) หรือตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) เราจะติดตั้งมาตรวัดแบบมาตราต่อด้านทางออกของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือแบบมาตราต้องติดตั้งด้าน “Downstream” แต่เราต้องมีวาล์วเพื่อตัดระบบการวัดปริมาตรของเหลวของมาตรวัดแบบมาตราก่อนและหลังมาตรวัดแบบมาตรา ประเด็นต่อมาเรามาพิจารณาว่าควรมีวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวที่ผ่านการวัดปริมาตรไปแล้วไหลย้อนกลับเข้ามาตรวัดอีก ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เช่น หากระบบปลายทางของชุดมาตรวัดแบบมาตรามี Check Valve อยู่แล้วหรือไม่ อีกทั้งต้องไม่ลืมประเด็นเรื่อง Water Hammer ในระบบท่อนะครับ ถ้าเกิด Water Hammer ในระหว่างการใช้งานมาตรวัดแบบมาตราหากเรามี Check Valve เรื่องใหญ่จะกลายเป็นเรื่องเล็ก เรื่องเล็กจะกลายเป็นไม่มีเรื่องน่ะครับ



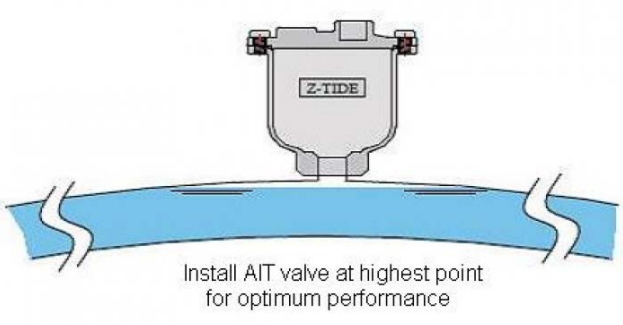
รูปที่ 2 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบการวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile

แล้วตัวกรองหรือ Strainer ละ ถ้าหากผู้ครอบครองมาตรวัดแบบมาตรา ต้องการรักษาหรือป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับมาตรวัดแบบมาตรา มันก็ควรมี Strainer ก่อนทางเข้ามาตรวัดแบบมาตราใช่หรือเปล่า เช่นเดียวกับขี่มอเตอร์ไซด์แล้วสวมหมวกกันน๊อค มันดีกว่าม๊ยละ เพราะจะมากจะน้อยยังช่วยกรองขี้ลวดเชื่อมหรือเม็ดกรวดทรายหรือเศษชิ้นเศษโลหะในระบบท่อไม่ให้ไหลมากระแทกหรือเข้าไปค้างในระบบซีลหรือชิ้นส่วนเคลื่อนไหวต่างๆภายในตัวมาตรวัดแบบมาตรา

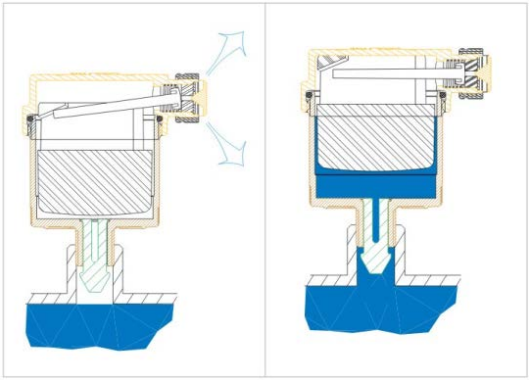


รูปที่ 3 มาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile ที่ตัด Strainer ออกและไม่มีเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator)

สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator) ก่อนทางเข้ามาตรวัดฯ ซึ่งทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศที่ปนเข้ามาในระบบ เช่น เกิดการรั่วของอุปกรณ์จนการไหลของเหลวในระบบท่อไปดูดอากาศเข้ามาในระบบผ่านรอยรั่วดังกล่าว หรืออาจเกิดจากการปิดเปิดวาล์วแล้วความดันหลังวาล์วมีค่าต่ำกว่าความดันไอของของเหลวนั้นๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอลอยปะปนไปกับของเหลว เป็นต้น ทั้งนี้อย่าสับสนระหว่าง Air/Gas Eliminator กับ Automatic Air Vent Valve เพราะ Automatic Air Vent Valve มีวัตถุประสงค์เพื่อไล่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อซึ่งโดยปกติจะติดตั้งในตำแหน่งสูงสุดของช่วงแนวท่อที่ต้องการระบายอากาศออกไปดังในรูปที่ 4 แต่โดยทั่วไปแล้ว Automatic Air Vent Valve จะมีหลักการทำงานคล้ายกับ Air/Gas Eliminator เสียเป็นส่วนใหญ่ดังในรูปที่ 5



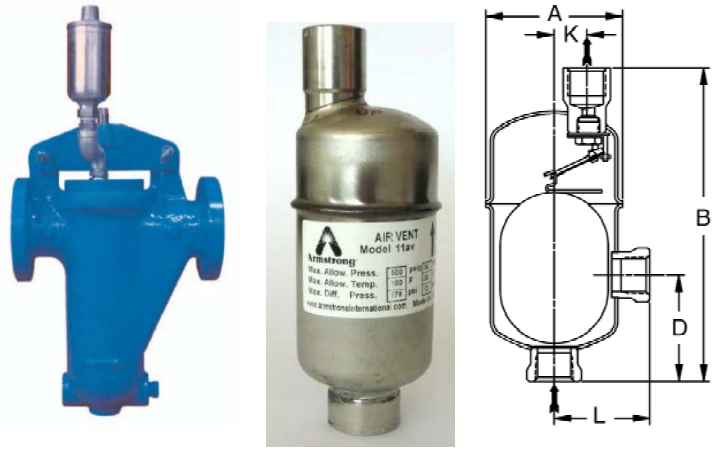
รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้ง Automatic Air Vent Valve ในระบบท่อ





รูปที่ 5 ตัวอย่างหลักการทำงานและลักษณะ Automatic Air Vent Valve

ในรูปที่ 6 เป็นการประยุกต์ใช้งานร่วมกันระหว่าง Strainer กับ Automatic Air Vent Valve เพื่อทดแทน Air/Gas Eliminator ซึ่งก็พอรับได้ครับ แต่ในขณะปฏิบัติงานหากมีเสียงลมออกมากหรืออาจมีของเหลวออกมา ให้ยกเลิกรอบการสอบเทียบหรือรอบการตรวจสอบให้คำรับรองรอบนั้นไปเพราะโดยปกติเราต้องติดตั้งมาตรวัดแบบมาตราด้าน Downstream ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่เราต้องการทดสอบหรือตรวจสอบทุกครั้ง ด้วยเหตุผลที่ว่าปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านการวัดด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวแล้วต้องไหลผ่านมาตรวัดแบบมาตรา 100% เต็ม ต้องไม่ถูกเบี่ยงเบนทิศทางการไหลแยกออกไปอย่างเด็ดขาด หรือพูดให้ง่ายๆ คือของเหลวที่ผ่านการวัดจากมาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องส่งออกไปยังผู้ซื้อหรือผู้ขายในทิศทางเดียวเท่านั้นต้องไม่มีท่อลัด (Bypass Pipe) นี้นูนนั้น (ฯลฯ) ให้วุ่นวายใจ เรื่องนี้จึงต้องระมัดระวังขณะใช้งานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 6 Basket Strainer พร้อมติดตั้ง Automatic Air Vent Valve

ในส่วนของวาล์วควบคุมการไหล (Flow Control Valve) ด้านทางออกมาตรวัดก็ทำหน้าที่รักษาความดันด้านทางออกจากมาตรวัดแบบมาตราไม่ให้มีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยภาพรวมอุปกรณ์ทั้ง 2 มีบทบาทที่เหมือนกันคือสร้างความมั่นใจให้สูงสุดว่าระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่

มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำงานอยู่นั้นทำหน้าที่วัดของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phase Flow) ตามหน้าที่ที่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำงาน ไม่ใช่เป็นการวัดที่มี 2 สถานะ (2-Phase Flow) คือของเหลวกับอากาศหรือไอของของเหลวที่ทำการวัดเมื่อรู้อย่างนี้แล้วเราควรมีอุปกรณ์ที่กล่าวมาประจำมาตรวัดแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unit) ต่อไปอีกหรือเปล่า ? สิ่งดีๆ ก็ทำไปเถอะครับ แต่อย่างไรก็ตามหากมีเหตุผลความจำเป็นพิเศษในการใช้งานค่อยมาคุยกันหรือแยกแยะเหตุแยกแยะผลเป็นรายกรณีไปเพื่อความเหมาะสมและเป็นประโยชน์สูงสุดหรือได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับทุกฝ่าย ส่วนปัญหาว่าจะมีน้ำหนักมากขึ้นคนยกขึ้น-ลงไม่ไหว เราก็ทำเป็นรถพ่วงให้มีขาหยั่งปรับระดับได้ครับหรือราคามันแพงเกินไปกว่าจะถึงจุดคุ้มทุนคงอีกนาน เราก็หันมาทำงานที่มีคุณภาพอย่าไปแข่งขันราคาตัดหน้ากันให้มันดุเดือดซิครับ และ ฯลฯ นานาจิตตัง จริงๆเพราะแต่ละคนยืนอยู่ในมุมของตัวเองแต่อย่าลืมครับทุกคนมีหน้าที่ที่ต้องปฏิบัติเพื่อไม่ให้สังคมและประเทศวุ่นวาย ข้าราชการข้าของแผ่นดินก็มีหน้าที่ต้องปฏิบัติเช่นกัน หากไม่ยอมก็โกรธกันไม่ได้นะครับท่าน

มาถึงจุดสำคัญ นั้นคือไม่ว่ากรณีมาตรวัดแบบมาตราที่ประจำอยู่ในระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่ติดตรึงอยู่กับที่หรือเป็นมาตรวัดแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unit) ทุกกรณีต้องติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดแบบมาตรา เนื่องจากในการคำนวณผลการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเมื่อทำการวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเราต้องปรับค่าปริมาตรของเหลวที่วัดได้ด้วยมาตรวัดแบบมาตราที่สภาวะขณะทำการวัดที่มาตรวัดแบบมาตราไปยังปริมาตรของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C ความดันบรรยากาศ ไม่ใช่ไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดแบบมาตราแล้วไปใช้ค่าอุณหภูมิและความดันในตำแหน่งอื่นมาใช้ในการคำนวณเพื่อปรับปริมาตรที่วัดได้ที่สภาวะหนึ่งโดยมาตรวัดแบบมาตราไปยังปริมาตรของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C ความดันบรรยากาศ ไอ้อย่างนี้มันมึนครับ มึนจริงๆครับกับสังคมผู้มีความรู้สูงๆๆๆ ครับ

สิ่งที่เข้ามาใหม่เรายังพบว่าการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวเทียบกับถังตวงแบบมาตรามีผู้รู้บางท่านได้รับการฝึกอบรมมาว่าในการหาผลผิดมาตรวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าวให้ใช้ค่า C_{pl} = 1.0000 มันส์ละทีนี้เพราะบอกว่าจากการฝึกอบรม APLMF เอกสารเค้าไม่คิดกัน แต่อย่าลืมว่าเอกสาร API เค้าคิดหากของเหลวเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวปิโตรเลียม แล้วถามต่อไปว่าสังคมโลกเค้ายอมรับ APLMF มากกว่า API หรือไม่ สถาบันใดมีผลงานและองค์ความรู้เป็นของตนเองอย่างยาวนาน เรื่องนี้จึงสอนให้รู้ว่า ต้องรู้จริง เข้าใจสังคมโลก และเข้าใจที่ไปที่มา ในการทำงานทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายโดยปกติแล้วกำหนดให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเยอะมากอยู่แล้ว แต่ในทางอุตสาหกรรมเขามีมาตรฐานการทำธุรกิจสูงกว่ากันเยอะมาก เวลาคิดคำนวณค่าแก้ไขปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิและความดันเค้าใช้กัน 20 ทศนิยม เขาต้องการค่า Meter Factor กันในระดับ 100 จุดทศนิยม (ประชด น่ะ) แต่เราชั่งตวงวัดเข้ามาในชีวิตเค้า เราบอกเค้าว่าชีวิตเราต้องการทศนิยมเพียง 2 ตำแหน่งไม่ดูประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม มาตรฐานการประกอบธุรกิจของเค้าเลยพับผ้า !! บทเรียนนี้เค้าเรียกว่า “รู้จักแต่ Adopted ไม่รู้จัก Adapted”



รูปที่ 7 มาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิด Turbine Flow Meter ติดตรึงอยู่กับที่ (NMI Netherlands) พร้อมเครื่องวัดอุณหภูมิประจำมาตรวัดฯ

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ
(Phase Separator or Air/Gas Eliminator)

บทความนี้ตอนเริ่มคิดจะเขียนดูแล้วไม่น่าจะใหญ่มาก แต่พอนั่งอ่านและย่อยเนื้อหาที่ต้องการบอกกล่าวปรากฏว่ายิ่งอ่านยิ่งค้นคว้ามันก็เลยเถิดไปเสียไกล ต้องนั่งลงและค่อยๆย่อย ส่วนจะมีเนื้อหามากมายหรือใครรับไม่ได้ก็อย่าตกใจค่อยๆ เก็บเดี๋ยวก็ไปกันได้เริ่มกันเสียเลยว่าทำไมต้องเขียนเรื่องนี้ก็เพราะว่าในกฎกระทรวงฉบับเทคนิคฯ หรือฉบับอะไรต่อไปซึ่งกำลังแก้ไขกันอยู่นี้ มีประโยคหนึ่งที่ว่า

*“มาตรวัดปริมาตรของเหลว**ต้องมี**อุปกรณ์ควบและอุปกรณ์เสริมที่มีลักษณะ ดังต่อไปนี้*

*(๑) **เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ** หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศผ่านเข้าไปในมาตรวัดขณะทำการวัด*

(๒) .....”

หลายคนที่อ่านกฎกระทรวงนี้มาหลายปี อาจจะงง มันอะไรกันหนักหนาเชียวถึงมีข้อกำหนดยุบยิบไปเสียหมด เมื่อก่อนไม่เห็นต้องกำหนดอะไรมันก็ทำงานกันได้อยู่ หรือมึนๆ ว่ามันคืออะไรกันอยู่บ้าง เลยถือโอกาสในที่นี้ชี้แจงว่า งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นเราดูแลมาตรวัดปริมาตรของไหล (Fluid) ซึ่งคำว่าของไหล (Fluid) นี้สามารถเป็นได้ทั้งของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas) แต่ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ของเหลวและก๊าซดังกล่าวต้องเป็น**<u>ของไหลเพียงสถานะเดียวเท่านั้น</u>** นั้นคือหากเป็นของเหลวก็ต้องเป็นของเหลวล้วนต้องไม่มีก๊าซหรืออากาศเข้าไปแจมอยู่ในระบบวัดปริมาตรของเหลวอย่างเด็ดขาด และเช่นเดียวกันหากระบบการวัดเป็นการวัดมวลหรือปริมาตรของก๊าซ ก๊าซดังกล่าวก็ต้องเป็นก๊าซเพียงสถานะเดียวเท่านั้นต้องไม่มีน้ำหรือเม็ดทรายหรือฝุ่นโคลนเข้าไปในระบบมาตรวัดก๊าซอย่างเด็ดขาดเช่นเดียวกัน

หากระบบใดประกอบด้วยของเหลวกับก๊าซไอระเหย เราจะรียกของไหลในระบบนั้นว่า “**ของไหล 2 สถานะ (2-Phase Fluid)**” แต่หากเพิ่มอีกสถานะหนึ่งคือของแข็งเช่นเม็ดทราย ฝุ่นขี้โคลน เราก็เรียกเพิ่มขึ้นไปอีกเป็น “ของไหล 3 สถานะ (3-Phase Fluid)” แน่ละประเทศที่เจริญแล้วก็กำลังศึกษาว่าจะวัดของไหล 2 สถานะ หรือ 3 สถานะอย่างไรให้มีความแม่นยำน่าเชื่อถือ แต่เราก็คงเอาแค่ของไหลสถานะเดียวให้เข้าใจก่อนแล้วกัน เรื่องอื่นๆ ค่อยเดินกันไป

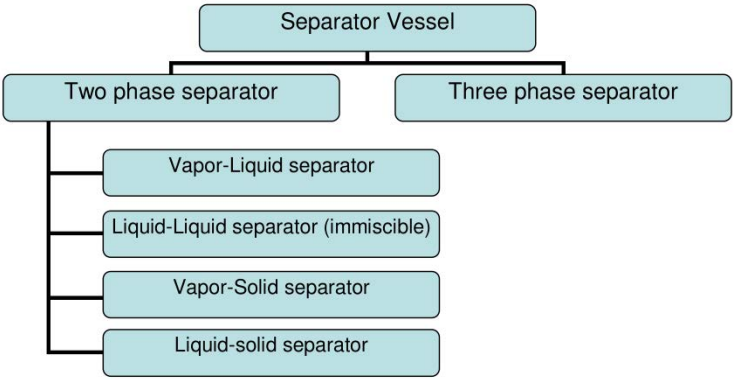
เครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่มีใช้ในภาคอุตสาหกรรมก็มีการเรียกชื่อกันหลากหลายเช่นอาจมีชื่อว่า “Suction Traps”, “Knock-out Drums”, “Low Pressure Receivers”, “Accumulators”, “Recirculators” ขึ้นอยู่กับการใช้งานและขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การออกแบบ เช่นออกแบบเพื่อต้องการแยกของเหลวออกจากก๊าซ หรือต้องการแยกก๊าซออกจากของเหลว นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวอาจทำหน้าที่อื่นๆร่วมกันไปด้วย เช่น ใช้รักษาระดับและปริมาณการส่งจ่ายของเหลวไปยังปั๊มให้เพียงพอตลอดเวลา หรือยังใช้เป็นแก้มลิงรองรับการสะสมของปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างทันทีทันใดของระบบที่มันถูกติดตั้งอยู่ เป็นต้น

ของไหล 2 สถานะ (2-Phase Fluid) ที่เราจะเกี่ยวข้องต่อไปนี้จึงมุ่งเน้นประเด็นหลักๆ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. **ของเหลว-ก๊าซ** : ระบบของไหลในท่อเป็นของเหลวเป็นหลัก มีความประสงค์แยกเอาก๊าซออกไป เช่น มาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ใช้วัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงต้องการแยกอากาศที่ไหลเล็ดรอดเข้าระบบออกไป

2. **ก๊าซ-ของเหลว** : ระบบของไหลในท่อเป็นก๊าซเป็นหลัก มีความประสงค์แยกเอาของเหลวออกไป เช่น ระบบมาตรวัดก๊าซชนิด Turbine, Rotary หรือ Diaphragm ใช้เพื่อวัดปริมาตรการส่งจ่ายเชื้อเพลิงในรูปของไอหรือก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการแยกของแข็งออกจากของเหลวหรือของแข็งออกจากก๊าซอีกด้วย



รูปที่ 1 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศของไหล 2 สถานะ และของไหล 3 สถานะ

หลักการทำงานของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Working Principle of Phase Separator)

มี 3 หลักการหลักที่ได้รับการยอมรับและใช้กันเพื่อแยกก๊าซกับของเหลว หรือของแข็ง เช่น ขี้ดิน ขี้โคลน เศษโลหะ ออกจากกันด้วยวิธีการทางกายภาพ คือ

1. **Momentum :** ของเหลว ก๊าซ หรือของแข็ง เมื่อถูกทำให้เคลื่อนที่ของทั้ง 3 สถานะจะมีพลังงานในตัวของมันที่ไม่เท่ากันหรือมีโมเมนตัมของการเคลื่อนที่ (M = mV) ที่ไม่เท่ากัน

2. **Gravity Settling :** ใช้หลักการของสิ่งของที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกได้ง่ายกว่าสิ่งของที่มีน้ำหนักน้อยกว่า

3. **Coalescing :** สิ่งของจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน ของไหลสถานะของเหลวจะมีแรงดึงดูดระหว่างกันสูงกว่าของไหลสถานะก๊าซ รวมไปถึงการใช้แรงตึงผิวควบคู่กันไป

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดหนึ่งอาจใช้หลักการทำงานเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งจาก 3 หลักการทำงาน หรืออาจใช้หลักการทั้ง 3 พร้อมกันก็สามารถทำได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต

เริ่มจากเหตุ ณ. ที่แห่งหนึ่ง

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การจัดเก็บ และการขนส่ง ในแต่ละขั้นตอนล้วนแล้วแต่อาจก่อให้เกิดการไหลในระบบท่อที่เป็นของไหล 2 สถานะได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการไหลภายในท่อไม่ให้เกิด 2 สถานะจึงต้องจัดการใน 2 ลักษณะคือ ขั้นตอนป้องกัน และหากเมื่อป้องกันแล้วยังคงมีการไหล 2 สถานะในระบบท่ออยู่อีกก็ต้องหาวิธีกำจัดของไหลสถานะที่ไม่ต้องการออกไป แน่ละต้องมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น

ในงานของเราจะเกี่ยวข้องกับของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมโดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งเบนซิน แก๊สโซฮอล์ ดีเซล น้ำมันสำหรับเครื่องบิน (Jet A1) หรือน้ำมันก๊าด ซึ่งล้วนมีแนวโน้มของการเกิดฟองได้ง่ายขณะไหลผ่านท่อจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ดังนั้นแหล่งที่มาหรือสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดก๊าซเข้าไปผสมในของเหลวในระบบท่อจึงอาจมีด้วยกันหลายสาเหตุ เช่น

1. เราใช้ระบบท่อเส้นเดียวกันให้ทำหน้าที่ Load (เอาสิ่งของลงไป) และ Unload (เอาสิ่งของออกจาก) เข้าสู่ถังน้ำมันสำรองด้วยระบบปั๊ม เช่น Load น้ำมันลงรถยนต์บรรทุกถังน้ำมัน แล้วใช้ Unload น้ำมันจากรถไฟเข้าไปเก็บในถังน้ำมันสำรองด้วยระบบท่อเดียวกัน

2. การใช้ระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมทางท่อกับผลิตภัณฑ์หลายชนิดโดยใช้ระบบขนส่งทางท่อร่วมกัน อากาศมักจะถูกดูดหรืออัดเข้าไปในช่วงเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อการขนส่งทางท่อ

3. การเกิดสภาพการไหลวน (Vortex Flow) เมื่อระดับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีสถานะของเหลวภายในถังสำรองหรือถังบนรถยนต์บรรทุกต่ำกว่าระดับที่กำหนด จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Vortex” ทำให้ปั๊มดูดอากาศเข้าไปในระบบพร้อมของเหลว

4. ในกรณีที่เลือกใช้ปั๊มที่มีกำลังแรงม้าสูงๆ หรือปั๊มมีสภาพการทำงานที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อปั๊มทำงานดูดของเหลวจากถังสำรองเพื่อส่งจ่ายไปยังที่ใดที่หนึ่งอาจดูดอากาศผ่านเข้าทางประเก็นไม่ว่าจะเป็น Mechanical Seal หรือ Packing

Glands. หรืออาจสร้างสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) สูงมากเกินไปสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีค่าความดันไอสูง

5. การเดินระบบท่ออยู่เหนือพื้นดิน เมื่อระบบท่อโดนแสงแดดในตอนกลางวันความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังของเหลวในระบบท่อให้มีการระเหยตัวกลายเป็นไอหากความดันในระบบท่อไม่สูงเพียงพอ

6. การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบท่อที่มีความดันตกคร่อมสูง (Pressure Drop) เมื่อของเหลวไหลผ่านด้วยอัตราการไหลสูงหรือความเร็วของเหลวสูง จะเกิดสภาวะความดันตกคร่อม จนค่าความดันต่ำลงกว่าความดันไอของเหลวก่อให้ของเหลวแปลงสภาวะกลายเป็นไอ

7. ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) ในตำแหน่งที่ผิด ทำให้เกิดการรั่วไหลผ่านวาล์วกันกลับในช่วงที่ระบบของไหลภายในท่อไม่มีการไหล

8. บริหารจัดการใช้ถังสำรองน้ำมันอยู่ในระดับต่ำเกินกว่าที่กำหนดหรือถังแห้งสนิทเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาด

9. ระบบปั๊มที่ต้องดูดของเหลวจากถังสำรองที่อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าปั๊ม เช่นถังสำรองน้ำมันใต้ดิน

10. การขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในระบบท่อมีค่าความหนืดสูง

11. และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งจะเกิดจากธรรมชาติของระบบ หรือเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดไปของผู้ปฏิบัติงาน

การไหลแบบ 2 สถานะในระบบท่อ (2-Phase Flow in Pipe)

เพื่อความเข้าใจให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ก่อนเดินเรื่องต่อไป (ไม่ใช่ลิเก นะ) ขอให้ตั้งสติว่าเรากำลังพูดถึงมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือมาตรวัดก๊าซ ดังนั้นเรื่องทั้งหมดจึงเกี่ยวข้องกับระบบท่อที่มาตรวัดดังกล่าวติดตั้งอยู่ เราจึงคุยในเรื่องการไหลของไหลภายในท่อเท่านั้น

เมื่อเกิดสภาวะการไหลในระบบท่อเป็นของไหล 2 สถานะได้ เราจึงต้องหันมาดูปรากฏการณ์การไหลในระบบท่อเนื่องจากระบบท่อในระบบการผลิตหรือ

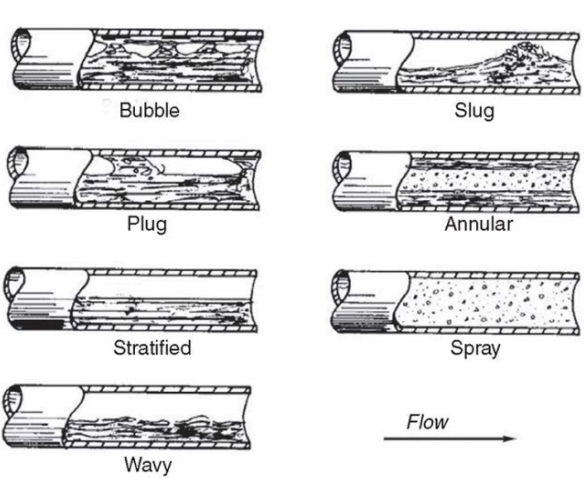
ระบบการขนส่งหรือระบบการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวปิโตรเลียม การเดินท่อมีทั้งเดินในแนวราบ (Horizontal piping) แนวตั้ง (Vertical Piping) และแนวเอียง (Incline Piping) ดังนั้นเมื่อเกิดสภาวะรูปแบบการไหล 2 สถานะ (2- Phase Flow pattern) ก็จะมีลักษณะและรูปแบบตลอดจนเงื่อนไขของการเกิดที่แตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปสำหรับงานชั่งตวงวัดเราจะให้ความสำคัญกับสภาวะรูปแบบการไหล 2 สถานะภายในท่อที่เดินในแนวราบเสียเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากที่ผ่านมามาตรวัดปริมาตรของเหลวในงานชั่งตวงวัดส่วนใหญ่จะเป็นมาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์และมาตรวัดชนิด PD แต่อย่างไรก็ตามสภาวะรูปแบบการไหล 2 สถานะภายในท่อที่เดินในแนวตั้งก็ต้องเริ่มให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้นเพราะเรามีมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่สามารถติดตั้งในระบบท่อแนวตั้งได้แล้วเช่นกัน เช่น มาตรวัดมวลคอริออริส

1. รูปแบบการไหล 2 สถานะภายในท่อที่เดินในแนวราบ (Horizontal 2-Phase Flow Pattern) เราจะพบรูปแบบการไหล 2 สถานะรูปแบบหลักๆ ดังในรูปที่ 2

จากผลการศึกษาผู้รู้หลายๆท่านได้ทำการแบ่งแยกรูปแบบการไหลอยู่บนพื้นฐานหลายปัจจัย แต่ในที่นี้เราจะใช้ปัจจัยที่ใช้แบ่งรูปแบบการไหล 2 สถานะในระบบท่อด้วย “Super Velocity” ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ด้วย Superficial Velocity เป็นค่าอัตราการไหลจริงของของไหลสถานะนั้นๆ เทียบกับอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อนั้นของของไหลทุกสถานะรวมกัน เช่น Superficial Gas Velocity มีค่าเท่ากับอัตราการไหลจริงของ Gas หารด้วยอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อนั้นของทั้ง 2 สถานะคือทั้ง Gas และ Liquid ถ้าอัตราการไหลของ Gas สูงกว่าอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อนั้นของทั้ง 2 สถานะ (Gas และ Liquid) ยิ่งมีค่ามากเท่าไรนั้นหมายถึงยิ่งเพิ่มโอกาสก่อให้เกิดการไหล 2 สถานะหลายๆ รูปแบบมากยิ่งขึ้น

การไหลรูปแบบ Annular (เมื่อดูจากหน้าตัดท่อจะเห็นของเหลวไหลคล้ายกับโดนัทโดยมีของเหลวเป็นวงๆ ตรงกลางเป็นก๊าซหรืออากาศ) ซึ่งจะมีไอ

หรือก๊าซลักษณะเป็นหมอก (Mist) อยู่แกนกลางล้อมรอบด้วยของเหลว (ดูรูปที่ 2) เป็นรูปแบบการไหลเลวร้ายที่สุดสำหรับงานแยกก๊าซออกจากของเหลว เนื่องจากโดยหลักการทั่วไป หากก๊าซยิ่งมีความเร็วสูงมากเท่าไรในการไหลของ 2 สถานะจะยิ่งก่อให้เกิดก๊าซในระบบท่อสูงเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันจะยิ่งทำให้หยดของเหลว (Droplet Size) ที่ปนอยู่ในก๊าซดังกล่าวยิ่งมีขนาดเล็กลงยิ่งขึ้นส่งผลให้การแยกละอองหยดของเหลวยิ่งกระทำได้ลำบากมากยิ่งขึ้น

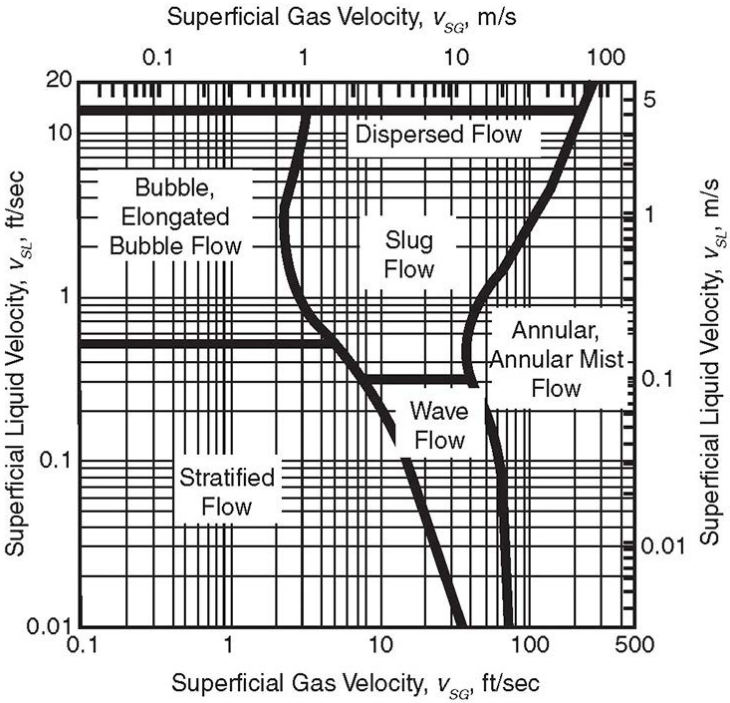


รูปที่ 2 รูปแบบการไหลแบบ 2-Phase ภายในท่อแนวระนาบ

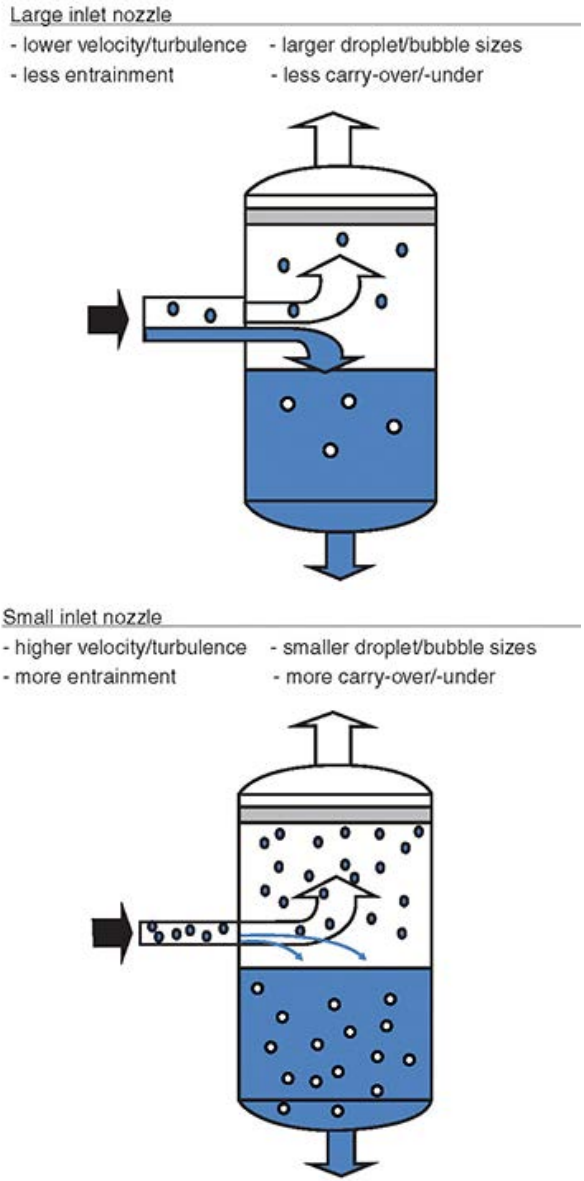
การเตรียมระบบท่อแนวระนาบซึ่งจะนำไปสู่ท่อทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Phase Separator หรือ Separation Equipment) จึงต้องออกแบบด้วยความรอบคอบโดยมุ่งหวังให้รูปแบบการไหล 2 สถานะภายในท่อแนวระนาบก่อให้เกิดหยดของเหลว (Droplet Size) ที่ปนอยู่ในก๊าซมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการแยกออกไปจากระบบท่อให้เหลือเพียงแต่สถานะของเหลวหรือก๊าซเพียงสถานะเดียวเท่านั้น

จากปัจจัยดังกล่าวจึงมีข้อแนะนำให้

- ติดตั้งเป็นท่อตรงก่อนทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศอย่างน้อย 10D เมื่อ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ โดยไม่มีการติดตั้งวาล์วหรือข้องอใดๆทั้งสิ้น
- ในกรณีที่จำเป็นต้องติดตั้งวาล์วใกล้ทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ให้ติดตั้งวาล์วชนิด Full Port (ไปอ่านเรื่องวาล์วควบคุมน่ะ) เท่านั้น



รูปที่ 3 Horizontal Flow Pattern Map (Mandhane 1974)



รูปที่ 4 ผลกระทบของความเร็วของไหลของท่อทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศต่อการแยกของเหลวออกมาจากของไหล 2 สถานะ

2. รูปแบบการไหล 2 สถานะภายในท่อที่เดินในแนวตั้ง (Vertical 2-Phase Flow Pattern) รูปแบบการไหล 2 สถานะ รูปแบบหลักๆ ดังในรูปที่ 5 และใช้ “Super Velocity” แบ่งรูปแบบการไหล 2 สถานะในระบบท่อดังแสดงไว้ในรูปที่ 6

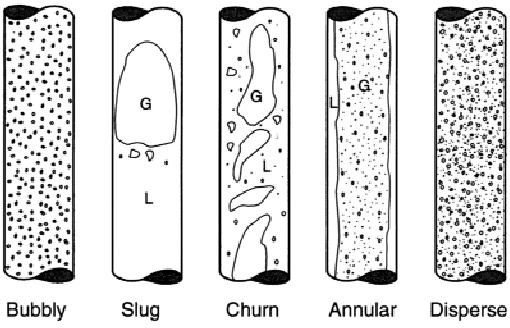
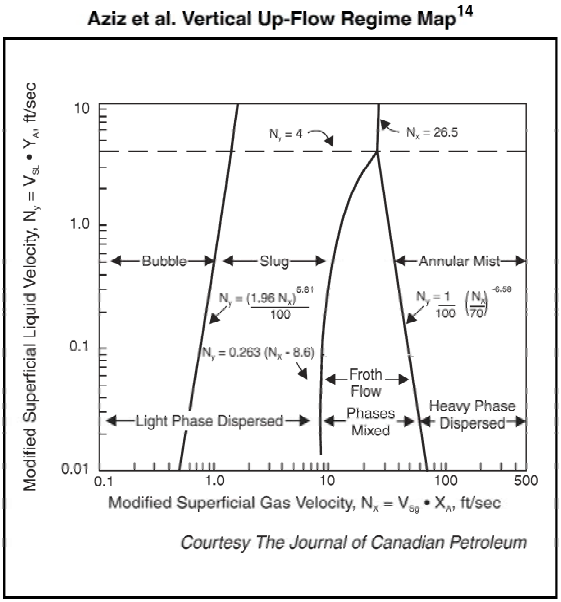


Figure 7.7. Sketches of flow regimes for two-phase flow in a vertical pipe. Adapted from Weisman (1983).

รูปที่ 5 รูปแบบการไหลแบบ 2-Phase ภายในท่อแนวตั้ง (Weisman, 1983)



รูปที่ 6 Vertical Flow Pattern Map (Aziz, K 1972)

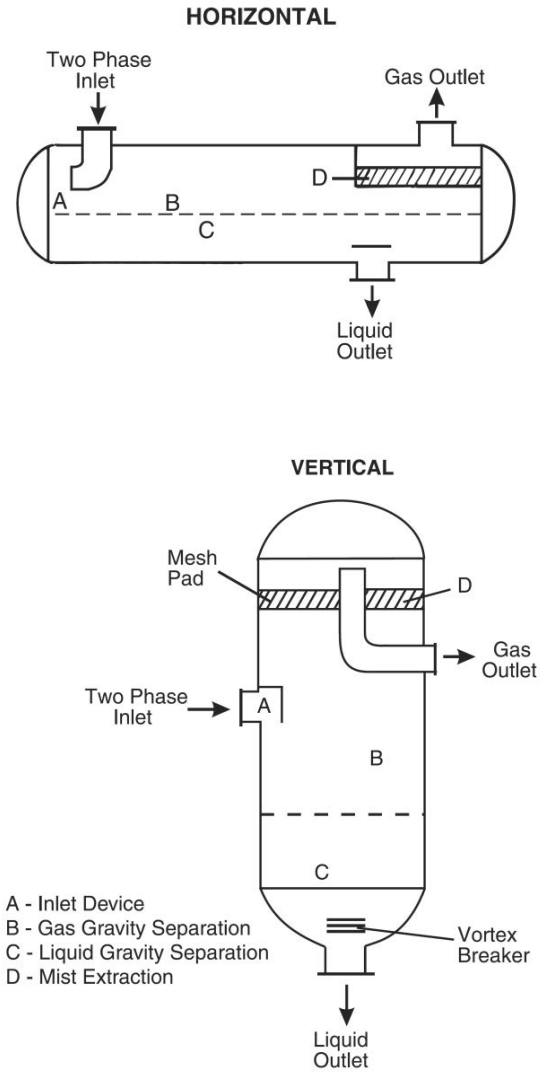
องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

เมื่อของไหล 2 สถานะไหลเข้ามาในระบบท่อ มุ่งหน้าเข้าสู่เครื่องกำจัดไอหรืออากาศเพื่อทำการกำจัดของไหลสถานะก๊าซออกไปเมื่อต้องการให้เหลือแต่ของเหลวสถานะเดียวสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลว หรือกำจัดของไหลสถานะของเหลวออกไปเมื่อต้องการให้เหลือแต่ก๊าซสถานะเดียวสำหรับมาตรวัดก๊าซเพื่อใช้งานในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย ดังนั้นจำเป็นต้องทำความเข้าใจและพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศเสียก่อน โดยพิจารณาจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศซึ่งจะแบ่งตามรูปร่างทิศทางการทำงานเป็น 2 แบบ คือแบบแนวตั้ง และแบบแนวนอนดังในรูปที่ 7 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ด้วยกัน 4 ส่วนสำคัญคือ

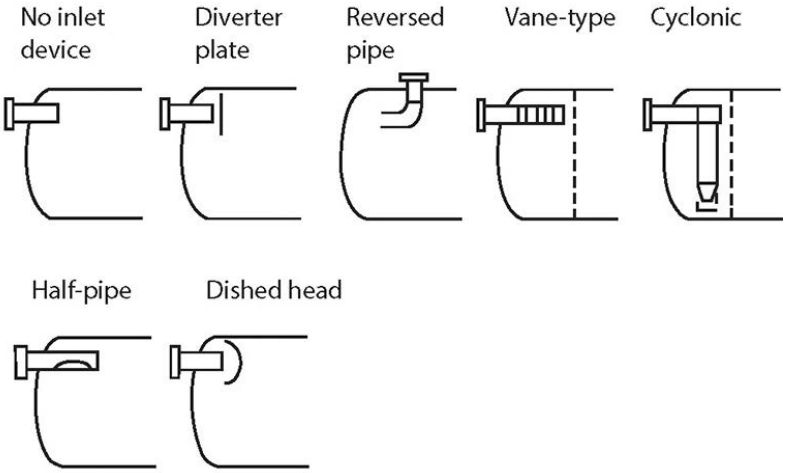
1. **Inlet Device; (A)** หรือ Inlet Diverter เป็นส่วนที่ถูกใช้งานเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลและความเร็วของไหลที่ไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศอย่างทันทีทันใด ส่งผลให้ลดโมเมนตัมของของไหลที่ไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ของเหลวกับก๊าซจึงถูกแยกออกในเบื้องต้นเพราะที่ความเร็วที่เท่ากันของเหลวจะมีพลังงานโมเมนตัมสูงกว่าก๊าซส่งผลให้ของเหลวเปลี่ยนทิศทางยากกว่าก๊าซ ในขณะที่ก๊าซจะเปลี่ยนทิศทางพร้อมกับไหลแนบไปกับ Inlet Device ส่วนของเหลวเมื่อกระแทกกับ Inlet Device แล้วจะตกลงมา ดังนั้น Inlet Device จึงเป็นกลไกซึ่งทำหน้าที่บทบาทแรกในการเริ่มทำงานของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศเพื่อแยกก๊าซกับของเหลวออกจากกันอีกทั้งช่วยเพิ่มการกระจายตัวการไหลของก๊าซที่ไหลเข้ามา ซึ่ง Inlet Device มีหลายรูปแบบดังรูปที่ 8, รูปที่ 9, รูปที่ 10 และรูปที่ 11 โดยสรุปข้อดีและข้อเสียไว้ในตารางที่ 2

2. **Gas Gravity Separation Section; (B)** ส่วนนี้ถูกออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากธรรมชาตินั้นคือแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อทำการแยกหยดของเหลว (Liquid Droplets) ผสมอยู่ในก๊าซที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 100-140 μm แยกตัวตกลงมา โดยหยดของเหลวส่วนที่เหลือและเล็ดรอดออกไปจะโดนกักเก็บด้วยส่วน Mist Extraction Section ต่อไป ส่วนนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของตัวถังความ

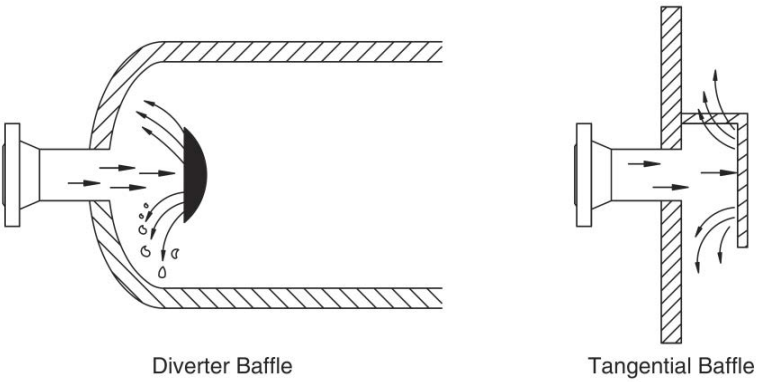
ดันของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ โดยก๊าซจะถูกออกแบบให้ไหลอย่างช้าๆ ด้วยความปั่นป่วนน้อยที่สุดภายในถังความดัน เพื่อเพิ่มโอกาสให้หยดของเหลวที่ปนอยู่ในก๊าซตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วไปสะสมบริเวณก้นถังความดันให้มากที่สุด



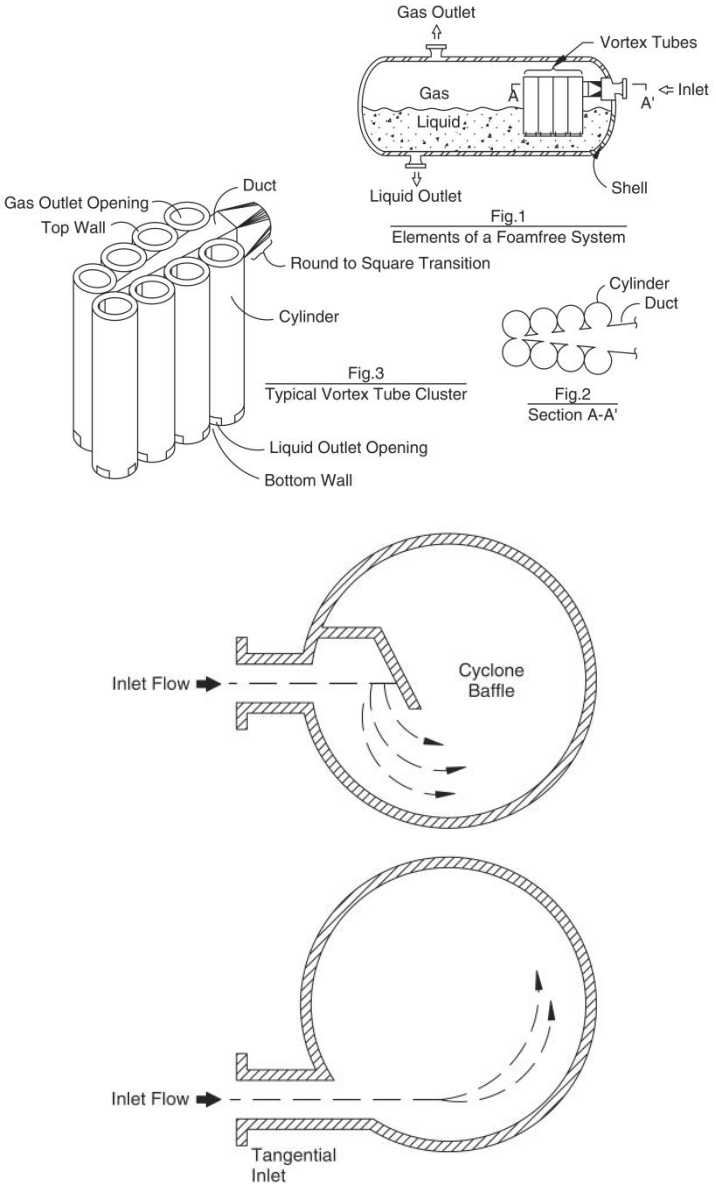
รูปที่ 7 ชนิดของ Gas - Liquid Separators



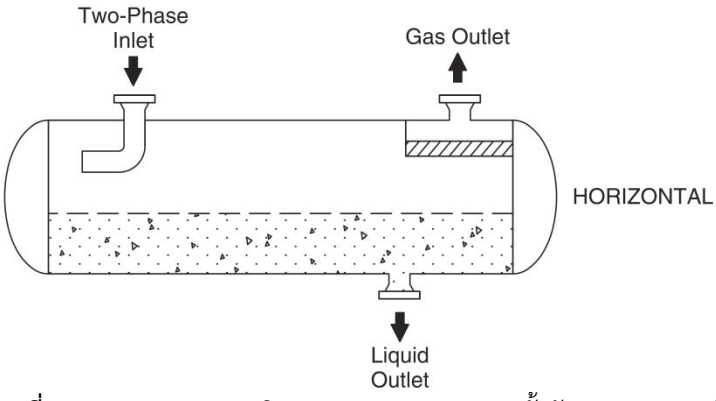
รูปที่ 8 ชนิดของ Inlet Device ของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ



รูปที่ 9 Inlet Device ชนิด Diverter Baffle (Dish head) หรือ Tangential Plate (Diverter Plate)



รูปที่ 10 Inlet Device ชนิด Centrifugal Diverter (Cyclonic)



รูปที่ 11 Inlet Device ชนิด Elbow Diverter บางครั้งตัดปลาย Elbow ให้เหลือครึ่งท่อ

TABLE 3—INLET DEVICE PERFORMANCE MEASURES

Function	No inlet device	Diverter plate	Half-pipe	Van-type	Cyclonic
Momentum reduction	Poor	Average	Good	Good	Good
Bulk liquid separation	Poor	Poor	Average	Good	Good
Prevent re-entrain-ment	Poor	Poor	Average	Good	Average-Good
Minimize droplet shattering	Poor	Poor	Average	Good	Good
Defoam	Poor	Poor	Poor	Aver-age	Good
Low pres-sure drop	Good	Good	Good	Good	Average
Ensure good gas distri-bution	Poor	Poor	Poor	Good	Average

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของ Inlet Device แต่ละชนิด

3. **Liquid Gravity Separation Section; (C)** ทำหน้าที่รวบรวมหยดของเหลวที่ถูกแยกออกจากก๊าซตั้งแต่ขั้นตอนแรก คือ Inlet Device (A) จากนั้นถึงขั้นตอนที่ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (B) และขั้นตอนสุดท้ายคือจากตัวกรอง Mist Extraction (D) นอกจากนี้ส่วนนี้ยังทำหน้าที่รองรับปริมาตรของเหลวที่เพิ่มขึ้นทันทีทันใดจากระบบท่อ (Surge Volume) หรือ รองรับปริมาตรจากการไหลรูปแบบ Slug (Slug Catching Capacity) ได้ระดับหนึ่งเพื่อให้มั่นใจว่าของเหลวไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศได้อย่างราบเรียบไปยังอุปกรณ์ปลายทางโดยเฉพาะมาตรวัดปริมาตรของเหลวสามารถทำหน้าที่วัดปริมาณได้ด้วยอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดอย่างราบเรียบและต่อเนื่องคงที่

4. **Mist Extraction Section; (D)** เป็นบริเวณติดตั้ง Mist Extractors หรือ Mist Eliminators เพื่อทำการแยกหยดของเหลวออกจากก๊าซในขั้นตอนสุดท้ายก่อนปล่อยก๊าซออกไปยังนอกเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ เนื่องจากในการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติในการแยกหยดของเหลว (Liquid Droplets) ที่ผสมอยู่ในก๊าซได้เพียงบางส่วนโดยเฉพาะหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ แต่สำหรับขนาดหยดของเหลวที่ผสมอยู่ในก๊าซเล็กลงประมาณน้อยกว่า 100 ไมโครเมตร จำเป็นต้องใช้ Mist Extraction Section ทำหน้าที่ดักละอองของเหลวซึ่งมีขนาดเล็กๆ ออกจากก๊าซก่อนจะไหลออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศด้วยวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสเพื่อดักละอองเล็ก จากนั้นเมื่อละอองเล็กๆถูกดักไว้แล้วจะมีการรวมตัวเป็นหยดใหญ่ขึ้นด้วยแรงตึงผิวของของเหลวที่จะดูดเข้าหากันของละอองหยดเล็กๆ จากนั้นหยดของเหลวจะตกลงไปสะสมอยู่ในส่วน Liquid Gravity Separation Section โดยทั่วไป Mist Extractors จะมีขีดความสามารถดักหยดละอองของเหลวในก๊าซได้ประมาณ 0.1- 1.0 gal/MMcf. ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องคำนึงถึง

- ขนาดหยดของเหลวที่ต้องการดึงออกจากก๊าซ
- ความดันตกคร่อม Mist Extractors

- สามารถติดตั้งภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หรือแยกออกไปอิสระอีกชุดหนึ่ง
- ขีดความสามารถรองรับของเหลวของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ
- ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ และราคา เป็นต้น

เราพอจะแบ่งหลักการทำงานของ Mist Extractors ได้ 2 หลักการใหญ่ คือ

4.1 **Gravitational and Drag Forces Acting on a Droplet** เป็นหลักการเข้าไปแทรกแซงความสมดุลธรรมชาติระหว่างแรงที่กระทำต่อหยดของเหลวที่ผสมอยู่ในก๊าซด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกกับแรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag Force) เช่น

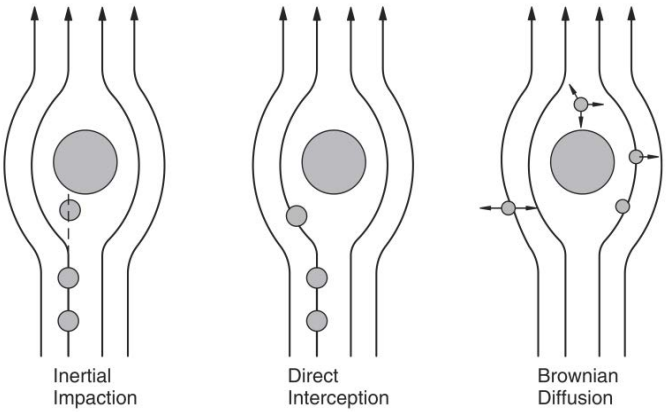
4.1.1 เอาชนะ Drag Force ด้วยการลดความเร็วของก๊าซบริเวณเหนือระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศเพื่อให้แรงโน้มถ่วงของโลกทำหน้าที่เด่นขึ้น

4.1.2 เพิ่มแรงเข้าไปกวนความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลกกับ Drag Force ที่กระทำต่อหยดของเหลว เช่น แรงหนีศูนย์ (Cyclone) แรงเนื่องจากไฟฟ้าสถิต เพื่อลดบทบาทของ Drag Force ให้น้อยลงทำให้หยดของเหลวที่มีโมเมนตัมสูงกว่าหลุดหรือแยกตัวออกจากก๊าซ

4.2 **Impingement Type** เป็นหลักการทำงานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมช่วงการทำงานที่ต้องการด้วยความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำกว่าซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่สุด โดยใช้หลักการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวไปกระทบกันกับ Mist Extractors ในระดับและรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่แรงเฉื่อยของมวลหรือโมเมนตัมของหยดของเหลวพอแบ่งเป็น 3 รูปแบบของการกระทบของหยดของเหลวกับ Mist Extractors คือ

- **Inertial Impaction** กลุ่มหยดของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 1 -10 μm ซึ่งไหลผสมอยู่ในก๊าซ กลุ่มหยดของเหลวขนาด

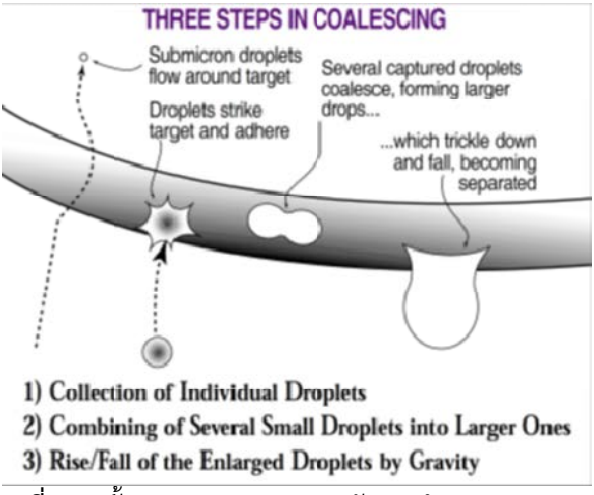
ดังกล่าวนี้ถือว่ามีขนาดใหญ่และมีแรงเฉื่อยของมวลหยดของเหลวหรือมีโมเมนตัมสูงมากพอที่จะดื้อไม่ยอมไหลไปตามแนวกระแสการไหลของก๊าซ (Gas Streamline) ดังนั้นเมื่อเจอ Mist Extractors ซึ่งในรูปที่ 12 ซ้ายมือ โดยสมมุติให้ Mist Extractors เป็นทรงกลมขวางทิศทางการไหลของก๊าซ หยดของเหลวที่มีโมเมนตัมสูงและดื้อไม่ยอมไหลตามหรือปรับทิศทางเคลื่อนที่คล้อยตามแนวกระแสการไหลของก๊าซซึ่งไหลอ้อมผ่าน Mist Extractors แต่จะพุ่งเข้าชนกระทบกับ Mist Extractors เมื่อหยดของเหลวหลายๆ หยดชนกระแทก Mist Extractors กันมากขึ้นจนทำให้เกิดการรวมตัวกันหลายหยดกลายเป็นหยดของเหลวขนาดใหญ่เพียงพอจนสามารถตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงไปสะสมกับของเหลวที่อยู่ด้านล่างในส่วน Liquid Gravity Separation Section; (C)



รูปที่ 12 3 กลไกหลักการทำงาน “Impingement” ในการดักจับหยดของเหลวผสมในก๊าซ

- **Direct Interception** กลุ่มหยดของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 0.3 -1.0 μm ซึ่งไหลผสมอยู่ในก๊าซ กลุ่มหยดของเหลวขนาดดังกล่าวนี้ถือว่ามีขนาดไม่ใหญ่เพียงพอและมีแรงเฉื่อยของมวลหยดของเหลวหรือมีโมเมนตัมไม่สูงมากพอที่จะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง ดังนั้นหยดของเหลวดังกล่าวจึงต้องยอมไหลคล้อยตามแนวกระแสการไหลของก๊าซ (Gas Streamline) และ

เมื่อใดที่ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางหยดของเหลวกับ Mist Extractors น้อยกว่า ½ ของเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวดังกล่าว การกระทบชนกันของหยดของเหลวกับ Mist Extractors จะเกิดขึ้น (ดูรูปที่ 12 รูปกลาง) ทำให้เกิดการรวมตัวกันหลายหยดกลายเป็นหยดของเหลวขนาดใหญ่เพียงพอจนสามารถตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงไปสะสมรวมกับของเหลวที่อยู่ด้านล่างในส่วน Liquid Gravity Separation Section; (C)



รูปที่ 13 ขั้นตอนการกระทบตามหลักการทำงาน “Impingement”

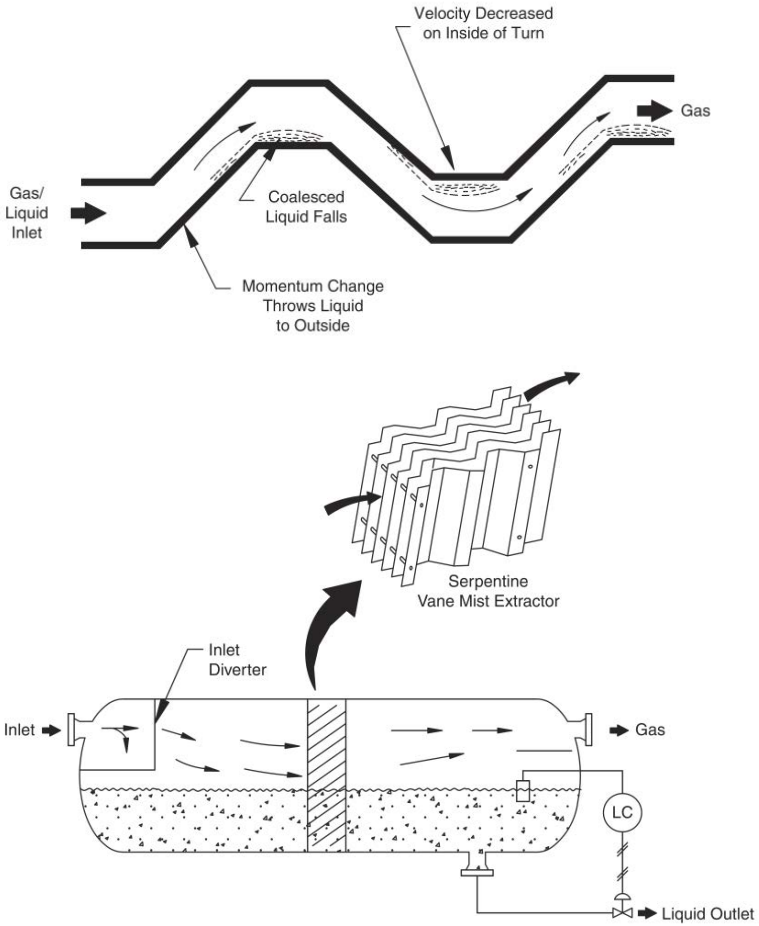
- Diffusion กลุ่มหยดของเหลวกลุ่มสุดท้ายที่มีขนาดเล็กมากๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.3 μm จะมีการเคลื่อนที่กระจัดกระจายกำหนดทิศทางแน่นอนไม่ได้หรือที่เรียกว่าการเคลื่อนที่แบบ “Brownian” ไหลผสมปนเปอยู่ในก๊าซ แถมไม่ไหลไปตามกระแสการไหลของก๊าซ (Gas Streamline) ดังนั้นเมื่อไหลเกิดฟรุ๊คเข้าไปชนกระทบกับ Mist Extractors ก็จะเกิดการสะสมรวมตัวกันไปเรื่อยๆจนกว่าจะกลายเป็นหยดของเหลวโตเพียงพอแล้วจึงตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงไปสะสมกับของเหลวที่อยู่ด้านล่างต่อไป โอกาสการกระทบของหยดของเหลวขนาดเล็กที่สุดกลุ่มนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วของก๊าซช้าลงเท่านั้น (ดูรูปที่ 12 รูปขวามือ)

จากหลักการทำงานกระทบไหล่กันระหว่างหยดของเหลวกับ Mist Extractors นั้น จึงพอแบ่งหน้าตา Mist Extractors ได้หลายชนิด แต่เราจะสนใจเพียง 3 ชนิดหลักๆ คือ

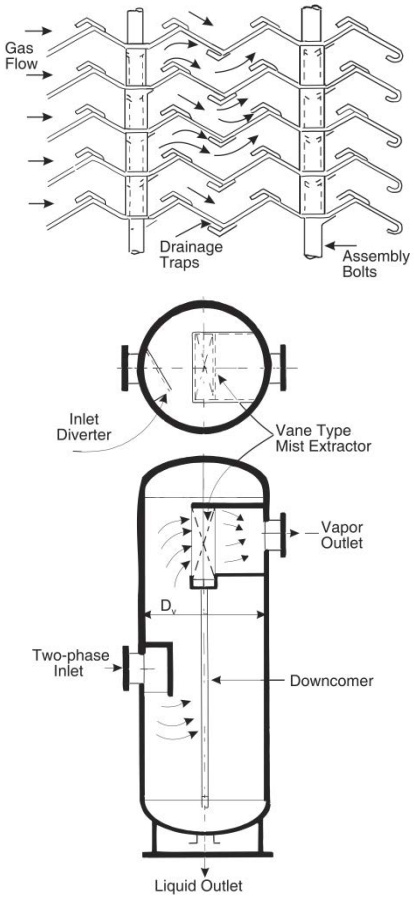
4.2.1 **Baffles** ประกอบด้วยชุดการเรียงตัวขนานกันของแผ่นโลหะที่เรียกว่า “Baffle”, “Vane” หรือ “Plates” ด้วยระยะห่างกันคงที่ประมาณ 5 -70 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 150-300 มิลลิเมตร (ดูรูปที่ 14, รูปที่ 15 และรูปที่ 16) แผ่นโลหะดังกล่าวจะบังคับให้ก๊าซที่มีหยดของเหลวผสมอยู่ให้ไหลผ่านไประหว่างแผ่นด้วยความเร็วลดลงจนถึงระดับ Laminar Flow (Reynold’s Number ≤ 2,000) ในขณะที่มีการปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลอยู่เสมอ ดังนั้นพื้นที่ผิวของแผ่นหลายๆแผ่นรวมกันของ Baffles จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวตกกระทบของหยดของเหลวที่ปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลไม่ทันแล้วชนเข้ากับพื้นที่ผิว จากนั้นหยดของเหลวเล็กๆก็รวมตัวเป็นหยดใหญ่จะไหลตกลงไปเก็บในส่วนที่รองรับของเหลวต่อไป ขีดความสามารถของ Mist Extractors ชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วสามารถดักจับหยดของเหลวได้ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 40 μm ขึ้นไป

4.2.2 **Wire Meshes** มีลักษณะคล้ายเอาเส้นไหมมาถักทอเป็นก้อนจึงเรียกว่า “Knitted-Wire-Mesh Type” (ดูรูปที่ 17) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นลวด โดยทั่วไปจะมีความหนาประมาณ 3 - 7 นิ้ว เส้นลวดที่ถักทอเป็นก้อนจะมีค่าความหนาแน่น (Mesh Density) อยู่ในช่วง 10-12 lb./ft^3 โดยทำจากเส้นลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 0.1 – 0.28 มิลลิเมตร ทำให้มี Void Volume Fraction อยู่ในช่วง 0.95-0.99 การติดตั้ง Wire Meshes หรือ Wire Pad ขวางทิศทางการไหลของก๊าซในแนวตั้งฉากภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศทั้งแบบแนวนอนหรือแบบแนวตั้ง เพื่อยังคงใช้ประโยชน์จากแรงโน้มถ่วงของโลกในการให้หยดของเหลวที่รวมตัวตกกลับลงมายังที่รองรับของเหลวซึ่งอยู่ด้านล่างลงมา แต่ก็ต้องคำนึงไม่ให้หยดของเหลวที่ตกลงมาจาก Wire Meshes ไหลย้อนกลับเข้าไปใน Wire Meshes อีกครั้งเนื่องจากความเร็วของกระแสการไหลของก๊าซที่สูงเกินไปถึงแม้ราคา Wire-Mesh Type Mist Extractor จะมีราคาถูก แต่หากใช้กับ

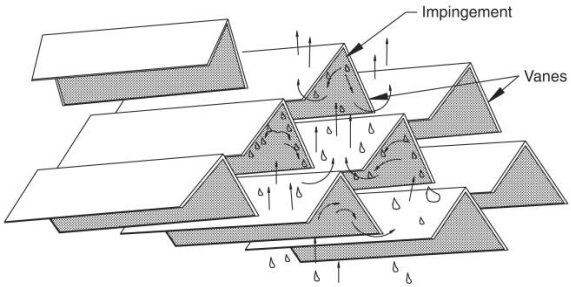
ของไหลที่มีส่วนลักษณะเป็นไขหรือขี้ผึ้ง Mist Extractor ดังกล่าวเมื่อใช้ไปเป็นเวลานานจะเกิดการอุดตันและลดประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ปลายทางหรืออาจสร้างความเสียหายได้ จึงเป็นเรื่องที่ต้องระมัดระวังในการเลือกใช้ Mist Extractor ให้ถูกชนิด



รูปที่ 14 Vane-Type หรือ Chevron-shape mist extractor จับหยดของเหลวได้ขนาด 10-40 μm



รูปที่ 15 Vane-Type พร้อมด้วย Corrugated plates และถาดรองรับภายในตัว



รูปที่ 16 อีกรูปแบบหนึ่งของ Vane-Type Mist Extractor



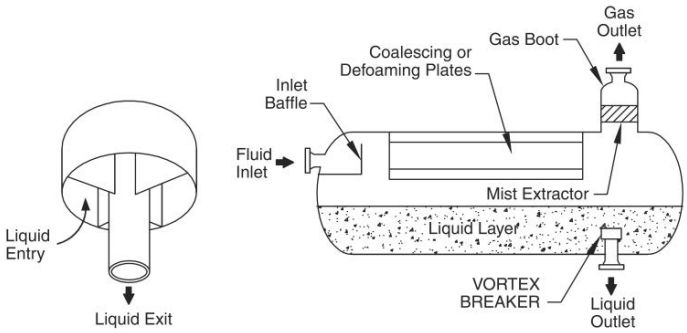
รูปที่ 17 Knitted-Wire-Mesh Type Mist Extractor

4.2.3 **Microfiber Pads** ทำจากเส้นไฟเบอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส 3-150 เท่าเมื่อเทียบกับ Wire-Mesh Mist Extractor เทียบที่ปริมาตรเท่ากัน เหตุที่ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กขนาดนี้ก็เพื่อดักจับหยดของเหลวที่มีขนาดเล็กมากๆ น้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตร แต่ขีดความสามารถในการรองรับปริมาณการดักจับหยดของเหลวมีจำกัดและประสิทธิภาพจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งานเช่นเดียวกับ Wire-Mesh Mist Extractor ในขณะที่ Microfiber Pads มีราคาค่อนข้างแพงกว่า

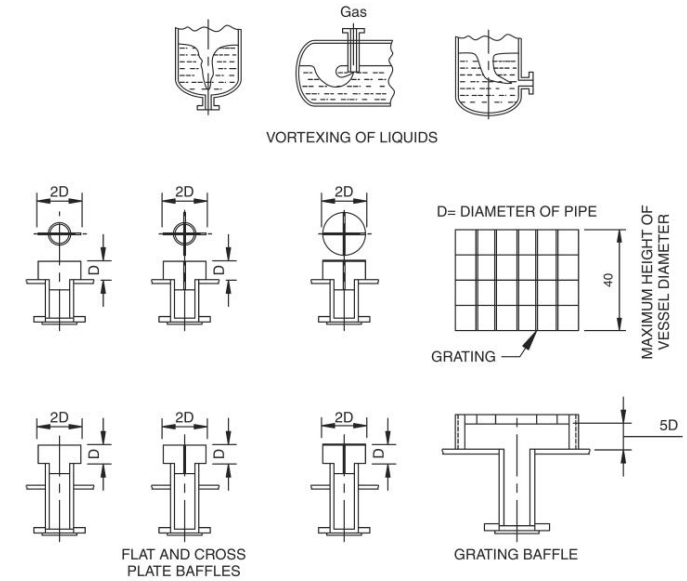
5. **Defoaming Plate** ในกรณีของไหลเกิดเปลี่ยนสถานะเป็นโฟม (foam) ขณะที่ก๊าซแยกตัวออกจากของเหลวโดยเฉพาะของเหลวจำพวกน้ำมันสำเร็จรูป รูปแบบโฟมดังกล่าวจะไปลดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง การเติมสารเคมีเพื่อไปลดการเกิดโฟมก็เป็นวิธีการหนึ่งแต่มีอีกวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพเช่นกันคือการบังคับให้โฟมไหลไประหว่างช่องว่างของแผ่นโลหะหลายแผ่นซึ่งวางเรียงขนานเอียงตามกันไปหรืออาจใช้ท่อแทนแผ่นโลหะก็ได้ การเพิ่มพื้นที่สัมผัสของแผ่นโลหะหลายแผ่นวางเรียงขนานเอียงตามกันในบริเวณพื้นที่เหนือระดับของเหลวเช่นนี้จะช่วยให้เราแยกการรวมตัวของของไหลที่อยู่ในรูปแบบโฟมรวมทั้งทำให้โฟมแตกระเบิดยุบตัวลงแล้วไหลเป็นหยดของเหลวตกลงมา (ดูรูปที่ 18)

6. **Vortex Breaker** เมื่อของเหลวไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในช่องทางท่อด้านล่างไม่ว่าจะปล่อยให้ของเหลวไหลโดยอิสระหรือใช้ปั๊มดูดออกไป รูปแบบการไหลบริเวณปากท่อทางออกของของเหลวอาจเกิดเป็นลักษณะ

Vortex หรือน้ำไหลวนเป็นสะดือบริเวณปากท่อทางออกของเหลว (ดูรูปที่ 19) ซึ่งจะเป็นการนำเอาอากาศกลับเข้าไปในระบบท่ออีกครั้งหนึ่ง นั้นหมายถึงงานที่ทำมาอย่างหนักที่ผ่านมาต้องเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นบ่อยครั้งเราจะพบว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนจะติดตั้ง Vortex Breaker บริเวณปากทางท่อทางออกของเหลวดังรูปที่ 18 และรูปที่ 19



รูปที่ 18 Vortex Breaker



รูปที่ 19 รูปแบบโดยทั่วไปของ Vortex Breaker

ชนิดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Type of Separators)

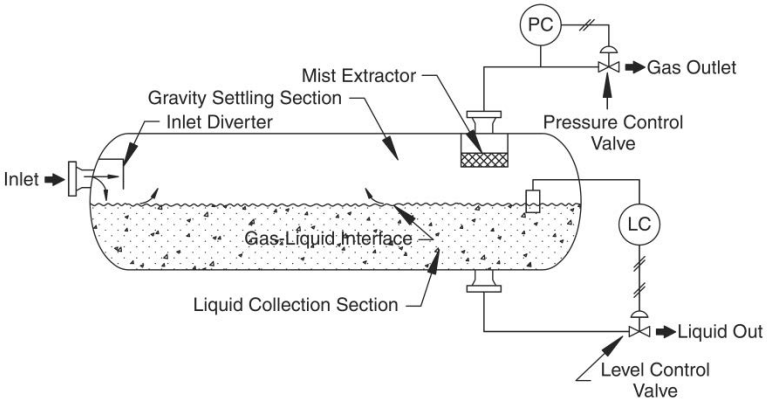
การแบ่งชนิดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจะแบ่งตามรูปร่างทิศทางการทำงานเป็น 2 แบบหลักๆ ที่เรามักพบเจอคือแบบแนวตั้ง และแบบแนวนอนดังในรูปที่ 8 แต่หากมองในภาพรวมแล้วจะมีรูปแบบหรือชนิดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หลายชนิดแต่ที่สำคัญ ได้แก่

1. **Horizontal Separators** ของไหล 2 สถานะไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจากนั้นไปกระแทกกับ Inlet Device หรือ Inlet Diverter ทำให้ของไหล 2 สถานะเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางหรือโมเมนตัมนั้นเอง ในขั้นตอนนี้จะทำให้ของไหลแยกตัวของเหลวออกจากก๊าซได้ระดับหนึ่ง ของเหลวและหยดของเหลวจะตกลงมาสะสมในส่วนรองรับด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงดังนั้นในส่วนที่เป็นจัดเก็บของเหลวหรือ Liquid Gravity Separation Section จะทำหน้าที่

- ภายในระยะเวลาหน่วงเหนี่ยว (Retention Time) ที่ต้องการนั้นฟองอากาศที่ผสมอยู่ภายในของเหลวหรือน้ำมันจะลอยตัวขึ้นมาแล้วไปอยู่ในส่วน Gas Gravity Separation Section มากเพียงพอจนกระทั่งได้ระดับของเหลวในส่วน Liquid Gravity Separation Section เข้าสู่สภาวะสมดุล
- ทำหน้าที่รองรับอัตราการไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศอย่างฉับพลันทันที เช่น การไหลรูปแบบ Slug (ดูรูปที่ 2) ภายในท่อส่งเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศซึ่งทำให้มีปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นมากทันใด (Surge Volume)

ในส่วนละอองของเหลวหรือละอองน้ำมันที่ไม่ได้ตกลงไปรวมกับของเหลวด้านล่างหลังจากกระแทกเข้ากับ Inlet Diverter จะถูกพัดไปพร้อมกับก๊าซจากท่อทางเข้าไปยังท่อทางออกก๊าซตามแนวความยาวของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ซึ่งละอองของเหลวหรือหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ก็จะใช้ช่วงระยะเวลาสั้นๆนี้ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปสะสมอยู่ในส่วน Liquid Gravity Separation Section สำหรับหยดของเหลวที่ผสมอยู่ในอากาศที่มีขนาดเล็กมากๆ เช่น ประมาณ 10-100 ไมโครเมตร ซึ่งยากที่จะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเนื่องจากสู้ความเร็วของก๊าซที่พัดผ่านมาไม่ได้ก็จำเป็นต้องลอยไปพร้อมกับก๊าซและ

ถูกส่งออกไปยังท่อทางออกก๊าซของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ แต่หากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีการติดตั้ง Mist Extractor หยดของเหลวที่มีขนาดเล็กและลอยผสมกับก๊าซมาจะถูกดึงกักเก็บไว้ด้วย Mist Extractor จากนั้นรวมตัวกลายเป็นหยดของเหลวขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกลงมาโดยแรงโน้มถ่วงของโลกก่อนก๊าซที่เหลือถูกส่งออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ



รูปที่ 20 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน

ในส่วนประเด็นที่กังวลว่าของเหลวที่อยู่ในส่วน Liquid Gravity Separation Section อาจถูกกระแสความเร็วของก๊าซไหลผ่านอาจพัดหรือเหนี่ยวนำให้ของเหลวกระจายตัวแล้วกลายเป็นหยดของเหลวซักนำกลับขึ้นไปผสมกับก๊าซในส่วนของ Gas Gravity Separation Section อีกครั้งซึ่งจะมีลักษณะกลไกการเกิดขึ้น ดังในรูปที่ 22 ก็ต้องระมัดระวัง

จากรูปที่ 20 ตัว Liquid Level Control ทำหน้าที่ควบคุมระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ โดยเมื่อของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ได้รับการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวจะส่งสัญญาณไปเปิดวาล์วด้านทางออกของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ในขณะเดียวกันเมื่อระดับของเหลวลดลงจนถึงระดับที่ตั้งไว้ตัวควบคุมระดับของเหลวก็จะส่งสัญญาณไปสั่งวาล์วดังกล่าวให้ปิด ถือเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed Back Control)

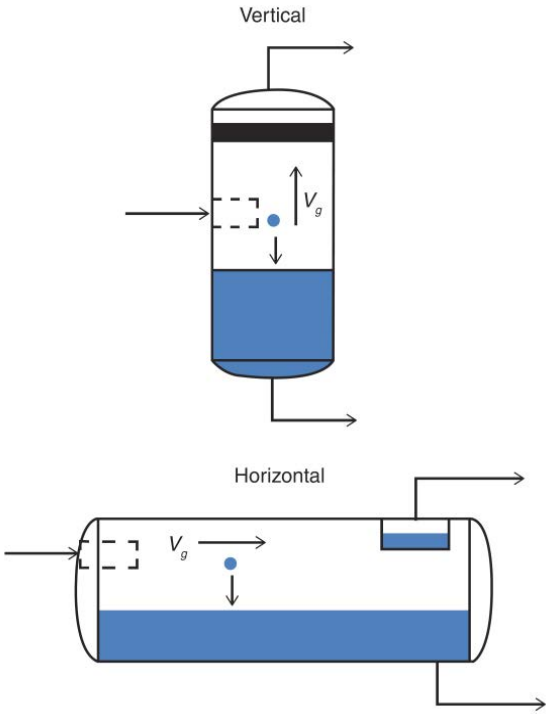
ขอบเขตการใช้งาน

		มี Mist Extraction Section	ไม่มี Mist Extraction Section
ก.	การใช้งาน	- ใช้งานแยกของไหล 2-phase ที่มีปริมาณมากๆ อย่างต่อเนื่องและต้องการคุณภาพก๊าซที่ปล่อยออกไปคุณภาพสูง - การไหลของของไหลที่มีอัตราส่วนระหว่างก๊าซกับของเหลวต่ำ (low gas-liquid ratio)	- การไหลของของไหลที่มีอัตราส่วนระหว่างก๊าซกับของเหลวสูง (high gas-liquid ratio) โดยเฉพาะน้ำมันสำเร็จรูปซึ่งมักจะเป็นโฟมได้ง่าย - ใช้เป็น flare stack knock-out drum - แยกของไหล 2-phase ที่มีปริมาณมากๆ อย่างต่อเนื่อง
ข.	ลักษณะประจำตัว	- Turn down ratio สูง - มีขีดความสามารถรองรับรูปแบบการไหลแบบ Slug ได้สูง - ประสิทธิภาพแยกของเหลวโดยทั่วไป มากกว่า 98% - ความดันตกคร่อมต่ำ - ไวต่อของไหลสกปรก	- รองรับปริมาณของเหลวได้มาก - มีขีดความสามารถรองรับรูปแบบการไหลแบบ Slug ได้สูง - ประสิทธิภาพแยกของเหลวโดยทั่วไป 90% - ความดันตกคร่อมต่ำ - ไม่ไวต่อของไหลสกปรก
ค.	แนะนำให้ใช้งานกับ	- อัตราการไหลของเหลวสูงและมีอัตราส่วนระหว่างก๊าซกับของเหลวต่ำ (low gas-liquid ratio) - Slug catchers	- Slug catchers - ใช้งานกับของไหลสกปรกเป็นไขหรือ wax ได้ง่าย หรืออาจมีเม็ดทรายเจือปน - ของเหลวที่เป็นโฟมง่าย หรือของไหลที่มีความหนืดสูง
ง.	ไม่แนะนำใช้งานกับ	- ใช้งานกับของไหลสกปรกเป็นไขหรือ wax ได้ง่าย หรืออาจมีเม็ดทรายเจือปน	- งานที่ต้องการแยกละอองของเหลว

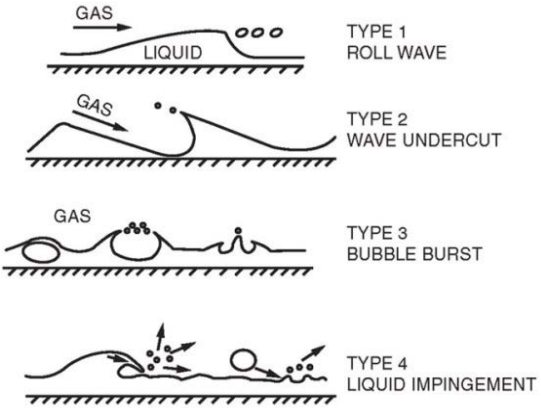
นอกจากนี้ยังมีระบบควบคุมความดันภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หากพบว่าความดันภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศสูงเกินไปก็จะส่งสัญญาณให้วาล์วทำการเปิดวาล์วด้านท่อทางออกก๊าซเพื่อระบายความดันได้ถึงระดับที่ต้องการ จากนั้นจึงปิดวาล์วท่อทางออกก๊าซ

2. **Vertical Separators** ของไหล 2 สถานะไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศทางด้านข้างจากนั้นไปกระแทกกับ Inlet Device หรือ Inlet Diverter ทำให้ของไหล 2 สถานะเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทาง หรือโมเมนตัมนั้นเอง ในขั้นตอนนี้จะทำให้ของไหลแยกตัวของเหลวออกจากก๊าซได้ระดับหนึ่ง ของเหลวและหยดของเหลวจะตกลงไปสะสมในส่วนที่เป็นจัดเก็บของเหลว หรือ Liquid Gravity Separation Section ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและไหลต่อเนื่องออกไปผ่านทางท่อทางออกของเหลวด้านล่าง เมื่อระดับของเหลวในส่วน Liquid Gravity Separation Section ถึงสภาวะสมดุล ฟองอากาศที่ผสมอยู่ภายในของเหลวหรือน้ำมันจะลอยตัวขึ้นมาต้านกับทิศทางการไหลของของเหลว และลอยขึ้นเข้าไปอยู่ในส่วน Gas Gravity Separation Section

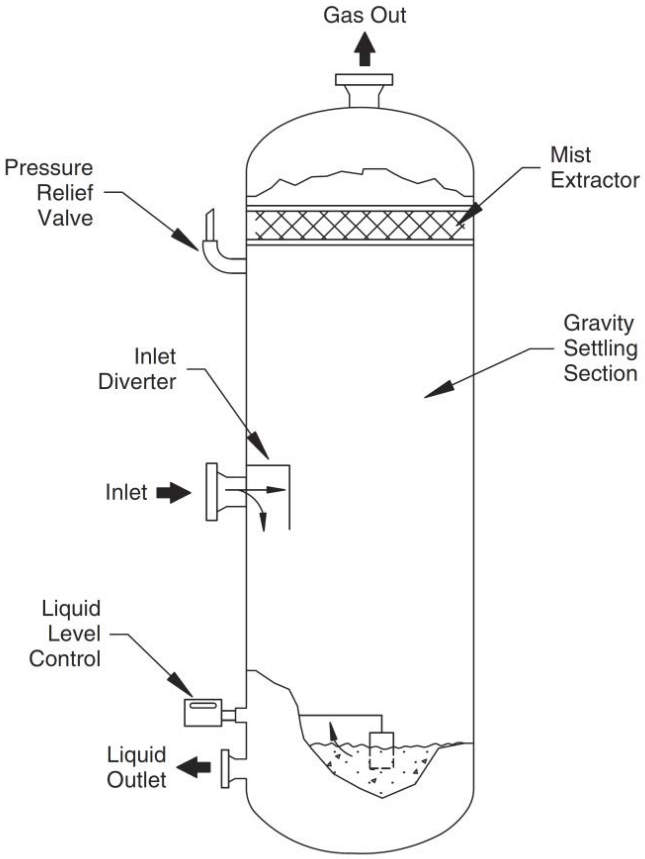
ในขั้นตอนการแยกของเหลวกับก๊าซที่เกิดขึ้นพร้อมกันในส่วน Gas Gravity Separation Section นั้น หยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ระดับหนึ่งที่ผสมอยู่ในก๊าซจะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสวนกับกระแสการไหลของก๊าซที่ไหลออกไปยังช่องท่อทางออกก๊าซด้านบน (ดูรูปที่ 21) ด้วยเหตุนี้ความเร็วของหยดของเหลว (Settling Velocity) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวนั้นๆ ในกรณีที่ขนาดหยดของเหลวมีขนาดเล็กมาก หยดของเหลวดังกล่าวจะถูกพัดไปกับก๊าซออกไปยังช่องทางออกก๊าซซึ่งอยู่ด้านบน และหากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีการติดตั้ง Mist Extractor ก่อนช่องทางออกก๊าซ หยดของเหลวที่มีขนาดเล็กและลอยผสมกับก๊าซมาจะถูกดึงกักเก็บไว้ด้วย Mist Extractor รวมตัวกลายเป็นหยดของเหลวขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกลงมาโดยแรงโน้มถ่วงของโลกก่อนก๊าซที่เหลือถูกส่งออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ



รูปที่ 21 ทิศทางการไหลของก๊าซออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศและทิศทางหยดของเหลวซึ่งแยกตัวออกจากก๊าซ



รูปที่ 22 ปรากฏการณ์การแยกตัวของเหลวกับแก๊ส



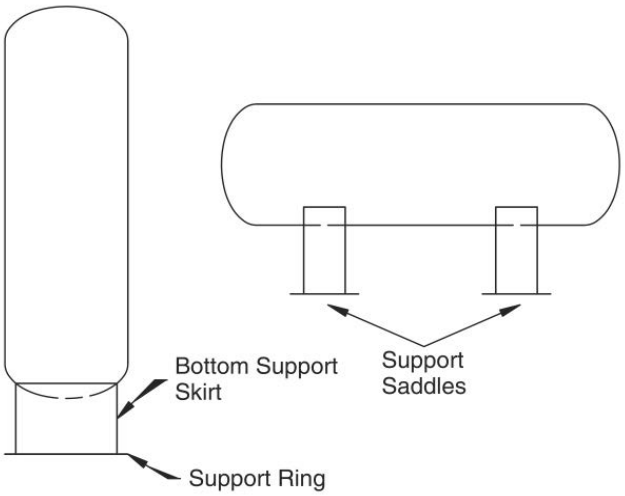
รูปที่ 23 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง

สำหรับการควบคุมระดับของเหลวและความดันภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง (Vertical Separators) นั้นมีลักษณะทำงานเช่นเดียวกับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน (Horizontal Separators)

ขอบเขตการใช้งาน

		มี Mist Extraction Section	ไม่มี Mist Extraction Section
ก.	การใช้งาน	- ใช้งานแยกของไหล 2-phase ที่มีปริมาณมากๆ อย่างต่อเนื่องและต้องการคุณภาพก๊าซที่ปล่อยออกไปคุณภาพสูง - การไหลของของไหลที่มีอัตราส่วนระหว่างก๊าซกับของเหลวต่ำ (low gas-liquid ratio)	- การไหลของของไหลที่มีอัตราส่วนระหว่างก๊าซกับของเหลวต่ำ (low gas-liquid ratio) - แยกของไหล 2-phase ที่มีปริมาณมากๆ อย่างต่อเนื่อง
ข.	ลักษณะประจำตัว	- Turn down ratio สูง - มีขีดความสามารถรองรับรูปแบบการไหลแบบ Slug ได้สูง - ประสิทธิภาพแยกของเหลวโดยทั่วไป มากกว่า 98% - ความดันตกคร่อมต่ำ - ไวต่อของไหลสกปรก	- รองรับปริมาณของเหลวได้มาก - มีขีดความสามารถรองรับรูปแบบการไหลแบบ Slug ได้สูง - ประสิทธิภาพแยกของเหลวโดยทั่วไป 90% - ความดันตกคร่อมต่ำ - ไม่ไวต่อของไหลสกปรก
ค.	แนะนำให้ใช้งานกับ	- อัตราการไหลของเหลวปานกลาง - Compressor suction scrubbers	- พื้นที่ติดตั้งจำกัด - ใช้งานกับของไหลสกปรกเป็นไขหรือ wax ได้ง่าย หรืออาจมีเม็ดทรายเจือปน - ของเหลวที่เป็นโฟมง่าย
ง.	ไม่แนะนำใช้งานกับ	- ใช้งานกับของไหลสกปรกเป็นไขหรือ wax ได้ง่าย หรืออาจมีเม็ดทรายเจือปน - ของไหลที่มีความหนืดสูง	- งานที่ต้องการแยกละอองของเหลว

เรามาเปรียบเทียบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนและแบบแนวตั้ง จะได้ว่า เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบอื่นๆที่ขีดความสามารถเดียวกัน ส่งผลให้ราคาถูกลง นอกจากนี้ในส่วนของ Gas Gravity Separation Section หรือ Gravity Settling section หยดของเหลวจะตกลงมาในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของก๊าซที่แยกตัวออกไป (ดูรูปที่ 21) ดังนั้นจึงส่งผลให้การแยกตัวเกิดขึ้นได้ง่ายยิ่งขึ้น ในขณะเดียวกันพื้นที่ผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างก๊าซกับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน (ซึ่งมีมากกว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งยิ่งทำให้ฟองก๊าซที่ผสมอยู่ภายในของเหลวมีโอกาสแยกตัวลอยขึ้นไปยังส่วนที่เป็นก๊าซด้านบนได้เพิ่มมากขึ้นและง่ายขึ้นเมื่อระดับของเหลวเข้าสู่สภาวะสมดุล แต่ในการแยกของแข็งออกจากของเหลวนั้นเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งจะทำงานได้มีประสิทธิดีกว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน ส่วนเรื่องพื้นที่ในการติดตั้งพบว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนใช้พื้นที่มากกว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 24 เปรียบเทียบโครงสร้างรองรับสำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน

การจัดสร้างโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักเครื่องกำจัดไอหรืออากาศนั้น พบว่าขาตั้งรองรับน้ำหนักของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งใช้พื้นที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน ดังนั้นการกระจายน้ำหนักจึงมีน้อยตามไปด้วยทำให้ในการออกแบบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งจึงใช้โลหะที่มีความหนากว่าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนเพื่อให้แข็งแรงเพียงพอ

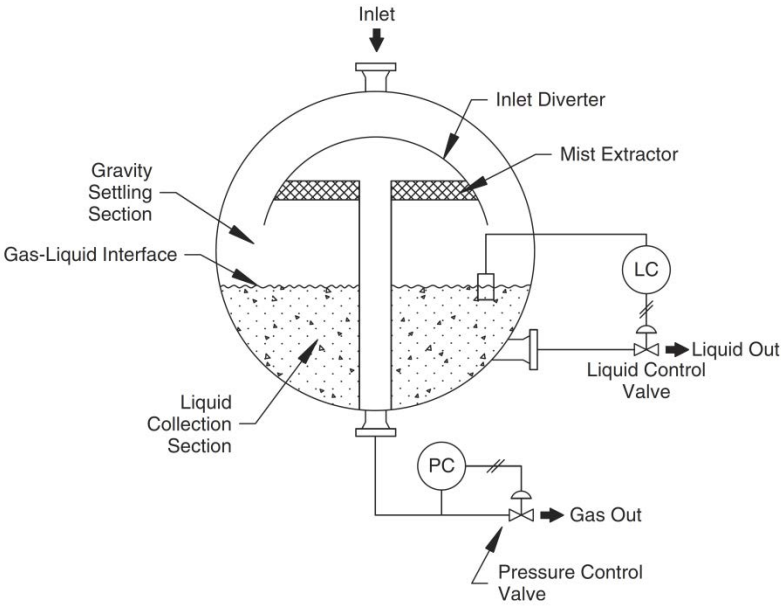
ภาพรวมแล้ว เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกน้ำมันกับอากาศ (Oil-Gas separation) โดยเฉพาะปัญหาสภาพของของไหลที่เป็น Emulsion, Foam (น้ำมันสำเร็จรูป เช่น ดีเซล) และของไหลที่มีสัดส่วนของก๊าซต่อน้ำมัน (Gas-oil Ration; GOR) สูง

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งทำงานได้ดีที่สุดกับของไหล 2 สถานะที่มีค่าสัดส่วนของก๊าซต่อน้ำมัน (Gas-oil Ration; GOR) ต่ำ และรองรับการไหลแบบปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นมาทันทีทันใด (Surge)

3. **Spherical Separators** มีลักษณะเป็นทรงกลม (ดูรูปที่ 25) แต่มีองค์ประกอบของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศครบทั้ง 4 ส่วนนั้นคือ มีช่องทางเข้า (Inlet Diverter) ของไหลทางด้านบนจากนั้นของไหลจะถูกแยกออกไป ในส่วนของเหลวจะตกลงมากระทบยังส่วนที่เป็นจัดเก็บของเหลวหรือ Liquid Gravity Separation Section ด้านล่าง โดยผ่านแผ่นโลหะที่ถูกติดตั้งอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับผิวรอยต่อของเหลวกับก๊าซ ด้วยความหนาของชั้นบางๆของของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นดังกล่าวจะทำให้แยกก๊าซที่ผสมอยู่ในของเหลวแยกตัวออกมาและลอยตัวขึ้นเหนือผิวของเหลวอีกทั้งมีการแยกหยดของเหลวในส่วน Gas Gravity Separation Section ก่อนไหลผ่าน Mist Extractor ออกไปยังช่องทางออกของก๊าซต่อไป

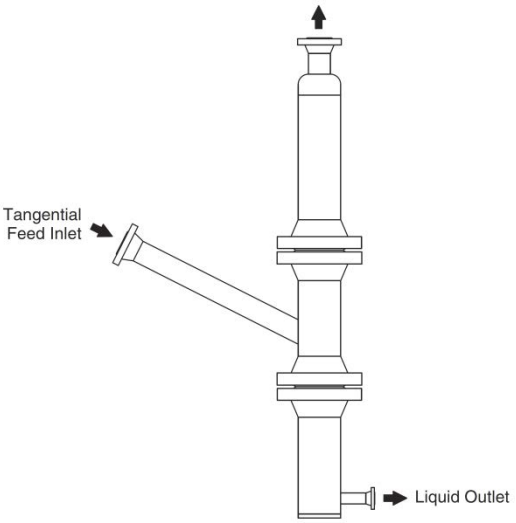
เริ่มแรกของการออกแบบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบทรงกลม (Spherical Separators) นี้ได้ดึงเอาข้อดีทางทฤษฎีทั้งหมดจากทั้งเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนมาไว้ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ

ทรงกลม แต่พบว่าประสิทธิภาพในทางปฏิบัติไม่ดีเท่าที่ควร ประกอบกับข้อจำกัดในเรื่องขนาดและการนำไปใช้งาน รวมทั้งการจัดสร้างเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบทรงกลมกระทำด้วยความลำบากจึงเป็นเหตุให้เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้จึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร



รูปที่ 25 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบทรงกลม

4. **Centrifugal Separators** มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า Cylindrical Cyclone Separators (ดูรูปที่ 26) มีหลักการทำงานโดยใช้แรงหนีศูนย์กลางในการแยกของเหลวและก๊าซออกจากกันจากของไหล 2 สถานะ แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้สามารถสร้างได้ตั้งแต่ 5 ถึง 2,500 เท่าของแรงโน้มถ่วงของโลกโดยตัวเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จากนั้นลดขนาดเล็กลงตามลำดับ



รูปที่ 26 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบใช้แรงหนีศูนย์กลาง

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบใช้แรงหนีศูนย์กลางเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการแยกของเหลวออกจากก๊าซ ดังนั้นเมื่อของไหลไหลเข้าท่อทางเข้าที่มีลักษณะเอียงลงจะทำให้ของไหลเกิดการไหลวนลงไปตามผนังท่อโดยของเหลวซึ่งมีโมเมนตัมสูงกว่าหรือมีมวลมากกว่าก๊าซจะโดนเหวี่ยงให้ไหลแนบไปกับผนังท่อ ส่วนก๊าซจะไหลวนสวนขึ้นไปในบริเวณตรงกลางท่อดังนั้นหากละอองของเหลวหรือหยดของเหลวที่ผสมอยู่กับก๊าซหากมีมวลมากพอ หยดของเหลวดังกล่าวจะถูกแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไปกระแทกกับผนังท่อแล้วรวมตัวเป็นหยดของเหลวตกลงไปยังส่วนด้านล่างในขณะที่ก๊าซจะถูกดันไหลสวนทางขึ้นไปด้านบนต่อไป

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้ถูกออกแบบให้รองรับการไหลในช่วง 100- 50,000 Barrel per Day (bpd) ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้งแต่ 2 - 12 นิ้ว ดังนั้นจึงเหมาะกับการแยกของเหลวออกจากก๊าซได้ด้วย โดยเฉพาะการไหลของก๊าซที่สะอาดแต่อาจมีส่วนผสมของการควบแน่นของก๊าซซึ่งต้องการกำจัดออกไป แต่ในขณะเดียวกันก็สร้างความดันตกคร่อมสูงมาก อีกทั้งระบบการทำงานจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเนื่องจากประสิทธิภาพการ

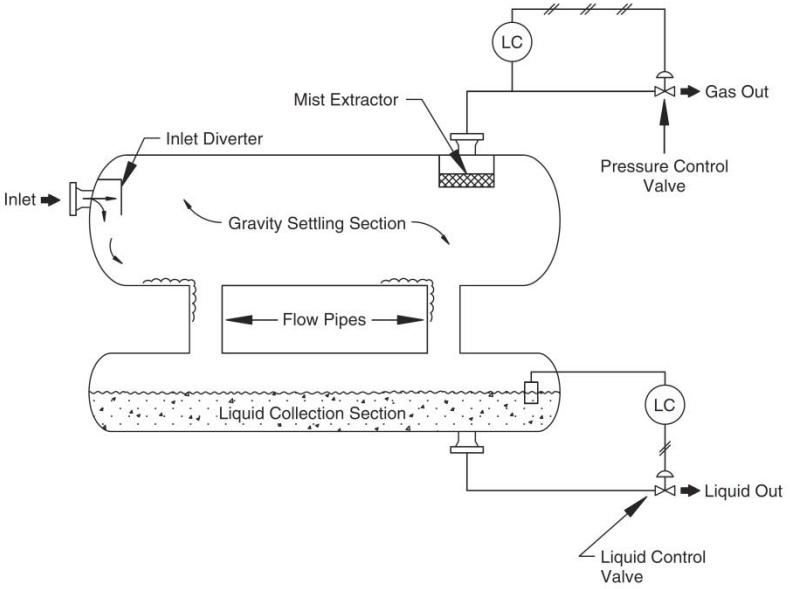
กำจัดของเหลวออกไปจากก๊าซนั้นจะลดลงเมื่อความเร็วการไหลลดลงเนื่องจากการสร้างสภาวะแรงหนีศูนย์กลางลดน้อยลง แต่ก็มีข้อดีตรงที่เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้ไม่มีส่วนประกอบที่เคลื่อนไหวทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้จึงเหมาะสมกับงานเฉพาะจริงๆ

5. **Double-Barrel Horizontal Separators** อาจมีรูปแบบแตกต่างกันออกไปบ้างแต่โดยหลักการแล้วคือการแบ่งพื้นที่ระหว่างของเหลว และก๊าซออกอย่างชัดเจน โดยส่วนรองรับก๊าซจะมีปริมาตรมากกว่าส่วนรองรับของเหลว ดังนั้นเครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้จึงใช้งานกับการแยกของเหลวออกจากก๊าซเป็นหลัก ซึ่งทำให้สามารถรองรับอัตราการไหลของก๊าซที่สูงมาก (ดูรูปที่ 27)

โดยปกติแล้วเครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดแนวนอน (Horizontal Separators) ถึงแม้สามารถรองรับอัตราการไหลของก๊าซได้สูงแล้วก็ตามแต่ไม่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างทันทีทันใดของของเหลว (Liquid Surge) ได้ดีเท่ากับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Double-Barrel Horizontal Separator

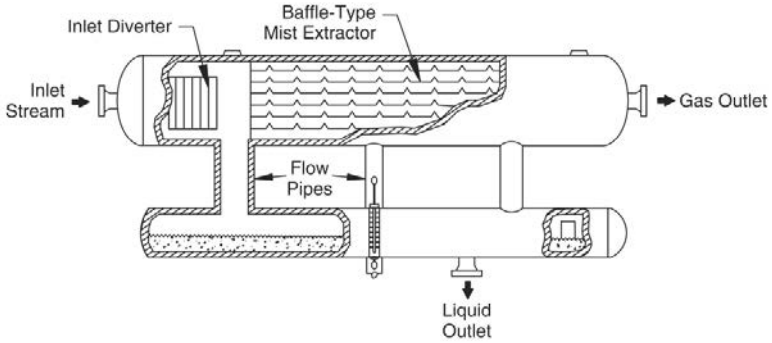
เมื่อของไหล 2 สถานะไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไปกระแทกกับ Inlet Device หรือ Inlet Diverter ทำให้ของไหล 2 สถานะเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางหรือเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ทำให้ของไหลมีการแยกตัวของเหลวออกจากก๊าซได้ระดับหนึ่ง ของเหลวและหยดของเหลวจะตกลงไปสะสมในส่วนจัดเก็บของเหลวหรือ Liquid Gravity Separation Section (Liquid collection section) ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านช่องทาง Flow pipe และไหลต่อเนื่องออกไปยังท่อทางออกของเหลวด้านล่าง เมื่อระดับของเหลวในส่วน Liquid Gravity Separation Section ถึงสภาวะสมดุล ฟองอากาศที่ผสมอยู่ภายในของเหลวหรือน้ำมันจะลอยตัวขึ้นมาต้านกับทิศทางการไหลของของเหลวและลอยขึ้นไปยังส่วน Gas Gravity Separation Section (Gravity Settling Section) ในส่วนของก๊าซจะไหลต่อไปในส่วน Gas Gravity Separation Section ผ่าน Mist Extractor ออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ แต่หากต้องการเพิ่ม

ประสิทธิภาพการแยกละอองของเหลวหรือหยดของเหลวขนาดเล็กๆ ที่ถูกพัดไปกับก๊าซผ่าน Mist Extractor ออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ก็จะทำการเพิ่มอุปกรณ์หน่วงความเร็วและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสที่เรียกว่า “Baffle-Type Mist Extractor” (ดูรูปที่ 28) อุปกรณ์ชิ้นนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดักละอองหยดของเหลวได้เพิ่มขึ้นแล้วไหลหยดลงไปยังส่วนรับของเหลวด้านล่างต่อไป



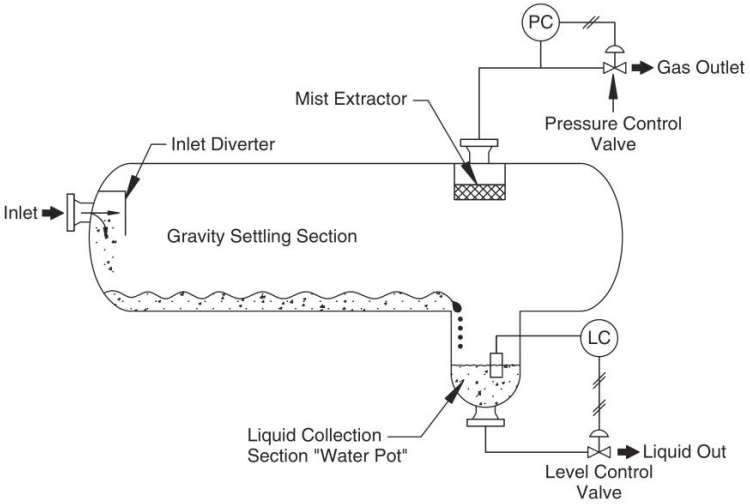
รูปที่ 27 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Double-Barrel Horizontal Separators

ด้วยเหตุที่เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้จึงมีขนาดและองค์ประกอบเพิ่มขึ้นมากมายทำให้เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้มีราคาแพง แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นเครื่องที่เหมาะกับการใช้กำจัดน้ำออกจากอากาศก่อนส่งอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่อ่อนไหวต่อความชื้นในอากาศหรืออุปกรณ์ปลายทางเครื่องอัดอากาศที่ต้องการคุณภาพอากาศที่สูงมาก เป็นต้น



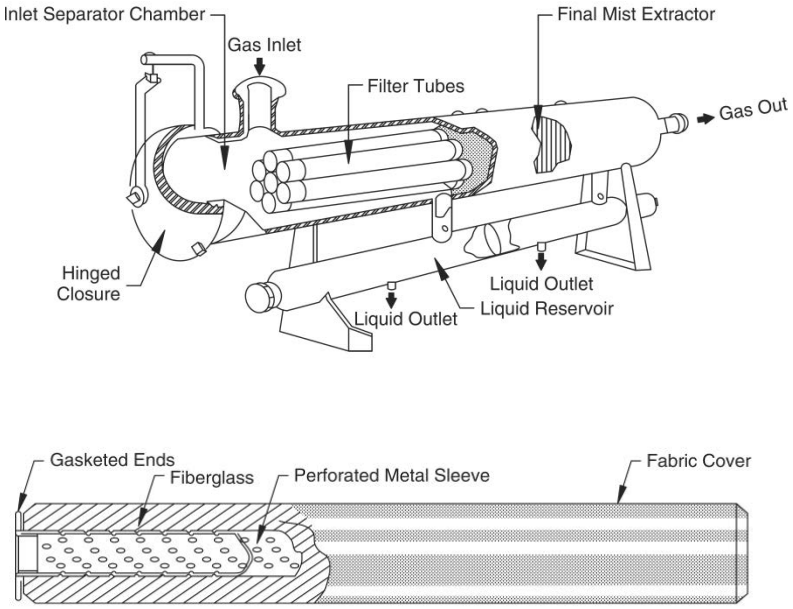
รูปที่ 28 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Double-Barrel Horizontal Separators ประกอบด้วย baffle-Type mist extractor

6. **Horizontal Separator with a Boot or Water Pot** (ดูรูปที่ 29) ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Double-Barrel Horizontal Separators เพียงแต่รองรับการจัดเก็บของเหลวได้น้อยกว่าและมีราคาถูกกว่า จึงเหมาะกับอัตราการไหลของของเหลวน้อยๆ



รูปที่ 29 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Horizontal Separator with a Boot or Water Pot

7. **Filter Separator** เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับการแยกของเหลวออกจากก๊าซ ในของไหลซึ่งมีปริมาณก๊าซที่เป็นสัดส่วนสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณของเหลวที่ผสมเข้ามา (GOP สูง) ด้วยวัตถุประสงค์การใช้งานดังกล่าวจึงมีลักษณะที่แยกของเหลวและก๊าซออกเป็น 2 ส่วนอย่างชัดเจน และลดโอกาสการปนเปื้อนของเหลวกลับไปยังก๊าซได้อีกครั้งโดยมีลักษณะคล้ายกับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Double-Barrel Horizontal Separators แต่ในส่วนของ Mist Extractor นั้นจะใช้วัสดุพิเศษที่สามารถดักของเหลวหรือละอองหยดของเหลวที่มีขนาดเล็กได้ถึง 1 ไมโครเมตร



รูปที่ 30 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Filter Separator (ด้านบน) และตัว Filters (ด้านล่าง)

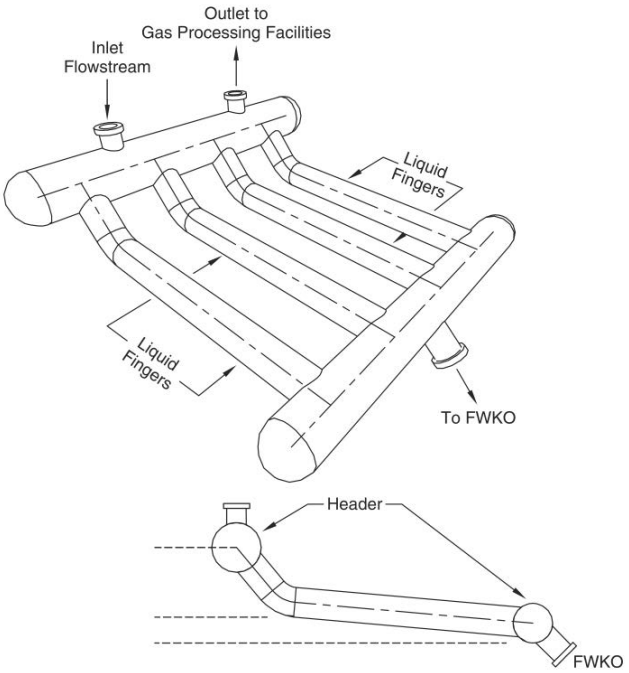
8. **Slug Catchers** เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อใช้ในระบบขนส่งก๊าซทางท่อที่สามารถรองรับปริมาณก๊าซได้สูงมากๆ ในขณะเดียวกัน

หากมีของเหลวไหลเข้ามาพร้อมกับก๊าซในรูปแบบ Slug (ของเหลวไหลมาขาดๆ หายๆ ไม่สม่ำเสมอ และในแต่ละครั้งอาจมีปริมาณมากทันทีทันใด ดูรูปที่ 2) เครื่องชนิดนี้มีขีดความสามารถรองรับของเหลวดังกล่าวและแยกของเหลวดังกล่าวออกไป

เมื่อของไหล 2 สถานะซึ่งประกอบด้วยก๊าซและของเหลวที่ไหลมาแบบ Slug ไหลเข้ามาทางช่องส่วนบนซึ่งดูเหมือนเป็นท่อรวม Header (ดูรูปที่ 31) ของเหลวจะถูกแบ่งให้ไหลลงไปในท่อด้านล่างผ่านเส้นทางท่อต่อเชื่อมระหว่างกันที่มีทั้งจำนวนและขนาดท่อใหญ่เพียงพอในการรองรับของเหลวที่เข้ามาทันทีทันใดซึ่งเสมือนหนึ่งทำหน้าที่คล้ายแก้มลิงนั้นเอง ส่วนก๊าซก็จะไหลออกไปอีกด้านหนึ่ง จากนั้นของเหลวจะถูกรวบรวมไว้ที่ท่อรวม Header ด้านล่างและถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์แยกน้ำออกจากของเหลว/ของแข็ง ที่มีชื่อเรียกว่า 3-Phase Free Water Knockout Drum (FWKO) ต่อไป รูปแบบการไหลเช่นนี้จะพบในระบบขนส่งก๊าซทางท่อจากแหล่งขุดเจาะหลุมก๊าซที่อยู่ห่างไกลซึ่งของไหลที่ออกมาจากหลุมก๊าซจะประกอบด้วยทั้งก๊าซ, ของเหลวหลายชนิดปนออกมา รวมทั้งของแข็งจำพวกขี้โคลน เม็ดทราย หรือ ฯลฯ ซึ่งสิ่งของที่ว่านี้จะไหลออกมาพร้อมๆ กันโดยไม่สามารถควบคุมปริมาณได้แน่นอนมากนัก

9. **Scrubbers** เครื่องกำจัดไอหรืออากาศชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อดึงของเหลวออกจากก๊าซที่ผ่านกระบวนการผลิตหรือเมื่อก๊าซเปลี่ยนแปลงสถานะขณะไหลอันเนื่องจากความดันลดลงหรืออุณหภูมิลดลงทำให้ก๊าซควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งปกติจะถูกติดตั้ง

- ก่อนทางเข้าเครื่องจักร เช่น Compressor ซึ่งอาจได้รับความเสียหายได้หากมีของเหลวเข้าระบบการทำงาน
- หลังทางออกของเครื่องมือที่ก่อให้เกิดของเหลวควบแน่นแยกตัวออกจากก๊าซ เช่น ตัวระบายความร้อน (Cooler)
- ก่อนท่อระบายอากาศ (Vent) หรือท่อ Vent ที่ต่อไปยัง Flare (เป็นท่อตำแหน่งปลายท่อจุดติดไฟตลอดเวลาเพื่อเผาก๊าซที่กำจัดออกจากระบบ)



รูปที่ 31 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบ Slug Catchers

เราพอเปรียบเทียบคุณสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในการทำงานได้ตามตารางที่ 2

ทฤษฎีการออกแบบ (Design Theory)

จากเนื้อหาก่อนหน้านี้เราได้แยกแยะขั้นตอนการทำงานของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศว่ามี 3 ขั้นตอนหลักคือ

1. เกิดการแยกของไหล 2 สถานะระหว่างก๊าซและของเหลวครั้งแรกเมื่อของไหล 2 สถานะไหลเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไปกระแทกกับ Inlet Device หรือ Inlet Diverter (ดูรูปที่ 7) โดยใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางและความเร็วการเคลื่อนที่ของไหล 2 สถานะเพื่อใช้หลักการที่ว่าโมเมนตัมเนื่องจากมวลของก๊าซ

และของเหลวมีค่าแตกต่างกันทำให้ก๊าซเคลื่อนที่แนบไปกับ Inlet Diverter แล้วลอยขึ้นไป ส่วนของเหลวที่มีโมเมนตัมสูงกว่าจะตกลงมายังส่วนรองรับของเหลวด้านล่างของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

	แนวตั้ง	แนวนอน	แนวตั้ง + Mist Extractor	แนวนอน + Mist Extractor
Gas Handing				
• Max Capacity	Low	Low	Moderate	Moderate
• Turndown (Max/Min Flow)	∞	∞	2	2
Liquid Removal Efficiency				
• Overall, %	90	90	>98	>98
• With Respect to Fine Mist	Very Low	Very Low	Very High	Very High
Liquid Handling Capacity				
• As Slugs	High	Very High	High	Very High
• As Droplets (Q_T)	High	High	High	High
Fouling Tolerance				
• Sand	Very High	Very High	Low	Low
• Sticky Material	Very High	Very High	Very Low	Very Low
Pressure Drop	Very Low	Very Low	Low	Low

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งและแนวนอน

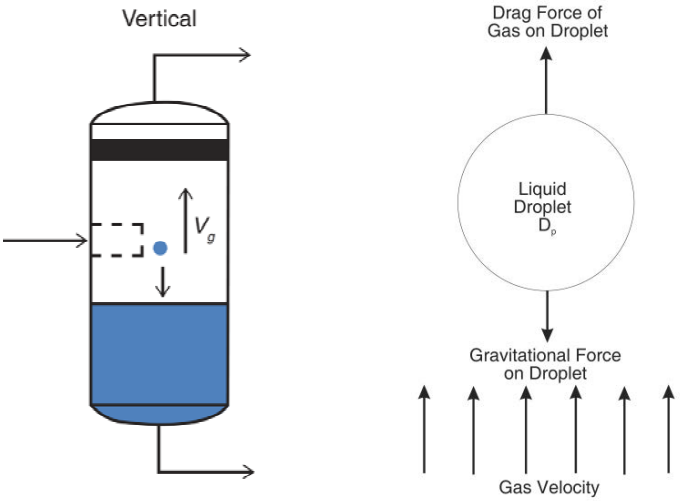
2. ขั้นตอนการแยกของไหล 2 สถานะขั้นตอนที่ 2 ใช้การแยกแยะหยดของเหลว (Droplets) ที่มีขนาดเล็กหรือที่หลงเหลือจากขั้นตอนแรกซึ่งผสมและลอยอยู่ในก๊าซจะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่ออยู่ในส่วน “Gas Gravity Separation Section” ขณะที่ก๊าซซึ่งมีหยดของเหลวผสมอยู่เคลื่อนตัวไปทางออกของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

3. ขั้นตอนแยกของไหล 2 สถานะขั้นตอนสุดท้ายเกิดขึ้นบริเวณก่อนท่อทางออกเครื่องกำจัดไอหรืออากาศส่วนที่เรียกว่า “Mist Extraction Sector” โดยหยดของเหลว (Droplets) ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่หลงเหลือเล็ดรอดจากขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 จะเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับ Mist Extraction จากนั้นรวมตัวกันเป็นหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่เพียงพอแล้วตกลงมายังส่วนรองรับด้านล่าง

ด้วยเหตุนี้ปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ และการเลือกใช้เครื่องกำจัดไอหรืออากาศให้เหมาะสมกับความต้องการจึงต้องพิจารณาขีดความสามารถของการแยกก๊าซออกจากของเหลวหรือแยกของเหลวออกจากก๊าซสำหรับของไหล 2 สถานะ ส่วนหลักๆที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 จากที่กล่าวไว้ดังข้างบนซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในส่วน Gas Gravity Separation Section ปัจจัยที่สำคัญดังกล่าวในการบ่งบอกปริมาณการแยกของเหลวออกจากก๊าซในของไหล 2 สถานะนั้นคือความเร็วของการตกลงมาของหยดของเหลวในก๊าซที่มันผสมอยู่นั้นเอง

การปรากฏตัวของของเหลวที่ผสมอยู่ในส่วนที่เป็นก๊าซของของไหล 2 สถานะจะปรากฏตัวอยู่ในรูปของหยดของเหลวที่มีทั้งขนาดหยดของเหลวและปริมาณหยดของเหลวที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเมื่อหยดของเหลวซึ่งผสมอยู่ในส่วนที่เป็นก๊าซตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกขณะที่ก๊าซในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไหลเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้น (ดูรูปที่ 32 ซ้ายมือ) เพื่อไหลออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในท่อทางออกซึ่งอยู่บริเวณด้านบน เราจึงต้องหาความเร็วของการตกลงมาของหยดของเหลวในส่วน Gas Gravity Separation Section ด้วยการหาสภาวะสมดุลของแรง (ดูรูปที่ 32 ขวามือ) จะมีแรงกระทำต่อหยดของเหลว (droplet) ซึ่งสมมุติให้มีรูปร่างทรงกลม 3 แรงด้วยกันคือ

1. แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity Force); F_G
2. แรงลอยตัว (Buoyancy force); F_B
3. แรงฉุด หรือแรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag Force); F_D



รูปที่ 32 สภาวะแรงกระทำต่อหยดของเหลว (Droplets) ที่ผสมอยู่ในของไหล 2 สถานะในส่วนที่เป็นก๊าซภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

ในสภาวะดังกล่าวจะมีแรงกระทำต่อหยดของเหลว 3 แรงคือ แรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งกระทำในทิศทางลงเพื่อเร่งการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลก ขณะที่หยดของเหลวเคลื่อนที่ลงมาจะถูกแรงต้านการเคลื่อนที่กระทำรวมกับแรงลอยตัวของหยดของเหลวอันเนื่องจากหยดของเหลวไปแทนที่ปริมาตรของก๊าซรอบตัวมันซึ่งกระทำในทิศสวนทางกลับขึ้นไปเพื่อหน่วงอัตราการตกลงมาของหยดของเหลว ดังนั้นหากเพิ่มความเร็วของก๊าซให้ไหลเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นเพิ่มมากขึ้นนั้นจะเป็นผลให้เป็นการเพิ่มแรงต้านการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวให้มากขึ้นตามไปด้วย แต่หากแรงต้านการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวมีค่าคงที่โดยอนุมานให้ความเร็วของก๊าซที่ไหลออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีค่าคงที่แล้วแรงต้านการเคลื่อนที่คงที่ดังกล่าวจะกระทำหน้าที่หน่วงการตกลงของหยดของเหลวจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ความเร็วสัมพัทธ์ที่ตกลงมาจะมีค่าเท่ากับ “ศูนย์” และหยดของเหลวหยุดอยู่นิ่ง (เคลื่อนที่เสมือนหยุดนิ่ง) เมื่อนั้นผลรวมของแรงโน้มถ่วงของโลกจะมีค่าเท่ากับแรงลอยตัวบวกกับแรงต้านการ

เคลื่อนที่หรือผลรวมของแรงกระทำต่อหยดของเหลวทั้งหมดมีค่าเท่ากับศูนย์ส่งผลให้ความเร่งของหยดของเหลวมีค่าเท่ากับศูนย์ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ภายหลังสภาวะสมดุลหยดของเหลวจะตกลงมาด้วยความเร็วคงที่ (ความเร่งเท่ากับศูนย์) ด้วยความเร็วเรียกว่า “**Terminal Velocity**” หรือ “**Settling Velocity**” ดังนั้นหากความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านหยดของเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มความเร็วขึ้น หยดของเหลวก็จะเคลื่อนที่ขึ้นตามไปด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ความเร็วของหยดของเหลวเข้าใกล้ค่าความเร็วของก๊าซ ระบบการเคลื่อนที่ของมวลหยดของเหลวก็จะกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลของแรงอีกครั้งหนึ่งและหยดของเหลวจะตกลงมาด้วยความเร็วคงที่เรียกว่า “Terminal Velocity” หรือ “Settling Velocity” อีกครั้งหนึ่ง ทั้งหมดที่กล่าวมานี้คือหลักการพื้นฐานในการออกแบบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่จะกล่าวต่อไป

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ผลของการกระทำของแรงทั้ง 3 ต่อหยดของเหลวให้เคลื่อนที่ในทิศทางของผลรวมของแรงผลลัทธ์ทั้ง 3 แรงและหากต้องการให้หยดของเหลวแยกตัวออกจากก๊าซที่มันผสมอยู่ได้ก็ต่อเมื่อแรงโน้มถ่วงของโลกเอาชนะผลรวมของแรงต้านการเคลื่อนที่กับแรงลอยตัว จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i(t) = m_d \bar{a}(t) \tag{1}$$

จะได้ว่า

1 แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity Force); F_G

$$F_G = \rho_L V_d g \tag{2}$$

2 แรงลอยตัว (Buoyancy force); F_B

$$\begin{aligned} F_B &= -\rho_V V_d g \\ &= -\frac{\rho_V m_d g}{\rho_L} \end{aligned} \tag{3}$$

3 แรงฉุด หรือแรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag Force); F_D

$$
\begin{aligned}
F_D &= -\left(\frac{\rho_V U_V^2}{2}\right) C_D A_d \\
&= -\left(\frac{\rho_V U_V^2}{2}\right) C_D \frac{\pi D_d^2}{4} \\
&= -\left(\frac{\rho_V U_V^2}{8}\right) C_D \pi D_d^2
\end{aligned}
\tag{4}
$$

โดยให้ทิศตามแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเป็น (+)

เมื่อ

ρ_L = ความหนาแน่นของเหลว; (lb./ft^3)

ρ_V = ความหนาแน่นของก๊าซ; (lb./ft^3)

m_d = มวลของหยดของเหลว (Droplet mass); (lb_f)

U_V = ความเร็วก๊าซ; (ft./s)

C_D = สัมประสิทธิ์ต้านทานการเคลื่อนที่ (Drag Coefficient)

V_d = ปริมาตรของหยดของเหลว; (ft^3)

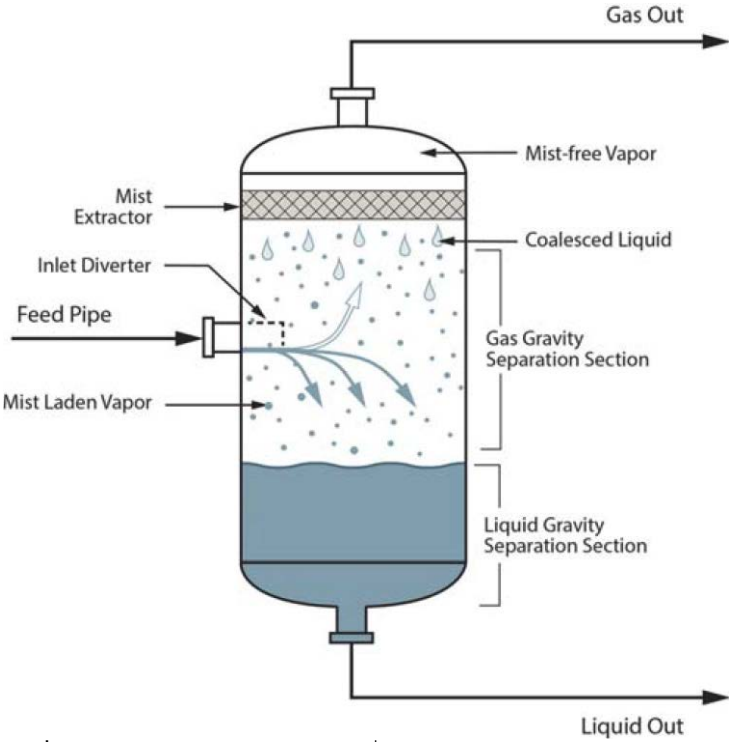
A_d = พื้นที่ตัดขวาง (Project Areas) ของหยดของเหลวทรงกลมที่ขวางการทิศทางเคลื่อนที่; (ft.)

D_d = ขนาดหยดของเหลวรูปทรงกลม (Droplet diameter); (ft.)

g = ความเร่งโน้มถ่วงของโลก; 32.17 ft./s^2

ดังนั้นหยดของเหลวที่มีน้ำหนักเพียงพอจะตกลงมาด้วยความเร็วคงที่ (Constant Terminal Velocity) หรือ “Droplet Settling” พิจารณากฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จะได้ว่า

$$
\sum_{i=1}^{n} \bar{F}_i(t) = m_d \bar{a}(t) = m_d \frac{dU}{dt} \tag{5}
$$



รูปที่ 33 หยดของเหลว (Droplets) ที่ผสมอยู่ในของไหล 2 สถานะ ในส่วนที่เป็นก๊าซภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

แทนค่าของแรงที่กระทำต่อหยดของเหลวจากสมการ (1), (2) และ (3) ลงไปในสมการ (5)

$$\begin{aligned} m_d \frac{dU}{dt} &= F_G + F_B + F_D \\ &= m_d g - \frac{\rho_V m_d g}{\rho_L} - \left(\frac{\rho_V U_V^2}{8}\right) C_D \pi D_d^2 \end{aligned} \tag{6}$$

จัดรูปสมการ (6) เพื่อพิจารณาความเร่งของการเคลื่อนที่ของหยดของเหลว

$$\frac{dU}{dt} = g - \frac{\rho_V g}{\rho_L} - \left(\frac{\rho_V U_V^2}{8}\right) \frac{C_D \pi D_d^2}{m_d} \tag{7}$$

เมื่อหยดของเหลวเคลื่อนที่ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่า g คงที่ เท่ากับ 32.17 ft./s^2 (9.81 m/s^2) จนกระทั่ง**ความเร่งเข้าใกล้ "ศูนย์"** ณ จุดนี้ถือเป็นจุดสมดุลระหว่างแรงต้านการเคลื่อนที่กับแรงลอยตัวในแนวตั้งมีค่าเท่ากับแรงสุทธิ อันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกระทำต่อหยดของเหลว ทำให้หยดของเหลวเคลื่อนที่เข้าใกล้**ความเร็วคงที่**และถือว่าเป็นค่า**ความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity)** เราจึงเรียกค่าความเร็วนี้อีกชื่อหนึ่งว่า **"Terminal Velocity"**(U_T) จึงได้ว่า

$$\frac{dU}{dt} = g - \frac{\rho_V g}{\rho_L} - \left(\frac{\rho_V U_V^2}{8}\right)\frac{C_D \pi D_d^2}{m_d} = 0 \qquad (8)$$

ดังนั้น

$$U_V \Rightarrow U_T \qquad (9)$$

จัดรูปสมการ (8)

$$\begin{aligned} U_T &= \sqrt{\frac{8gm_d(\rho_L - \rho_V)}{\rho_L \rho_V C_D \pi D_d^2}} \\ &= \sqrt{\frac{8g\rho_L V_d(\rho_L - \rho_V)}{\rho_L \rho_V C_D \pi D_d^2}} \\ &= \sqrt{\frac{8g\rho_L\left(\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D_d}{2}\right)^3\right)(\rho_L - \rho_V)}{\rho_L \rho_V C_D \pi D_d^2}} \\ &= \sqrt{\frac{4gD_d(\rho_L - \rho_V)}{3C_D\rho_V}} \end{aligned} \qquad (10)$$

ด้วยเหตุนี้ตราบใดที่ความเร็วตกลงมาของหยดของเหลวมีค่าน้อยกว่าความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity ($U_V < U_T$) หยดของเหลวเหล่านั้นก็ยังคงตกลงมาสะสมในส่วนรองรับของเหลว

ด้านล่าง นั้นหมายถึง เครื่องกำจัดไอหรืออากาศยังคงทำหน้าที่ของมันต่อไป โดยปกติแล้วในการออกแบบเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจะยอมให้ U_V มีค่าอยู่ระหว่าง

$$0.75U_T \leq U_V \leq U_T \tag{11}$$

จากนั้นจัดรูปสมการ (10) ใหม่ตาม Sauders-Brown (ชื่อผู้เสนอผลงานวิจัยเรื่องนี้) จะได้ สมการ**"Terminal Velocity"**(U_T)

$$U_T = K\sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}} \tag{12}$$

เมื่อ Separator K Valves มีค่าเท่ากับ

$$K = \sqrt{\frac{4gD_d}{3C_D}} \tag{13}$$

ขนาดหยดของเหลว (Droplet Sizes) $\mathbf{d_{v50}}$

สำหรับขนาดหยดของเหลว (Droplet Sizes) ที่ผสมในก๊าซของของไหล 2 สถานะซึ่งไหลอยู่ภายในท่อพอจะคำนวณได้จากสมการของ Kataoka, I., Ishii, M., and Mishima, K. (1983) เพื่อหาค่า d_{v50} (the volume median diameter)

$$d_{v50} = 0.01\left(\frac{\sigma}{\rho_V {U_V}^2}\right)\mathrm{Re}_V^{2/3}\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{-1/3}\left(\frac{\mu_V}{\mu_L}\right)^{2/3} \tag{14}$$

$$\mathrm{Re}_V = \frac{DU_V\rho_V}{\mu_V} \tag{15}$$

เมื่อ

d_{v50} = เส้นผ่านศูนย์กลางหยดของเหลว (Volume Median Diameter); (ft.)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ; (ft.)

σ = ความตึงผิวของของเหลว (Liquid Surface Tension); (poundal/ft.) (1 dyne/cm = 0.0022 poundal/ft.) ดูตารางที่ 3

ρ_L = ความหนาแน่นของเหลว; (lb/ft^3)

ρ_V = ความหนาแน่นของก๊าซ; (lb/ft^3)

U_V = ความเร็วก๊าซ (Gas Velocity); (ft./sec)

Re = Reynold's Number

μ_V = ความหนืดก๊าซ (Gas Viscosity); (lb./ft.-sec)

μ_L = ความหนืดของเหลว (Liquid Viscosity); (lb./ft.-sec)

TABLE 1—TYPICAL LIQUID SURFACE TENSION VALUES

Fluid system	Liquid surface tension, dyne/cm
Water/gas	72
Light crude oil/gas	32
Heavy crude oil/gas	37
Condensate/gas	25
Liquid petroleum gas/gas	10
Natural gas liquids (high C_2)/gas	5
Triethylene glycol	45
Amine solutions	45–60

Values at atmospheric pressure and 60°F
1 dyne/cm=0.0022 poundal/ft

ตารางที่ 3 ค่าความตึงผิวของเหลว

สัมประสิทธิ์ต้านการเคลื่อนที่ (Drag coefficient) C_D

แต่เนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับ C_D และ C_D ก็ขึ้นอยู่กับ Reynold's Number ซึ่งเป็นค่าของอัตราส่วนของความเฉื่อยเนื่องจากมวล, แรงหนืดและขนาดของหยดของเหลว (droplet diameter) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$Re_d = \frac{\rho_V U D_d}{\mu_V} \qquad (16)$$

เมื่อ

ρ_V = ความหนาแน่นของก๊าซ (lb/ft^3)

μ_V = ความหนืดสัมบูรณ์ของก๊าซ ; (cP)

U = ความเร็วของก๊าซไหลผ่านหยดของเหลวเทียบกับความเร็วของหยดของเหลว; (ft./sec)

D_d = ขนาดหยดของเหลวรูปทรงกลม (Droplet diameter); (ft.)

C_D (Drag coefficient) สำหรับวัตถุรูปทรงกลมราบเรียบสามารถประมาณค่า C_D ได้ตามผลงานของ Bird, 1960 ในรูปที่ 34 เมื่อพิจารณาตามค่า Reynold's Number แบ่งเป็น 3 กรณี

1. เมื่อของไหล (ก๊าซ) รอบๆ หยดของเหลวเป็นรูปแบบ Laminar Flow โดยมีค่า Reynold Number น้อยกว่า 1 แล้วค่า C_D ซึ่งจะอยู่ภายใต้กฎ Stokes' Law จะได้ว่า

$$C_D = \frac{24}{Re_d} \qquad \text{เมื่อ} \qquad Re_d < 1 \qquad (17)$$

2. เมื่อของไหล (ก๊าซ) รอบๆ หยดของเหลวสูงขึ้นมาอีกจากรูปแบบ Laminar Flow ถือเป็นช่วง Intermediate Flow ค่า C_D ซึ่งจะอยู่ภายใต้กฎ Intermediate Law จะได้ว่า

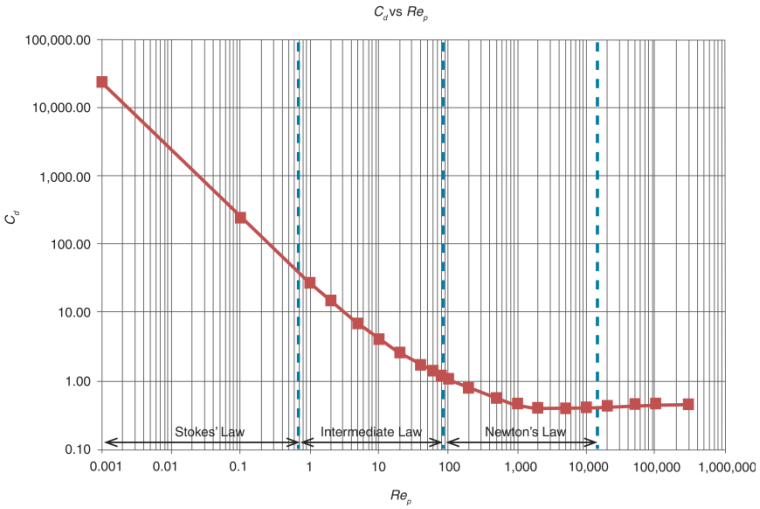
$$C_D = \frac{18.5}{Re_d^{3/5}} \qquad \text{เมื่อ} \qquad 1 < Re_d < 500 \qquad (18)$$

3. เมื่อของไหล (ก๊าซ) รอบๆ หยดของเหลวเป็นรูปแบบ Turbulent Flow ค่า C_D ซึ่งจะอยู่ภายใต้กฎ Newton's Law จะได้ว่า

$$C_D = 0.44 \qquad \text{เมื่อ} \qquad 500 < Re_d < 200{,}000 \qquad (19)$$

หรือใช้ค่าของ Gerhart, 1985 ซึ่งทำการรวมเป็นสูตรเดียวกันไปเลย

$$C_D = \frac{24}{Re_d} + \frac{6}{1+\sqrt{Re_d}} + 0.4 \quad \text{เมื่อ} \quad Re_d < 200{,}000 \tag{20}$$



รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ของ C_D กับ Reynold Number สำหรับวัตถุทรงกลม

C_D (Drag coefficient) สำหรับวัตถุรูปทรงกลมได้จากกราฟ Fig 7-3 Drag Coefficient and Reynolds Number for Spherical Particles จาก Gas Processor Supplier Association (GPSA), Engineering Data Book ดังแสดงในรูปที่ 35 ซึ่งเมื่อทำการ Fitted Curve กราฟในรูปที่ 35 เฉพาะส่วนที่เป็นกราฟทรงกลม เราจะได้

$$C_D = \exp(Y) \tag{21}$$

เมื่อ

$$Y = 8.411 - 2.243X + 0.273X^2 - 0.01865X^3 + 0.0005201X^4 \tag{22}$$

$$X = \ln\left(\frac{0.95\times10^8 \rho_V D_d^3 (\rho_L - \rho_V)}{\mu_V{}^2}\right) \tag{23}$$

เมื่อ D_d มีหน่วยเป็น ft. (1 micron = 3.28084×10^{-6} ft.)

ρ_V มีหน่วยเป็น lb./ft^3

μ_V มีหน่วยเป็น cP

หรือจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$C_D = \frac{5.0074}{\ln(X)} + \frac{40.927}{\sqrt{X}} + \frac{44.07}{X} \qquad (24)$$

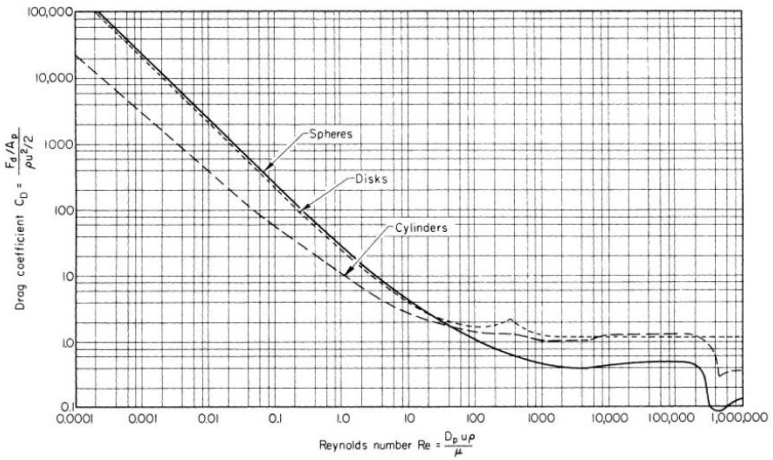


FIG. 6-57 Drag coefficients for spheres, disks, and cylinders: A_p = area of particle projected on a plane normal to direction of motion; C = overall drag coefficient, dimensionless; D_p = diameter of particle; F_d = drag or resistance to motion of body in fluid; Re = Reynolds number, dimensionless; u = relative velocity between particle and main body of fluid; μ = fluid viscosity; and ρ = fluid density. (*From Lapple and Shepherd,* Ind. Eng. Chem., **32,** *605 [1940].*)

รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ C_D กับ Reynold Number สำหรับวัตถุทรงกลม (Fig 7-3 Drag Coefficient and Reynolds Number for Spherical Particles จาก Gas Processor Supplier Association (GPSA), Engineering Data Book)

Separator K Valves หรือ Design Parameter K หรือ Sizing Parameter

เนื่องจากค่า Separator K Valves ถือว่ามีความสำคัญในการกำหนดขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ รวมทั้งใช้ในการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Mist extractor ดังนั้นการเลือกค่า Separator K Valves จึงเป็นศาสตร์และ

ศิลปรวมทั้งจากประสบการณ์เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่มีผลต่อค่า Separator K Valves เช่น

- ความดันภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ
- อุณหภูมิของไหลภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของไหลอย่างมาก
- รูปร่างและลักษณะทางกายภาพของตัวเครื่องกำจัดไอหรืออากาศและชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายใน
- รูปแบบการไหลของไหลที่ส่งเข้ามายังเครื่องกำจัดไอหรืออากาศและไหลออกไปจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ
- การออกแบบอุปกรณ์สำคัญๆ เช่น Inlet Device
- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเหลวและก๊าซ
- ลักษณะและรูปแบบ ตลอดจนขีดความสามารถของ Mist Extractor เป็นต้น

การหาค่า Separator K Valves ได้จาก

1. **กรณีที่ไม่มี Mist Extractor อยู่ภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ** เนื่องจากค่า K ทางทฤษฎีในสมการ (13) ของหยดของเหลวที่ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงตามทิศทางแนวตั้ง ซึ่งเราสามารถทำการคำนวณตามทฤษฎีด้วยการใช้สมการ (13) และหาค่า C_D (Drag Coefficient) จากสมการ (15), (16), (17), (18) หรือ (19) หรือจากกราฟในรูปที่ 35 หรือคำนวณได้ดังนี้

$$K = \sqrt{\frac{4gD_d}{3C_D}} \qquad \text{ft./s} \qquad (13)$$

และ

$$C_D = \frac{5.0074}{\ln(X)} + \frac{40.927}{\sqrt{X}} + \frac{44.07}{X} \qquad (24)$$

2. **กรณีที่มี Mist Extractor อยู่ภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ** ในกรณีที่เครื่องกำจัดไอหรืออากาศมี“coalescing devices” หรือที่เรียกว่า Mist Extractor พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวจะเปลี่ยนแปลงเมื่อหยดของเหลวกระทบกับ Mist Extractor ซึ่งยากมากในทางปฏิบัติที่จะหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลวเพื่อนำกลับมาใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าจากประสบการณ์และเจ้าของผู้ผลิต Mist Extractor หรือแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

2.1. **GAS Processor Supplier Association (GPSA), Engineering Data Book** กำหนดให้ค่า K ตามตารางที่ 4 หรือมีค่า **$0 < P < 1500$ Psig** ให้ใช้ค่า K เท่ากับ

$$K = 0.35 - 0.01\left(\frac{P-100}{100}\right) \quad \text{ft./s} \qquad (25)$$

เมื่อ P เป็นความดันออกแบบของ เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

Separator Type	Pressure (psig)	K Factor (ft/s)
• Horiz with Vert pad		0.40 – 0.50
• Vert/Horiz with Horiz Pad	Atmospheric	0.35
	300	0.33
	600	0.30
	900	0.27
	1500	0.21
	Vacuum	0.20

ตารางที่ 4 GPSA K Factors

ภายใต้เงื่อนไข :

- K = 0.35 at 100 psig; subtract 0.01 for every 100 psi above 100 psig
- Most vapor under vacuum K = 0.2
- For glycol and amine solution, multiple K by 0.6 - 0.8

- For vertical Vessels without mist eliminators, divide K by 2
- For compressor suction scrubber, mole sieve scrubbers and expand inlet separators, multiple K by 0.7 – 0.8

2.2. **API Specification 12J,** 2009 อยู่บนเงื่อนไขเมื่อมี Mist Extractor และขนาดหยดของเหลวต้องใหญ่กว่า 10 micron (ดูตารางที่ 5)

Table C.1—K-factors for Determining Maximum Allowable Superficial Velocity

Type Separator	Height or Length L (ft)	Typical K-factor Range
Vertical	5 10	0.12 to 0.24 0.18 to 0.35
Horizontal	10 Other Lengths	0.40 to 0.50 $0.40 \text{ to } 0.50 \times (L/10)^{0.56}$
Spherical	All	0.2 to 0.35

ตารางที่ 5 K Factors จาก API Specification 12J

สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน พบว่าทิศทางของแรงโน้มถ่วงของโลกและทิศทางของแรงต้านการเคลื่อนที่ไม่ได้กระทำต่อหยดของเหลวในทิศทางตรงกันข้ามกันอีกต่อไปแล้ว (ดูรูปที่ 36) ดังนั้นการใช้ค่า K ทางทฤษฎีของหยดของเหลวตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงตามทิศทางแนวตั้งในสมการ (13) จึงไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป แต่ในทางปฏิบัติพบว่าความเร็วในแนวนอนจะมีค่าความเร็วสูงกว่าความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity (U_T) ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องมีค่าสัมประสิทธิ์คูณค่า K ทางทฤษฎีของหยดของเหลวตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงตามทิศทางแนวตั้งในสมการ (13) ดังสมการ

$$K_H = F \times K_V \tag{26}$$

เมื่อ

K_V = ค่า K ทางทฤษฎีของหยดของเหลวตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงตามทิศทางแนวตั้งในสมการ (13)

K_H = ค่า K ทางทฤษฎีของหยดของเหลวตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงตามทิศทางแนวนอน

F = ตัวแก้ไขปรับค่า

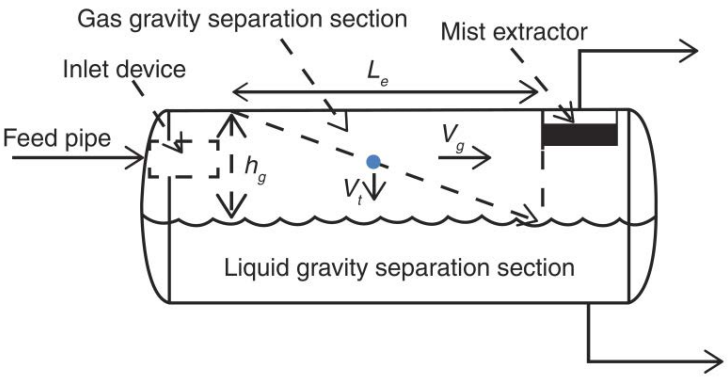
ทั้งนี้ตัวแก้ไขปรับค่า F นี้อาจเป็นค่าที่ได้จากประสบการณ์จริง หรือจากความจริงที่ว่าหยดของเหลวที่ตกลงมาในแนวตั้งฉากตามทิศทางแรงโน้มถ่วงของโลกจะใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของหยดของเหลวที่ต้องเคลื่อนที่ในทิศทางแนวนอนจากท่อทางเข้าไปยังท่อทางออกของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ดังนั้นตัวแก้ไขปรับค่าจึงมีค่าเท่ากับ

$$F = \frac{L_e}{H_V} \tag{27}$$

เมื่อ

L_e = the effective horizontal length of travel of the liquid droplet

H_V = is the vertical distance from the inlet to the liquid surface (ในรูปที่ 36 นั้น $h_g = H_V$)



รูปที่ 36 ระยะทางที่เพียงพอให้หยดของเหลวสามารถแยกตัวออกจากก๊าซเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอนได้ (L_e) ก่อนไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไปพร้อมกับก๊าซ ($H_V = h_g$.สำหรับในรูปนี้)

ระดับความสูงของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

ในการกำหนดขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบควบคุมต่างๆ โดยเฉพาะการรักษาระดับของเหลวและความดันภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ เพื่อให้ระบบการทำงานของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศสอดคล้องและสอดรับกับอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทางของเครื่องด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการควบคุมรักษาระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ จึงกำหนดให้

1. Normal Liquid Level Height; NLL หมายถึงระดับความสูงของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศภายใต้การทำงานปกติ

2. Low Liquid Level Height; LLL หมายถึงระดับความสูงของเหลวต่ำสุดภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่เครื่องยังสามารถทำงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทาง

3. High Liquid Level Height; HLL หมายถึงระดับความสูงของเหลวสูงสุดภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่เครื่องยังสามารถทำงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทาง

อีกทั้งกำหนดให้

Holdup Time for Control คือ ระยะเวลาที่ใช้ลดระดับของเหลวจากระดับความสูงปกติ (NLL) ให้เหลือของเหลวคงอยู่ที่ระดับต่ำสุด (LLL) ขณะทำการระบายของเหลวออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศด้วยอัตราการไหลปกติ โดยไม่ป้อนของไหลเข้าด้านทางเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแต่อย่างใด โดยปกติทั่วไปกำหนดเวลาไว้อยู่ในช่วงเวลา 1 ½ -3 นาทีหรือความสูง 12 นิ้ว (30 ซม) บวกกับระยะความสูงเผื่อการเกิดการไหลแบบ Slug ด้วยเหตุนี้ค่า Holdup Time จึงเป็นค่าที่อยู่บนพื้นฐานของการสำรองของเหลวในปริมาณที่ต้องการเพื่อรักษาการควบคุมการทำงานและความปลอดภัยของอุปกรณ์ด้านปลายน้ำ (Downstream) ลงไป

Surge Time คือ ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการเพิ่มของระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจากระดับความสูงปกติ (NLL) ให้เพิ่มระดับสูงขึ้น

ไปถึงระดับของเหลวที่ระดับสูงสุด (HLL) ขณะทำป้อนของไหล 2 สถานะเข้าเครื่องกำจัดไอหรืออากาศด้วยอัตราการไหลปกติโดยไม่ระบายของเหลวออกไปด้านท่อทางออกของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ในบางตำรากำหนดให้ Surge Time เป็นระยะเวลาระหว่างระดับต่ำสุด (LLL) ถึงระดับสูงสุด (HLL) แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนด Surge Time จะตั้งอยู่บนพื้นฐานความต้องการในการสะสมของเหลวเพิ่มขึ้นหรือลดลงอันเนื่องจากการทำงานผิดปกติของอุปกรณ์ต้นทาง (Upstream) และอุปกรณ์ปลายทาง (Downstream) ของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ เช่น อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใด (surge) เป็นต้น

ในกรณีที่ไม่ทราบหรือไม่มีการกำหนด Surge Time ไว้ให้ เราพอกำหนดค่า Surge Time มีค่าประมาณเท่ากับ ½ ของ Hold Time

ขั้นตอนการหาขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง (Vertical Two-Phase Separator)

เนื่องจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีหลายรูปแบบ ในที่นี้เราจะให้ความสนใจเฉพาะแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนเนื่องจากเป็นรูปแบบทั่วไปและพบบ่อยในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology)

ก่อนทำการคำนวณเรามีข้อตกลงว่า ***"ในการหาขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในที่นี้จะไม่รวมเอาปริมาตรบริเวณหัวและท้าย (Header) ของถังความดันที่ใช้เป็นเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ"***

1. คำนวณหาความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity (U_T) ของหยดของเหลว โดยใช้สมการ (20)

$$U_T = K\sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}} \qquad \text{ft./s} \qquad (28)$$

โดยกำหนดให้ $U_V = 0.75U_T$ เพื่อความปลอดภัยและการเผื่อขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไว้ในการออกแบบและการแยกตัวตกลงมาของหยดของเหลวจะยังคงเกิดขึ้นตราบใดที่ $U_V \leq U_T$

เมื่อ $$K = \sqrt{\frac{4gD_d}{3C_D}}$$

สำหรับการเลือกใช้ค่า K ให้เป็นไปตามหัวข้อ “Separator K Valves”

2. คำนวณหาอัตราการไหลปริมาตรก๊าซ (Actual Volume Flow Rate of Gas); Q_V

$$Q_V = \frac{W_V}{3600\rho_V} \quad ft^3/s \tag{29}$$

เมื่อ W_V = อัตราการไหลของก๊าซในเทอมน้ำหนักต่อชั่วโมง; (lb/hr)

3. คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) ของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ โดยตั้งสมมุติฐานให้ความเร็วตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

$$Q_V = U_V A \quad ft^3/s \tag{30}$$

$$U_V = \frac{Q_V}{A} = \frac{Q_V}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad ft./s \tag{31}$$

เมื่อ

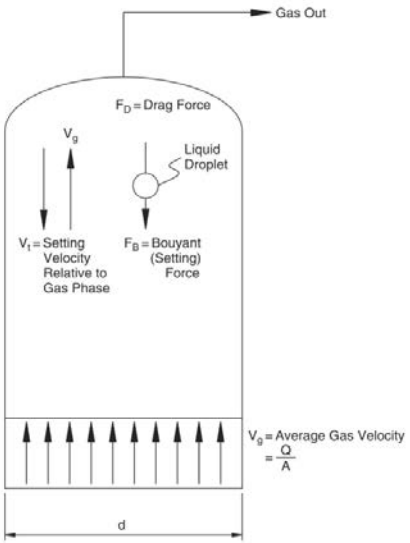
D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; (ft.)

A = พื้นที่หน้าตัดภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ; (ft^2)

U_V = ความเร็วของก๊าซไหลภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; (ft./sec)

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศซึ่งใช้หลักการแยกตัวตกลงมาของหยดของเหลวด้วยหลักการทำงานของแรงโน้มถ่วงของโลกต้องมี**ค่าเท่ากับหรือมากกว่า**ค่าที่คำนวณได้จากสมการ

$$D = \sqrt{\frac{4Q_V}{\pi U_V}} \quad ft. \tag{32}$$



รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ของความเร็ว, แรง และพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง

4. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันที่จะมาทำเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; D_{VD} ตามตารางที่ 6 (API SPEC 12J)

4.1. ในกรณีที่ทำการติดตั้ง Mist Extractor ต้องเผื่อระยะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 3 – 6 นิ้ว เพื่อทำการติดตั้งตัวยึดและตัวรองรับ Mist Extractor (D + 3 นิ้ว ถึง D +6 นิ้ว) จากนั้นนำไปเลือกขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศตามตารางที่ 7 โดยควรเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางภายในให้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่คำนวณได้บวกกับระยะเผื่อสำหรับติดตั้ง Mist Extractor

4.2. ในกรณีไม่ติดตั้ง Mist Extractor เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจะเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในข้างต้น จากนั้นนำไปเลือกขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศตามตารางที่ 7 โดยควรเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางภายในให้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่คำนวณได้

Table 2—Vertical Separators Size and Working Pressure Ratings

Nominal Diameter in.	Maximum Allowable Working Pressure psig @ 130°F						
16	—	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
20	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
24	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
30	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
36	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
42	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
48	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
54	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
60	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000

NOTE 1 Shell length is generally expanded in 2 1/2-ft increments measured from head seam to head seam and is typically 5 ft, 7 1/2 ft, or 10 ft. A minimum length-to-diameter ratio of 2.0 is normally used.

NOTE 2 Vessel diameter is generally expanded in 6-in. increments, measured either as outside diameter (OD) or inside diameter (ID). OD separators are normally furnished up to 24-in. diameter. Separators above this size may be either OD or ID vessels.

ตารางที่ 6 ขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง ณ สภาวะอุณหภูมิ 130 °F และความดันทำงาน

STANDARD VERTICAL SEPARATOR SIZES AS PER API SPEC 12J, D [in] x H or L [ft.]				
16 in x 5 ft	16 in x 7½ ft	16 in x 10 ft		
20 in x 5 ft	20 in x 7½ ft	20 in x 10 ft		
24 in x 5 ft	24 in x 7½ ft	24 in x 10 ft		
30 in x 5 ft	30 in x 7½ ft	30 in x 10 ft		
	36 in x 7½ ft	36 in x 10 ft	36 in x 15 ft	
	42 in x 7½ ft	42 in x 10 ft	42 in x 15 ft	
	48 in x 7½ ft	48 in x 10 ft	48 in x 15 ft	
	54 in x 7½ ft	54 in x 10 ft	54 in x 15 ft	
	60 in x 7½ ft	60 in x 10 ft	60 in x 15 ft	60 in x 20 ft

ตารางที่ 7 ขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง

5. คำนวณหาอัตราการไหลปริมาตรของเหลวที่ไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

$$Q_L = \frac{W_L}{60\rho_L} \qquad ft^3/min \qquad (33)$$

เมื่อ W_L = อัตราการไหลของของเหลวในเทอมน้ำหนักต่อชั่วโมง; (lb/hr)

6. จากนั้นทำการเลือก Holdup Time หรือ Retention Time ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (2-Phase Separator) จากตารางที่ 8

6.1. โดยหากเป็นน้ำมันสำเร็จรูปที่อาจเป็นโฟมหรือฟองได้ง่าย ก็ให้คูณระยะเวลาเพิ่มขึ้นอีก 2 ถึง 4 เท่าของระยะเวลาที่เลือกในตารางที่ 8

TABLE 3.2
Retention time for two-phase separators

°*API Gravity*	*Retention Time (min)*
35+	0.5–1
30	2
25	3
20–	4+

If foam exists, increase above retention times by a factor of 2–4.
If high CO_2 exists, use a minimum of 5-min retention time.

ตารางที่ 8 Holdup Time หรือ Retention Time ในเครื่องกำจัดไอ/อากาศ

6.2. ในกรณีที่เครื่องวัดระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศและมีระบบการควบคุมวาล์วปิด-เปิดท่อทางเข้าออกเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีคุณภาพปกติทั่วๆ ให้คูณด้วย Safety Factor เท่ากับ 1.2 และหากมีคุณภาพต่ำให้คูณด้วย Safety Factor เท่ากับ 1.5 ตามตารางที่ 9

6.3. แนวทางพิจารณาเลือกใช้เพิ่มเติมที่เหลือให้ใช้ตารางที่ 9 เป็นแนวทาง

7. เมื่อเลือก Holdup Time ได้แล้ว ทำการคำนวณปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time; (T_H) ดังกล่าว

$$V_H = T_H Q_L \quad ft^3 \tag{34}$$

8. หากไม่กำหนด Surge Time มา ให้เลือกใช้ Surge Time ; (T_S) มีค่าเท่ากับ ½ ของ Holdup Time หรือ Retention Time จากนั้นคำนวณปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time

$$V_S = T_S Q_L \quad ft^3 \tag{35}$$

Table 2. Liquid holdup and surge times.

Services	Holdup Times (NLL-HLL) min.	Surge Time (NLL-LLL) min.
A. Unit Feed Drum	10	5
B. Separators		
1. Feed to column	5	3
2. Feed to other drum or tankage		
a) with pump or through exchanger	5	2
b) without pump	2	1
3. Feed to fired heater	10	3
C. Reflux or product accumulator		
1. Reflux only	3	2
2. Reflux and product	3+	2+
• based on reflux (3 min.) + appropriate holdup time of overhead product (per B-1, 2,3)		
D. Column bottoms		
1. Feed to another column	5	2
2. Feed to other drum or tankage		
a) with pump or through exchanger	5	2
b) without pump	2	1
3. Feed to fired boiler	5-8	2-4
• based on reboiler vapor expressed as liquid (3 min.) + appropriate holdup time for the bottom product (per D-1, 2)		
E. Compressor suction/interstage scrubber		
• 3 min between *HLL (HLA)* and *HLSD*		
• 10 min from bottom tangent line to *HLA*		
F. Fuel gas knockout drum		
• 20 ft slug in the incoming fuel gas line between *NLL* and *HLSD*		
G. Flare knockout drum		
• 20 to 30 min. to *HLL*		

Personnel	Factor	Instrumentation	Factor
Experienced	1.0	Well instrumented	1.0
Trained	1.2	Standard instrumented	1.2
Inexperienced	1.5	Poorly instrumented	1.5

ตารางที่ 9 การเลือกค่า Liquid Holdup Time กับ Surge Time สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

9. กำหนดให้ความสูงของระดับของเหลวระดับต่ำ (Low Liquid Level Height; H_{LLL}) ตามตารางที่ 10

Table 3. Low liquid level height.

Vessel diameter	Vertical LLL		Horizontal LLL
	< 300 psia	> 300 psia	
≤ 4 ft	15 in.	6 in.	9 in.
6 ft	15 in.	6 in.	10 in.
8 ft	15 in.	6 in.	11 in.
10 ft	6 in.	6 in.	12 in.
12 ft	6 in.	6 in.	13 in.
16 ft	6 in.	6 in.	15 in.

ตารางที่ 10 ความสูงของระดับของเหลวระดับต่ำ (Low Liquid Level Height; H_{LLL}) สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง

10. คำนวณหาความสูงจากระดับของเหลวระดับต่ำ (Low Liquid Level Height; LLL) ไปยังระดับความสูงของเหลวปกติ (Normal Liquid Level Height; NLL) ซึ่งมีค่าเท่ากับ H_H (ดูรูปที่ 38) โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันที่จะนำมาทำเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; D_{VD} ตามค่าที่เลือกไว้ก่อนหน้านี้ในขั้นตอนที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ

$$H_H = \frac{V_H}{\frac{\pi D_{VD}^2}{4}} \quad \text{ft.} \tag{36}$$

กำหนดให้ค่า H_H มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 ft.

11. คำนวณหาความสูงจากระดับความสูงของเหลวปกติ (Normal Liquid Level Height; NLL) ไปยังระดับของเหลวระดับสูง (High Liquid Level Height; HLL) ซึ่งมีค่าเท่ากับ H_S (ดูรูปที่ 38) โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันที่จะมาทำเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; D_{VD} ตามค่าที่เลือกไว้ก่อนหน้านี้ในขั้นตอนที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ

$$H_S = \frac{V_S}{\frac{\pi D_{VD}^{\ 2}}{4}} \quad \text{ft.} \tag{37}$$

กำหนดให้ค่า H_S มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6 in

12. คำนวณหาความสูงจากระดับของเหลวระดับสูง (High Liquid Level Height; HLL) ไปถึงแนวจุดกึ่งกลางท่อทางเข้า (Inlet Nozzle) H_{LIN} (ดูรูปที่ 38)

$$H_{LIN} = 12 + d_N \quad \text{in, เมื่อ}\underline{\textbf{มี}}\text{อุปกรณ์ Inlet Diverter} \tag{38}$$

$$H_{LIN} = 12 + \frac{1}{2} d_N \quad \text{in, เมื่อ}\underline{\textbf{ไม่มี}}\text{อุปกรณ์ Inlet Diverter} \tag{39}$$

เมื่อ d_N คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้า (Inlet Nozzle)

$$d_N = \sqrt{\frac{4Q_M}{\left(\frac{\pi 60}{\sqrt{\rho_M}}\right)}} \quad \text{ft.} \tag{40}$$

เมื่อ

$$Q_M = Q_L + Q_V \quad \text{ft}^3/\text{s} \tag{41}$$

$$\rho_M = \rho_L \lambda + \rho_V (1-\lambda) \quad \text{lb/ft}^3 \tag{42}$$

$$\lambda = \frac{Q_L}{Q_L + Q_V} \tag{43}$$

เมื่อ

Q_m = อัตราการไหลปริมาตรของของไหล 2 สถานะ; (ft^3/s)

Q_L = อัตราการไหลปริมาตรของเหลวในของไหล 2 สถานะ; (ft^3/s)

Q_V = อัตราการไหลปริมาตรของก๊าซในของไหล 2 สถานะ; (ft^3/s)

ρ_M = ความหนาแน่นของของไหล 2 สถานะ; (lb/ft^3)

λ = Mixture Liquid Fraction

13. คำนวณหาความสูงส่วนที่เป็น Gravity Settling Section (ดูรูปที่ 38)

13.1. **กรณีไม่มี Mist Extractor**: ความสูงส่วนที่เป็น Gravity Settling Section จะเป็นระยะวัดจากแนวจุดกึ่งกลางท่อทางเข้า (Inlet Nozzle) ไปถึงแนวเชื่อมระหว่างรูปทรงกระบอกถึงรูปทรงโค้งมนหัวถัง โดยเลือกค่าใดค่าหนึ่งที่มีค่าต่ำสุด

$$H_D = 0.5D_V \quad \text{หรือ} \tag{44}$$

$$H_D = 36 + \frac{1}{2}d_N \quad \text{in} \tag{45}$$

13.2. **กรณีมี Mist Extractor**: ความสูงส่วนที่เป็น Gravity Settling Section จะเป็นระยะวัดจากแนวจุดกึ่งกลางท่อทางเข้า (Inlet Nozzle) ไปถึงใต้ท้อง Mist Extractor

$$H_D = 24 + \frac{1}{2}d_N \quad \text{in} \tag{46}$$

14. ระยะความสูงในส่วนที่ทำการติดตั้ง Mist Extractor ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; H_{ME} (ดูรูปที่ 38)

14.1. กรณีไม่มี Mist Extractor:

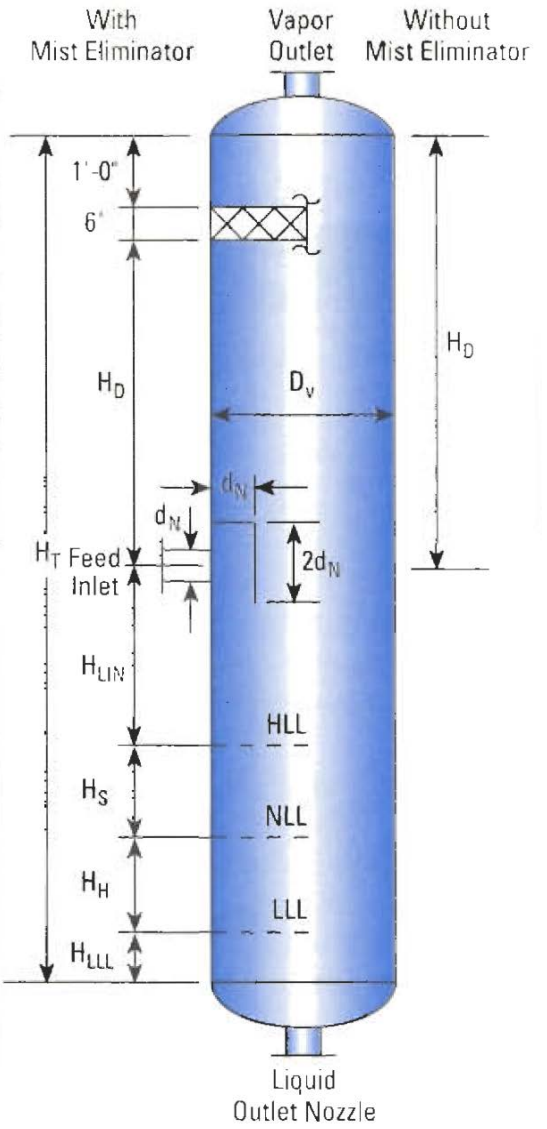
$$H_{ME} = 0 \quad \text{in} \tag{47}$$

14.2. กรณีมี Mist Extractor: กำหนดให้ Mist Extractor มีความหนา 6 นิ้ว (ระยะดังกล่าวอาจปรับเปลี่ยนตามระยะจริงที่เราเลือก Mist Extractor) และปล่อยระยะโล่งเหนือ Mist Extractor ขึ้นไปอีก 12 นิ้ว รวมเป็น 18 นิ้ว

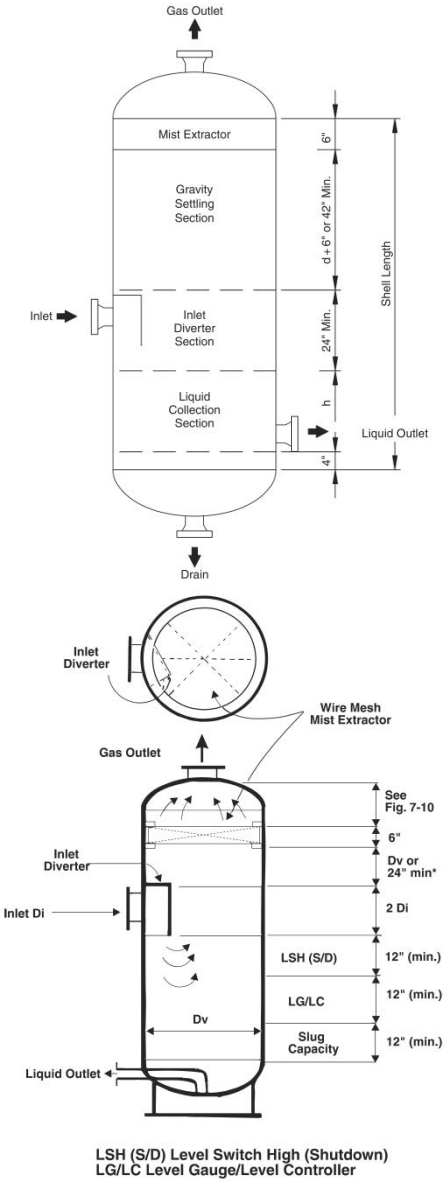
$$H_{ME} = 18 \quad \text{in} \tag{48}$$

15. จากนั้นทำการรวมค่าระยะความสูงทั้งหมด; H_T แล้วนำไปเลือกขนาด เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้งต่อไป จะได้ว่า

$$H_T = H_{LLL} + H_H + H_S + H_{LIN} + H_D + H_{ME} \quad \text{ft.} \tag{49}$$



รูปที่ 38 สรุปภาพรวมความสูงและระยะของระดับต่างๆ ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 39 สรุปภาพรวมความสูงและระยะของระดับต่างๆ ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง (อีกแบบ)

ขั้นตอนการหาขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน (Horizontal Two-Phase Separator)

ก่อนทำการคำนวณเรามีข้อตกลงว่า ***"ในการหาขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศในที่นี้จะไม่รวมเอาปริมาตรบริเวณหัวและท้าย (Header) ของถังความดันที่ใช้เป็นเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ"***

1. คำนวณหาอัตราการไหลปริมาตรก๊าซ (Actual Volume Flow Rate of Gas); Q_V

$$Q_V = \frac{W_V}{3600\rho_V} \quad ft^3/s \tag{50}$$

2. คำนวณหาอัตราการไหลของปริมาตรของเหลวซึ่งไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; Q_L

$$Q_L = \frac{W_L}{60\rho_L} \quad ft^3/min \tag{51}$$

3. คำนวณหากว่าความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity (U_T) โดยใช้สมการ (22)

$$U_T = K\sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}} \quad ft./s \tag{52}$$

โดยกำหนดให้ $U_V = 0.75U_T$ เพื่อความปลอดภัยและเผื่อขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศไว้

เมื่อ $K = \sqrt{\frac{4gD_d}{3C_D}}$

สำหรับการเลือกใช้ค่า K ให้เป็นไปตามหัวข้อ "Separator K Valves"

4. จากนั้นทำการเลือก Holdup Time หรือ Retention Time ในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศจากตารางที่ 8

4.1. โดยหากเป็นน้ำมันสำเร็จรูปที่อาจเป็นโฟมหรือฟองได้ง่ายก็ให้คูณระยะเวลาเพิ่มขึ้นอีก 2 ถึง 4 เท่าของระยะเวลาที่เลือกในตารางที่ 8

4.2. ในกรณีที่เครื่องวัดระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศและมีระบบการควบคุมวาล์วปิด-เปิดท่อทางเข้าออกเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีคุณภาพปกติทั่วๆ ให้คูณด้วย Safety Factor เท่ากับ 1.2 และหากมีคุณภาพต่ำให้คูณด้วย Safety Factor เท่ากับ 1.5 ตามตารางที่ 9

5. เมื่อเลือก Holdup Time (T_H) ได้แล้ว ทำการคำนวณปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time ; (V_H) ดังกล่าว

$$V_H = T_H Q_L \qquad ft^3 \qquad (53)$$

6. หากไม่กำหนด Surge Time มา ให้เลือกใช้ Surge Time ; (T_S) มีค่าเท่ากับ ½ ของ Holdup Time หรือ Retention Time จากนั้นคำนวณหาปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time; (V_S)

$$V_S = T_S Q_L \qquad ft^3 \qquad (54)$$

7. เลือกค่าอัตราส่วน L/D โดยการประมาณค่าตามกรอบในตารางที่ 11 จากนั้นนำมาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

$$D = \left(\frac{4(V_H + V_S)}{0.6\pi \frac{L}{D}} \right)^{\frac{1}{3}} \qquad ft. \qquad (55)$$

โดยปัดค่าที่คำนวณได้จากสมการ (55) ให้ใกล้เคียง 0.5 ft. จากนั้นคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ จะได้ว่า

$$A_T = \frac{\pi D^2}{4} \qquad ft^2 \qquad (56)$$

8. คำนวณหาความสูงของระดับของเหลวระดับต่ำ (Low Liquid Level Height; H_{LLL}) โดยใช้ ตารางที่ 10 หรือจากสมการ

Table 5. L/D ratio guidelines.

Vessel Operating Pressure (psig)	L/D
$0 < P \leq 250$	1.5-3.0
$250 < P \leq 500$	3.0-4.0
$500 < P$	4.0-6.0

ตารางที่ 11 แนวทางการเลือกอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน

Table 1—Horizontal Separators Size and Working Pressure Ratings

Nominal Diameter in.	Maximum Allowable Working Pressure psig @ 130°F						
12 3/4	—	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
16	—	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
20	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
24	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
30	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
36	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
42	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
48	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
54	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000
60	125	230	600	1,000	1,200	1,440	2,000

NOTE 1 Shell length is generally expanded in 2 1/2-ft increments measured from head seam to head seam and is typically 5 ft, 7 1/2 ft, or 10 ft. A minimum length-to-diameter ratio of 2.0 is normally used.

NOTE 2 Vessel diameter is generally expanded in 6-in. increments, measured either as outside diameter (OD) or inside diameter (ID). OD separators are normally furnished up to 24-in. diameter. Separators above this size may be either OD or ID vessels.

ตารางที่ 12 ขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน ณ สภาวะอุณหภูมิ 130 °F และความดันทำงาน

STANDARD HORIZONTAL SEPARATOR SIZES AS PER API SPEC 12J, D [in] x H or L [ft.]				
12¾ in x 5 ft	12¾ in x 7½ ft	12¾ in x 10 ft		
16 in x 5 ft	16 in x 7½ ft	16 in x 10 ft		
20 in x 5 ft	20 in x 7½ ft	20 in x 10 ft		
24 in x 5 ft	24 in x 7½ ft	24 in x 10 ft	24 in x 15 ft	
30 in x 5 ft	30 in x 7½ ft	30 in x 10 ft	30 in x 15 ft	
	36 in x 7½ ft	36 in x 10 ft	36 in x 15 ft	36 in x 20 ft
	42 in x 7½ ft	42 in x 10 ft	42 in x 15 ft	42 in x 20 ft
	48 in x 7½ ft	48 in x 10 ft	48 in x 15 ft	48 in x 20 ft
	54 in x 7½ ft	54 in x 10 ft	54 in x 15 ft	54 in x 20 ft
	60 in x 7½ ft	60 in x 10 ft	60 in x 15 ft	60 in x 20 ft

ตารางที่ 13 ขนาดเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน

$$H_{LLL} = 0.5D + 7 \quad \text{in.} \quad (57)$$

- เมื่อ D เป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมีหน่วยเป็น ft. ดังนั้นต้องปัดให้มีค่าใกล้เคียงหน่วยนิ้วให้มากที่สุด
- ถ้า $D \leq 4$ ft. ให้ใช้ค่า HLLL = 9 นิ้ว

9. ใช้สมการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูงระดับของเหลวเทียบกับสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดของเหลวที่ระดับความสูงนั้นๆสำหรับถังทรงแคปซูล (ดูรูปที่ 41) เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของเหลวตามแนวความยาวของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่ระดับความสูงของของเหลวนั้นๆ หรือในทางกลับกัน ได้ว่า

$$Y = \frac{(a + cX + eX^2 + gX^3 + iX^4)}{(1.0 + bX + dX^2 + fX^3 + hX^4)} \quad (58)$$

9.1. เมื่อเราต้องการเปลี่ยนสัดส่วนความสูง (H/D) ไปยังสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A/A_T)

จะให้ $Y = A/A_T$ และ $X = H/D$

เมื่อ

H = ระยะความสูงจากผนังถัง (แนวรัศมีถัง) ถึงระดับพื้นที่หน้าตัดที่ระดับความสูงของเหลว; ft.

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ; ft.

A_H = พื้นที่ผิวหน้าตัดที่ระดับ H ; ft^2

A_T = พื้นที่ผิวหน้าตัดทั้งหมดของถังแนวนอน; ft^2

$$A_T = \frac{\pi D^2}{4}$$

โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆมีค่าดังนี้

$a = 4.755930 \times 10^{-5}$	$b = 3.924091$
$c = 0.174875$	$d = -6.358805$
$e = 5.668973$	$f = 4.018448$

g = - 4.916411 h = - 1.801705

i = - 0.145348

9.2. เมื่อเราต้องการเปลี่ยนสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A/A_T) ไปยังสัดส่วนความสูง (H/D)

จะให้ Y = H/D และ X = A/A_T โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆมีค่าดังนี้

a = 0.00153756 b = 26.787101

c = 3.299201 d = - 22.923932

e = 24.353518 f = - 14.844824

g = - 36.999376 h = 10.529572

i = 9.892851

โดยคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_{LLL} เมื่อเราทราบระดับ H_{LLL} , D และ A_T จากความสัมพันธ์สัดส่วนความสูง (H_{LLL}/D) ไปยังสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A_{LLL}/A_T)

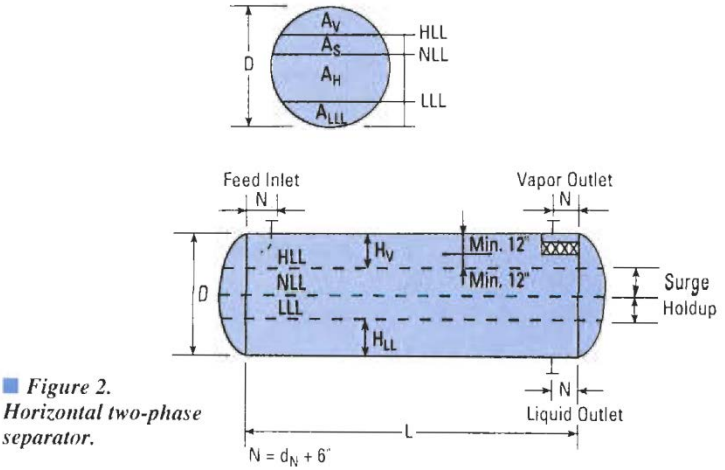


Figure 2. Horizontal two-phase separator.

รูปที่ 40 แนวทางการเลือกสัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน

10. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ระยะสูงสุดของส่วนที่เป็น Gravity Settling Section โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี

10.1. กรณีไม่มี Mist Extractor Pad: ระยะสูงสุดของพื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็น Gravity Settling Section มีค่ามากกว่า 0.2D หรือ 1 ft.

10.2. กรณีมี Mist Extractor Pad: ระยะความสูงของพื้นที่หน้าตัดส่วน Gravity Settling Section อย่างน้อยต้องมีค่ามากกว่า 0.2D หรือ 2 ft. เลือกค่าใดค่าหนึ่งที่มีค่ามากกว่า

ใช้สมการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูงเทียบกับสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด สำหรับถังทรงแคปซูล โดยคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_V เมื่อเราทราบระดับ H_V , D และ A_T จากความสัมพันธ์สัดส่วนความสูง (H_V/D) ไปยังสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A_V/A_T)

11. คำนวณหาความยาวอย่างน้อยสุดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน (L) เพื่อให้สามารถรองรับปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time และปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time

$$L = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLL}} \text{ ft.} \qquad (59)$$

เมื่อ

A_T = พื้นที่ผิวหน้าตัดทั้งหมดของถังแนวนอน; ft^2

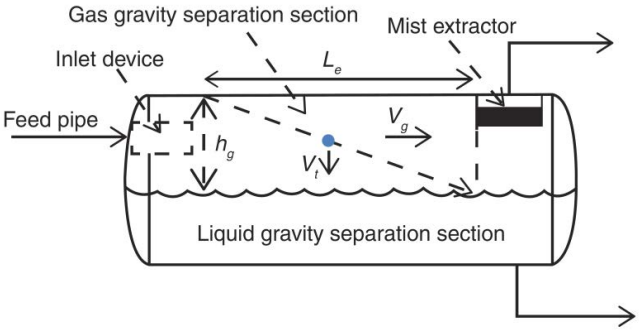
A_V = พื้นที่ผิวหน้าตัดที่ต้องการสำหรับการแยกก๊าซและของเหลวที่ระดับ H_V; ft^2

A_{LLL} = พื้นที่ผิวหน้าตัดที่เป็นระนาบผิวของเหลวที่ระดับ H_{LLL}; ft^2

A_S = พื้นที่ผิวหน้าตัดที่เป็นระนาบผิวของเหลวที่ที่ระดับ H_{NLL}; ft^2

V_S = ปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time; ft^3

V_H = ปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time; ft^3



รูปที่ 41 ความยาวหรือระยะทางต่ำสุดสำหรับหยดของเหลวสามารถแยกตัวออกจากก๊าซเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน ($H_V = h_g$ สำหรับในรูปนี้)

12. คำนวณหาเวลา "Liquid Dropout Time"; (T_{LDT})

$$T_{LDT} = \frac{H_V}{U_V} \quad \text{sec.} \tag{60}$$

13. คำนวณหาความเร็วก๊าซ (Actual Vapor Velocity); (U_{VA})

$$U_{VA} = \frac{Q_V}{A_V} \quad \text{ft./s} \tag{61}$$

14. คำนวณหาความยาวต่ำสุดสำหรับที่หยดของเหลวแยกตัวออกจากก๊าซในส่วน Gravity Settling Section; ($L_{e\text{-}MIN}$)

$$L_{e-MIN} = U_{VA} T_{LDT} \quad \text{ft.} \tag{62}$$

15. ตรวจสอบผลการคำนวณระหว่างค่าความยาวที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 11 เทียบกับขั้นตอนที่ 14 โดยพิจารณาได้ดังนี้

15.1. ถ้า $L > L_{e\text{-}MIN}$ ให้กำหนด $L = L_{e\text{-}MIN}$ เพื่อให้แน่ใจว่าหยดของเหลวได้แยกตัวตกลงมาจากการผสมอยู่ในก๊าซในส่วนบริเวณ Gravity Settling Section ได้ทันเวลา

15.2. ถ้า $L_{e\text{-}MIN} >> L$ ให้ทำการเพิ่มค่า H_V แล้วย้อนกลับไปทำการคำนวณในขั้นตอนที่ 10 เพื่อคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_V ค่าใหม่จนถึงขั้นตอนที่ 14 อีกครั้งแล้วทำการตรวจสอบ

15.2.1. ถ้า $L > L_{e\text{-}MIN}$ ถือว่าการออกแบบยอมรับได้

15.2.2. ถ้า $L >> L_{e\text{-}MIN}$ การทำให้ลดค่า L และเพิ่มค่า $L_{e\text{-}MIN}$ ด้วยการไปลดค่า H_V แต่เราจะสามารถลดค่า H_V ได้ก็ต่อเมื่อยังคงมีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 10 (10.1 และ 10.2) แต่หาก H_V มีค่าเท่ากับค่าต่ำสุดที่ระบุในขั้นตอนที่ 10 ก็ไม่สามารถปรับ H_V ได้อีก จากนั้นทำการคำนวณในขั้นตอนที่ 10 เพื่อคำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_V ค่าใหม่จนถึงขั้นตอนที่ 14 แล้วทำการตรวจสอบ

15.3. คำนวณหาสัดส่วน L/D (สัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ)

15.3.1. ถ้า $L/D > 6.0$ ให้ทำการเพิ่มค่า D แล้วทำการคำนวณใหม่เริ่มตั้งแต่ในขั้นตอนที่ 7 จนถึงขั้นตอนที่ 15 อีกครั้ง

15.3.2. ถ้า $L/D < 1.5$ ให้ทำการลดค่า D แล้วทำการคำนวณใหม่เริ่มตั้งแต่ในขั้นตอนที่ 7 จนถึงขั้นตอนที่ 15 อีกครั้ง

15.3.3. ถ้า $1.5 \leq L/D \leq 6.0$ ถือว่าการออกแบบยอมรับได้

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาด เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศเพื่อแยกของไหล 2 สถานะ

- มี Mist Extractor Pad เพื่อแยกละอองหยดของเหลว
- ทำงานที่ความดัน 975 psig และ
- มี Holdup Time และ Surge Time เท่ากับ 10 นาทีและ 5 นาที ตามลำดับ

- กำหนดอุณหภูมิออกแบบไว้ที่ 650 °F โดยมี ของไหล 2 สถานะ ประกอบด้วย
  - ก๊าซมีอัตราการไหล 145,600 lb/h, ด้วยค่าความหนาแน่นก๊าซ 4.01 lb/ft^3 และ
  - ของเหลวมีอัตราการไหล 46,100 lb/h, ด้วยค่าความหนาแน่นของเหลว 38.83 lb/ft^3

1. คำนวณหาอัตราการไหลปริมาตรก๊าซ (Actual Volume Flow Rate of Gas)

$$Q_V = \frac{W_V}{3600\rho_V} = \frac{145600\,(lb/h)}{3600\,(s/h)4.01\,(lb/ft^3)} = 10.09 \quad ft^3/s$$

2. คำนวณหาอัตราการไหลของปริมาตรของเหลวที่ไหลออกจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ

$$Q_L = \frac{W_L}{60\rho_L} = \frac{46{,}100(lb/h)}{60(min/h)38.83\,(lb/ft^3)} = 19.79 \ ft^3/min$$

3. คำนวณหาความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity (U_T)

3.1. เมื่อความดันทำงานภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (**P**) มีค่าเท่ากับ 975 Psig ดังนั้นจึงอยู่ในช่วง **0 < P < 1500 Psig** ให้ใช้ค่า K เท่ากับ

$$K = 0.35 - 0.01\left(\frac{P-100}{100}\right) = 0.35 - 0.01\left(\frac{975-100}{100}\right) = 0.2625$$

ในตัวอย่างนี้เค้าใช้ค่าครึ่งหนึ่งที่คำนวณได้ เราก็ยังงง เป็นอันว่าเค้าใช้ K = 0.13

3.2. คำนวณหาความเร็วแยกตัวตกลงมาสูงสุด (Maximum Settling Velocity) หรือ Terminal Velocity (U_T)

$$U_T = K\sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}} = 0.13\sqrt{\frac{(38.83 - 4.01)}{4.01}} = 0.38 \quad ft./s$$

3.3. กำหนดให้ $U_V = 0.75U_T$ = 0.75 *0.38 = 0.29 ft./s

4. คำนวณหาปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time ดังกล่าว

$$V_H = T_H Q_L = 10(\text{min})19.79(\text{ft}^3/\text{min}) = 197.90 \quad \text{ft}^3$$

5. คำนวณหาปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time

$$V_S = T_S Q_L = 5(\text{min})19.79(\text{ft}^3/\text{min}) = 98.95 \quad \text{ft}^3$$

6. เลือกสัดส่วน L/D โดยการประมาณค่าตามกรอบในตารางที่ 11 จากนั้นนำมาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ ดังนั้นจากค่าความดันทำงานภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (**P**) มีค่าเท่ากับ 975 Psig ค่า L/D ที่แนะนำในตารางที่ 11 ภายในช่วงความดันมีค่าอยู่ระหว่าง 4.0 – 6.0 ในที่นี้เราเลือกใช้ L/D = 5.0

$$D = \left(\frac{4(V_H + V_S)}{0.6\pi \frac{L}{D}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{4(197.90 + 98.95)}{0.6\pi(5)} \right)^{\frac{1}{3}} = 5.01 \quad \text{ft}^3$$

ปัดค่า D ที่คำนวณได้ให้ใกล้เคียง 0.5 ft. จึดปัดให้ D = 5.0 ft. จากนั้นคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ จะได้ว่า

$$A_T = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi\, 5^2}{4} = 19.63 \qquad \text{ft}^2$$

7. คำนวณหาความสูงของระดับของเหลวระดับต่ำ (Low Liquid Level Height; H_{LLL}) โดยใช้ ตารางที่ 10 หรือจากสมการ

$$H_{LLL} = 0.5D + 7 = 0.5(5) + 7 = 9.5 \qquad \text{in}$$

8. คำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_{LLL} เมื่อเราทราบระดับ H_{LLL} , D และ A_T จากความสัมพันธ์สัดส่วนความสูง (H_{LLL}/D) ไปยังสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A_{LLL}/A_T)

เมื่อ $X = H_{LLL}/D = 0.167$ ใช้สมการคำนวณหา Y จะได้เท่ากับ $Y = A_{LLL}/A_T = 0.11$

$$Y = \frac{(a + cX + eX^2 + gX^3 + iX^4)}{(1.0 + bX + dX^2 + fX^3 + hX^4)}$$

$$Y = \frac{A_{LLL}}{A_T}$$

$$= \frac{(4.755930\times10^{-5} + 0.174875(0.167) + 5.668973(0.167)^2 - 4.91641(0.167)^3 - 0.145348(0.167)^4)}{(1.0 + 3.92409(0.167) - 6.358805(0.167)^2 + 4.018448(0.167)^3 - 1.801705(0.167)^4)}$$

$$= 0.11$$

ดังนั้น $A_{LLL} = 0.11 \times 19.63 \text{ ft}^3 = 2.16 \text{ ft}^3$

9. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ระยะสูงสุดของส่วนที่เป็น Gravity Settling Section โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีมี Mist Extractor Pad: ระยะความสูงของพื้นที่หน้าตัดส่วน Gravity Settling Section อย่างน้อยต้องมีค่ามากกว่า 0.2D หรือ 2 ft. เลือกค่าใดค่าหนึ่งที่มีค่ามากกว่า

เลือก $H_V = 2$ ft.

คำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัด A_V เมื่อเราทราบระดับ H_V, D และ A_T จากความสัมพันธ์สัดส่วนความสูง (H_V /D) ไปยังสัดส่วนพื้นที่หน้าตัด (A_V /A_T)

เมื่อ H_V /D = 2/5 ใช้สมการคำนวณหาได้เท่ากับ $A_V/A_T = 0.374$

ดังนั้น $A_V = 0.374 \times 19.63 \text{ ft.}^3 = 7.34 \text{ ft.}^3$

10. คำนวณหาความยาวอย่างน้อยสุดของเครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวนอน เพื่อให้สามารถรองรับปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Holdup Time หรือ Retention Time และ ปริมาตรของเหลวภายในช่วงระยะเวลา Surge Time

$$L = \frac{V_H + V_S}{A_T - A_V - A_{LLL}} = \frac{197.9 + 98.95}{19.63 - 7.34 - 2.16} = 29.3 \approx 29.5 \text{ ft.}$$

11. คำนวณหาเวลา “Liquid Dropout Time”

$$T_{LDT} = \frac{H_V}{U_V} = \frac{2 \text{ ft}}{0.29 \text{ ft/s}} = 6.90 \text{ sec.}$$

12. คำนวณหาความเร็วก๊าซ (Actual Vapor Velocity)

$$U_{VA} = \frac{Q_V}{A_V} = \frac{10.09\ (ft^3/s)}{7.34\ (ft^2)} = 1.37 \qquad ft./s$$

13. คำนวณหาความยาวต่ำสุดสำหรับที่หยดของเหลวสามารถแยกตัวออกจากก๊าซในส่วน Gravity Settling Section

$$L_{e-MIN} = U_{VA} T_{LDT} = 1.37(ft/s)\ 6.90\ (s) = 9.45 \qquad ft.$$

14. ตรวจสอบผลการคำนวณระหว่างค่าความยาวที่คำนวณได้ โดยพิจารณาได้ดังนี้

14.1. $L >> L_{e\text{-}MIN}$ นั้นคือ 29.5 ft. >> 9.45 ft. แต่ไม่สามารถลดค่า H_V เพราะเราใช้ค่า H_V ซึ่งมีต่ำสุดที่ระบุไว้ (H_V = 2 ft.)

14.2. คำนวณหาสัดส่วน L/D = 29.5/5.0 = 5.9 พิจารณาแล้ว $1.5 < L/D < 6.0$ ถือว่าการออกแบบยอมรับได้

จึงสรุปได้ว่าเราพอจะเลือก เครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ft. หรือ 5 x 12 = 60 นิ้ว และยาวประมาณ 29.5 ft. ปัดไปเป็น 30.0 ft.

เนื่องจากเครื่องกำจัดไอหรืออากาศเป็นอุปกรณ์ที่ต้องรับภาระอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งเป็นอุปกรณ์ติดตั้งอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ขณะทำงาน ดังนั้นการจัดสร้างจึงถือเป็นอุปกรณ์ความดัน (Pressure Vessel) ภายใต้การออกแบบตามมาตรฐาน ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section 8, Division 1: Pressure Vessels – Rules for Construction

ANS

ขอบเขตของการจุดติดไฟ
(Explosive Limits)

งานชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมาย สิ่งที่จำเป็นต้องพบเจอหรือข้องแวะด้วย หนีไม่พ้นน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น เบนซิน ดีเซล ก๊าซ LPG และ ก๊าซ CNG (NGV) ซึ่งมีการซื้อขายในสถานีบริการโดยผ่านมาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อต้องสัมผัสและเกี่ยวข้องด้วยจำเป็นเหลือเกินที่เราต้องทราบคุณสมบัติ ประโยชน์ และโทษของสิ่งที่เราต้องทำงานด้วยแต่ในที่นี้เราจะมาพูดเฉพาะคุณสมบัติหนึ่งจากอีกหลายประการ นั้นก็คือ การจุดติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง หรือการระเบิด

ก่อนจะพูดถึงขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ (Vapor Mixture in the Air) เราต้องเข้าใจถึงองค์ประกอบของการจุดติดไฟหรือการระเบิดเสียก่อน ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือ



1. สารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ
2. ก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอ
3. แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) มีพลังงานความร้อนที่เพียงพอ เช่น เปลวไฟ การเกิดประกายไฟหรือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ประกายไฟจากการลัดวงจรไฟฟ้าหรือจากหน้าสัมผัสสวิตซ์ไฟ เป็นต้น

แต่ก็นั้นแหละไม่ใช่อยู่ๆ หากมีองค์ประกอบครบทั้ง 3 ประการแล้วจะเกิดการติดไฟหรือระเบิดไปเสียทุกครั้ง ยังต้องคำนึงถึงชนิดสารไวไฟนั้นๆว่ามี

คุณสมบัติอย่างไรเมื่อผสมเจือปนเข้ากับอากาศแล้วก่อให้เกิดสภาพจุดติดไฟ (Explosive Atmosphere) มารู้จักนิยามการระเบิดเสียก่อน

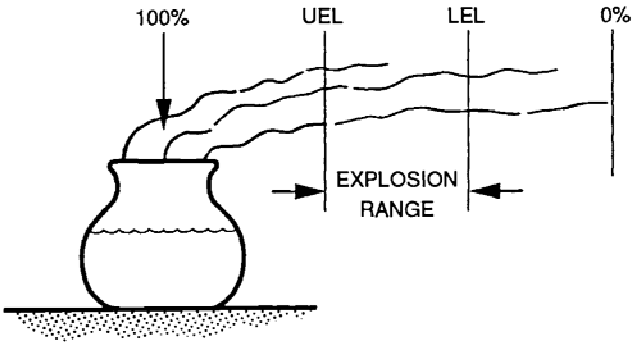
การระเบิด คือ ปฏิกิริยาเคมีของสารไวไฟกับออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงมาก หรือความดันสูงมาก หรือทั้งความร้อนและความดันสูงมากร่วมกัน ทั้งนี้สารไวไฟอาจอยู่ในรูปของแก๊ส (Gas) หรือไอระเหย (Vapor)

สารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการจุดติดไฟต่างกัน ดังนั้นแม้ครบองค์ประกอบการจุดติดไฟหรือการระเบิด (สารไวไฟ ออกซิเจนและประกายไฟ) สารบ้างชนิดจะเกิดการติดไฟหรือระเบิด แต่สารบางชนิดอาจจะไม่ทำให้เกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ เราจึงต้องมาดูคุณสมบัติที่สำคัญของสารไวไฟที่ปนเปื้อนในอากาศและทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่จุดติดไฟได้ (Explosive Atmosphere) มี 5 ประการ คือ

1. **Lower Explosive Limit (LEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยขั้นต่ำผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณต่ำกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด



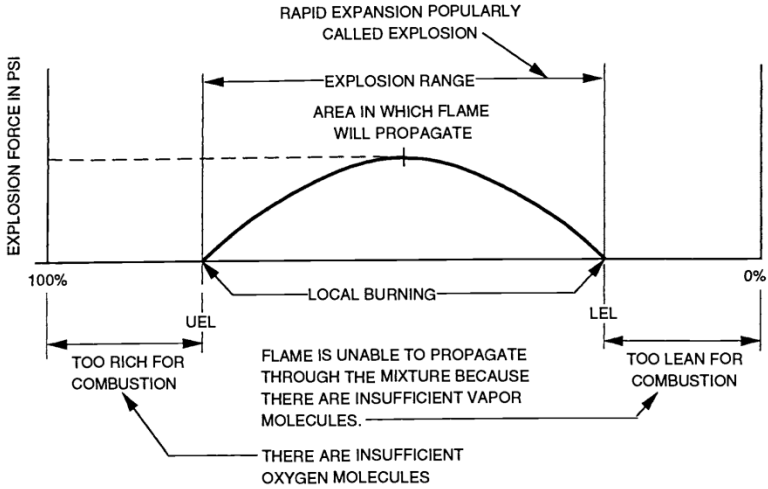
รูปที่ 1 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ (Explosive Limits)



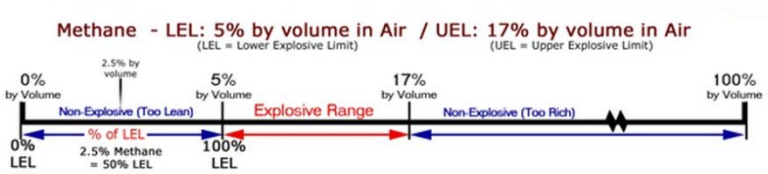
รูปที่ 2 ความเข้มข้นของไอสารไวไฟในเทอมของปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ

2. **Upper Explosive Limit (UEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยมากที่สุดผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive Mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณสูงกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด

ด้วยเหตุนี้การจุดติดไฟ หรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ต้องอยู่ในสภาพตั้งแต่ Lower Explosive Limit (LEL) จนถึง Upper Explosive Limit (UEL) ดูรูปที่ 3 ทั้งนี้ขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟตั้งแต่ LEL จนถึง UEL ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารไวไฟแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ Methane จะมี LEL เท่ากับ 5% และ UEL 17% โดยปริมาตรของอากาศ นั้นหมายความว่าหากในอากาศที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 5 : 95 จนถึง 17 : 83 แล้วหากเกิดประกายไฟขึ้นโอกาสการระเบิดจะสามารถเกิดขึ้นได้สูงทันที แต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 5 : 95 หรือมากกว่า 17 : 83 หากเกิดประกายไฟขึ้นโอกาสจะเกิดการระเบิดเป็นไปได้ยาก (ดูรูปที่ 4)

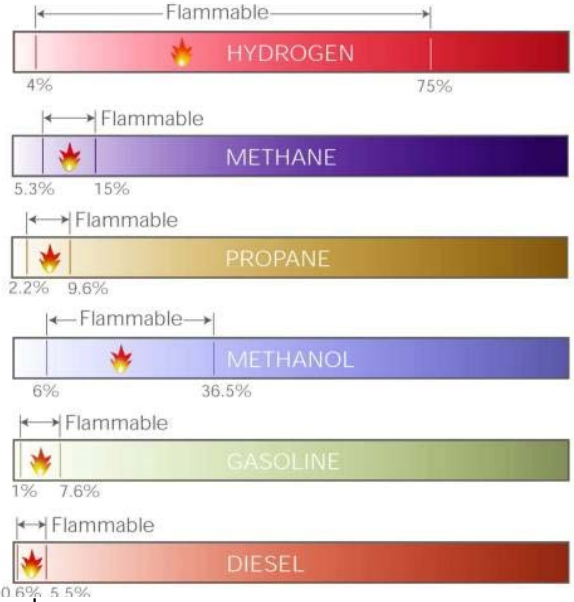


รูปที่ 3 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ



รูปที่ 4 ตัวอย่างขอบเขตการการจุดติดไฟของก๊าซ Methane

3. **Flash Point** คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้สารไวไฟที่มีสถานะเป็นของเหลวเกิดการระเหยกลายเป็นไอจากนั้นผสมอยู่ในอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสมก่อในจุดติดไฟได้บริเวณเหนือของเหลวชนิดนั้น เราเรียกของเหลวประเภทนี้ว่า “Flammable Liquid” ซึ่งจะมี Flash point ต่ำกว่า 100 °F (37.78 °C) สำหรับของเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 100 °F (37.78 °C) เรียกว่า “Combustible Liquid” จากคุณสมบัติดังกล่าวเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาและจัดเก็บสารไวไฟให้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า Flash point ไม่ทำให้เกิดสภาพของพื้นที่อันตรายขึ้นได้ ก็จะปลอดภัย



รูปที่ 3 ตัวอย่างขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟ

4. **Auto-Ignition Temperature** คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟซึ่งผสมอยู่ในบรรยากาศจะเกิดการลุกติดไฟได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีประกายไฟในพื้นที่ที่มีการรั่วไหลของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ ถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรกลหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงที่ส่วนใดส่วนหนึ่ง (Hot Spot) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีอุณหภูมิสูงกว่า ค่า Auto-Ignition Temperature ของแก๊สหรือไอระเหยนั้นๆ อาจจะทำให้สารไวไฟในบรรยากาศเกิดการลุกติดไฟขึ้นเองได้

5. **Vapor Density** คือ ความหนาแน่นของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟเมื่อเทียบกับอากาศ ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอมากกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอนี้หนักกว่าอากาศเมื่อเกิดมีการรั่วไหล แก๊สหรือไอนี้จะลอยอยู่ในระดับต่ำ แต่ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอน้อยกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอชนิดนี้เบากว่าอากาศ เมื่อเกิดมีการรั่วไหลแก๊สหรือไอนี้จะลอยขึ้นสูง

Gas	LEL	UEL
Acetone	2.6	13.0
Acetylene	2.5	100.0
Acrylonitrile	3.0	17
Allene	1.5	11.5
Ammonia	15.0	28.0
Benzene	1.3	7.9
1,3-Butadiene	2.0	12.0
Butane	1.8	8.4
n-Butanol	1.7	12.0
1-Butene	1.6	10.0
Cis-2-Butene	1.7	9.7
Trans-2-Butene	1.7	9.7
Butyl Acetate	1.4	8.0
Carbon Monoxide	12.5	74.0
Carbonyl Sulfide	12.0	29.0
Chlorotrifluoroethylene	8.4	38.7
Cumene	0.9	6.5
Cyanogen	6.6	32.0
Cyclohexane	1.3	7.8
Cyclopropane	2.4	10.4
Deuterium	4.9	75.0
Diborane	0.8	88.0
Dichlorosilane	4.1	98.8
Diethylbenzene	0.8	–
1,1-Difluoro-1-Chloroethane	9.0	14.8
1,1-Difluoroethane	5.1	17.1
1,1-Difluoroethylene	5.5	21.3
Dimethylamine	2.8	14.4
Dimethyl Ether	3.4	27.0
2,2-Dimethylpropane	1.4	7.5
Ethane	3.0	12.4
Ethanol	3.3	19.0
Ethyl Acetate	2.2	11.0
Ethyl Benzene	1.0	6.7
Ethyl Chloride	3.8	15.4
Ethylene	2.7	36.0
Ethylene Oxide	3.6	100.0
Gasoline	1.2	7.1

Gas	LEL	UEL
Heptane	1.1	6.7
Hexane	1.2	7.4
Hydrogen	4.0	75.0
Hydrogen Cyanide	5.6	40.0
Hydrogen Sulfide	4.0	44.0
Isobutane	1.8	8.4
Isobutylene	1.8	9.6
Isopropanol	2.2	–
Methane	5.0	15.0
Methanol	6.7	36.0
Methylacetylene	1.7	11.7
Methyl Bromide	10.0	15.0
3-Methyl-1-Butene	1.5	9.1
Methyl Cellosolve	2.5	20.0
Methyl Chloride	7.0	17.4
Methyl Ethyl Ketone	1.9	10.0
Methyl Mercaptan	3.9	21.8
Methyl Vinyl Ether	2.6	39.0
Monoethylamine	3.5	14.0
Monomethylamine	4.9	20.7
Nickel Carbonyl	2.0	–
Pentane	1.4	7.8
Picoline	1.4	–
Propane	2.1	9.5
Propylene	2.4	11.0
Propylene Oxide	2.8	37.0
Styrene	1.1	–
Tetrafluoroethylene	4.0	43.0
Tetrahydrofuran	2.0	–
Toluene	1.2	7.1
Trichloroethylene	12.0	40.0
Trimethylamine	2.0	12.0
Turpentine	0.7	–
Vinyl Acetate	2.6	–
Vinyl Bromide	9.0	14.0
Vinyl Chloride	4.0	22.0
Vinyl Fluoride	2.6	21.7
Xylene	1.1	6.6

ตาราง LEL& UEL Sources: Data extracted from Gas Data Book, 7th edition, copyright 2001 by Matheson Gas Products, and from Bulletin 627, Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors, copyright 1965 by U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

แนวปฏิบัติการสอบเทียบแบบมาตราทางด้านปริมาตร

ในการปฏิบัติงานภาคสนาม มักเจอคำถามเดิมๆ ซ้ำๆ ทั้งก่อนไปปฏิบัติงาน ขณะปฏิบัติงาน และหลังปฏิบัติงานสอบเทียบ ซึ่งคำถามดังกล่าวล้วนส่งผลถึงการเตรียมการ ทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ แบบมาตราที่มีความเที่ยงสูงขึ้นไปอีกลำดับชั้นหนึ่ง เพื่อให้พร้อมที่จะดำเนินการสอบเทียบแบบมาตราให้ลุล่วงไปด้วยดี พร้อมตอบคำถามเดิมๆและชั่งตวงวัดเองได้ปฏิบัติต่อผู้ประกอบการทุกรายด้วยมาตรฐานที่เท่าเทียมกันรวมทั้งให้ความยุติธรรมกับทุกฝ่าย ในขณะเดียวกันชั่งตวงวัดเองก็พยายามจัดทำระบบการทำงานให้ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับโดยให้การปฏิบัติงานนั้นๆ มีแนวทางปฏิบัติกำกับที่ชัดเจนเพื่อให้ผู้เล่นหน้าใหม่เข้าใจ ให้ผู้เล่นหน้าเก่าๆ ที่มักจะลืมๆ หรือเริ่มเก่งๆ แต่อาจละเลยเทคนิคกติกาไปยังคงมีข้อยุติชัดเจนไปในแนวทางเดียวกัน จึงได้เขียนแนวปฏิบัติการสอบเทียบแบบมาตราทางด้านปริมาตรไว้ 3 เรื่อง เพื่อให้การปฏิบัติงานสอบเทียบได้ผลการสอบเทียบที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือเพียงพอต่องานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ซึ่งจะให้เหตุผลกำกับรวมทั้งประสบการณ์ที่ได้รับและเหตุผลต่างๆนำไปสู่แนวปฏิบัติฯคือ

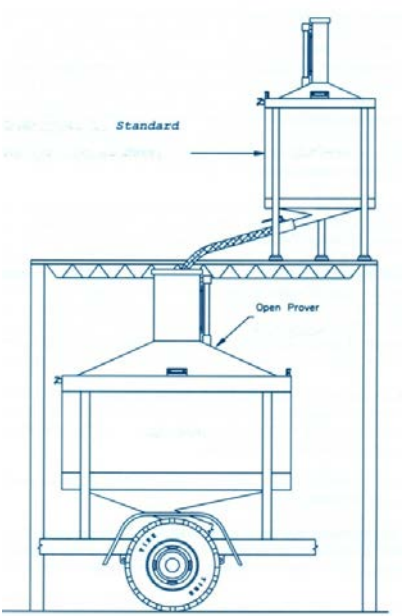
1. แนวปฏิบัติการสอบเทียบถังตวงโลหะ (ไม่เกิน 5,000 ลิตร)เทียบกับถังตวงแบบมาตรา
2. แนวปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา (Master Flow Meter) เทียบกับถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank)
3. แนวปฏิบัติการสอบเทียบ Compact Prover (CPP) เทียบกับถังตวงแบบมาตรา

แน่ละ เนื่องจากเป็นความรู้สะสมหรือกำหนดเขียนไว้เนื่องจากความจำเป็นทางเทคนิคและความจำเป็นในด้านการบริหารจัดการงานทางด้านชั่งตวงวัด แนว

ปฏิบัติการสอบเทียบนี้จึงต้องได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับสถานณการณ์จริงในภาคสนามต่อไป แต่ ณ เวลานี้เอาอย่างนี้ไปก่อน

ทั้ง 3 แนวปฏิบัติสอบเทียบฯนี้ชั่งตวงวัดได้ดำเนินการส่งแจกจ่ายถึงผู้ประกอบการที่ให้บริการสอบเทียบทุกผู้ประกอบที่ชั่งตวงวัดได้สัมผัส ส่วนผู้ประกอบการใดไม่ได้รับและมีความสนใจเราก็ได้ Post แนวปฏิบัติทั้ง 3 แนวปฏิบัติฯบนเวปไซด์ “www.cbwmthai.org” ไว้เป็นที่เรียบร้อยนานแล้วและถือโอกาสนี้นำมาใส่ไว้ในหนังสือเล่มนี้พร้อมเหตุผลและประสบการณ์ไว้อีกทางหนึ่ง

แนวปฏิบัติการสอบเทียบถังตวงโลหะ (ไม่เกิน 5,000 ลิตร)
เทียบกับถังตวงแบบมาตรา



รูปที่ 1 “Filling Method”

ถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบ

1. มีพิกัดกำลังไม่เกิน 5 เท่าของพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา : ข้อนี้เป็นคำถามยอดฮิตในการเตรียมงานเพื่อทำการสอบเทียบ ว่าทำไมต้องไม่เกิน 5 เท่า หากดูเอกสารจากต่างประเทศพบว่าบางเอกสารยอมให้ได้ถึง 10 เท่าบ้างสับสนกันไปหมด แต่ในในกรณีประเทศไทยจากความรู้สะสมเราพบว่าถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบมีพิกัดกำลังไม่เกิน 5 เท่าของพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตราเป็นค่าที่เหมาะสม ด้วยเหตุผลทางด้านความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ, ค่า Repeatability และค่าการประเมิน Uncertainty ในการสอบเทียบ ซึ่งครอบคลุมปัจจัยมากมายใน

ภาคสนาม เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเนื่องจากถังตวงไม่ได้อยู่ภายในร่มเงา ปริมาณน้ำสะอาดที่ใช้ไม่มีความเหมาะสมทั้งปริมาณและอุณหภูมิ ความอ่อนล้าจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น

2. มีส่วนปรับระดับถังตวงโลหะ และขาตั้งมั่นคง : พื้นฐานที่สำคัญที่สุดของเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้หลักการแรงโน้มถ่วงของโลกเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงาน เพราะหากเครื่องชั่งตวงวัดไม่สามารถปรับระดับให้ได้ในแนวระดับเรื่องอื่นๆ ก็ไม่ต้องพูดถึง

3. ตรวจสอบสภาพถังตวงโลหะทางสายตาอยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน สะอาด ไม่รั่วซึม : สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางด้านนี้มาเป็นเวลานานพอสมควร สามารถบ่งบอกว่างานสอบเทียบจะเริ่มดำเนินการต่อไปหรือไม่อย่างไร ซึ่งโดยปกติเราจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกทำการตรวจสภาพองค์ประกอบพื้นฐาน หากไม่ครบก็ขอให้เจ้าของถังตวงโลหะนำถังตวงโลหะกลับไปทำการแก้ไข องค์ประกอบมีอะไรบ้างก็ให้ไปอ่านในหนังสือของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด “การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร (ฉบับปรับปรุง)” หากองค์ประกอบพื้นฐานครบสมบูรณ์ก็เข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 โดยใช้เทคนิคการเตรียมความพร้อมเบื้องต้นโดยเมื่อถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบถูกเคลื่อนย้ายมายังสถานที่สอบเทียบ เราทำการเติมน้ำลงไปในถังตวงโลหะเพื่อแช่น้ำไว้ภายในถังตวงโลหะประมาณ 1-2 ชั่วโมง ในระหว่างนี้ก็ไปดำเนินการเตรียมงานทางด้านเอกสาร เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็น หลังจากนั้นกลับมาดูถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบ เราก็วินิจฉัยกันได้เลยละครับทีนี้ อาจมีคำถามเกิดขึ้นในใจบางคนว่าแล้วทำไมถึงต้องแช่น้ำนานกันถึง 1 -2 ชั่วโมงละ สงสัยต้องการลดความร้อนแรงของผู้เป็นเจ้าของถังตวงโลหะละซิ ตอบว่าไม่ใช่ครับ เหตุเพราะเราไม่ทราบว่าระหว่างขนย้ายถังตวงโลหะมานั้นถังตวงโลหะดังกล่าวถูกตากแดดมามากน้อยเพียงใด การเติมน้ำลงไปจึงเป็นการระบายความร้อนออกจากถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบ และในขณะเดียวกันก็ต้องการให้เวลาน้ำซึมซับไปยังอุปกรณ์ส่วนต่างๆรวมทั้งซอก

มุมต่างๆภายในถังตวงโลหะ ดังนั้นหากมีการรั่วไหลก็จบข่าว กลับบ้านครับ ซ่อมเสร็จแล้วกลับมาใหม่น่ะ

4. ทดสอบด้วยน้ำสะอาด <u>ไม่ใช่น้ำคลอง หรือน้ำบาดาล</u> : เรื่องนี้จะว่าไปก็เป็นเรื่องขำๆ ก็ว่าได้หรือจะเป็นเรื่องคอขาดบาดตายก็ใช่ครับ เราเคยเจอบางหน่วยงานที่เจ้าของถังตวงโลหะขอใช้น้ำคลองมาสอบเทียบบอกว่าน้ำคลองสะอาดครับ บ้างสถานที่ก็ขอใช้น้ำบาดาลเพราะไม่มีน้ำประปา หากชั่งตวงวัดไม่ยอมให้ใช้ก็อาจโดนต่อว่าจากหลายฝ่ายว่า ไอ้นี่ไม่มีความยืดหยุ่นงานในภาคสนามกันเสียเลย บ้างก็ว่าไอ้นี่อยู่กับตำราจนไม่รู้เรื่องอะไรเสียเลย ครับฟังแล้วเหนื่อยใจครับ จึงขอเรียนกันโดยทั่วหน้าสาธารณชนครับว่า ถ้าถังตวงโลหะของผู้ครอบครองนำไปใช้ตวงน้ำบาดาลหรือน้ำคลองขาย เรายินดีให้ใช้น้ำบาดาลและน้ำคลองเป็นของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบถังตวงโลหะ แต่ถ้านำถังตวงโลหะไปใช้ตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ใช้ในการซื้อขาย เช่น น้ำมัน ละก็ ชั่งตววัดต้องขออภัยและไม่ยอมให้ใช้อย่างเด็ดขาด เหตุผลเพราะหากยอมให้ใช้นั้นหมายถึงชั่งตวงวัดไม่ซื่อสัตย์ในอาชีพและชั่งตวงวัดไม่มีองค์ความรู้เพียงพอไปปฏิบัติหน้าที่ราชการ สืบเนื่องจากการคำนวณผลการสอบเทียบเราใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำอยู่บนพื้นฐานน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ดังสมการข้างล่าง ดังนั้นหากต้องการความแม่นยำสูงเราจะใช้น้ำกลั่น 2 ครั้ง (Double-distilled water) แต่หากต้องการผลยอมรับได้ทางอุตสาหกรรมเราใช้น้ำสะอาดระดับดื่มได้ คือ น้ำประปาครับ การคำนวณหาปริมาตรถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบจะได้จากสมการ

$$V_{0P} = V_{0M} \times \frac{\rho_{TM}}{\rho_{TP}} \times \frac{1 + \gamma_M (T_M - T_{0M})}{1 + \gamma_P (T_P - T_{0P})}$$

โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (ρ_W) ที่ความดันบรรยากาศจากสมการของ H. Wagenbreth และ W. Blanke, PTB โดยใช้สเกลอุณหภูมิ ITS-90

$$\rho_W = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t^n}{1 + bt} \qquad \frac{kg}{m^3}$$

5. มี Name Plate ติดตั้งมั่นคงและข้อมูลครบตามกำหนด : ก็เหมือนกับระบบราชการทั่วไปครับ การยืนยันความมีตัวตนที่ถูกต้อง เหมือนชื่อคน และหมายเลขบัตรประชาชนนั้นเองครับ เพื่อไม่ให้มาเวียนเทียนขอรับเงินช่วยเหลือคนจนที่ซ้ำซ้อน

6. มี Thermo Well จำนวนสอดคล้องกับพิกัดกำลังถังตวงโลหะ : การสอบเทียบจะได้ผลเที่ยงตรงหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ ขีดความสามารถในการหาอุณหภูมิที่แท้จริงภายในถังตวงโลหะที่กำลังถูกสอบเทียบ ช่องเสียบอุณหภูมิประจำถังตวงโลหะ (Thermo Well) จึงเป็นหนทางไปสู่เรื่องดังกล่าว ออ! ก่อนวัดอุณหภูมิอย่าลืมล่อน้ำให้เต็มภายในช่องเสียบฯเสียก่อนล่ะครับ

7. มีที่ซีล/รูร้อยลวดผูกตะกั่ว ป้องกันปรับหรือแก้ไขค่าที่มีผลต่อความเที่ยง : เนื่องจากถังตวงโลหะก็เป็นเครื่องชั่งตวงวัดชนิดหนึ่งเหมือนกับเครื่องชั่งตวงวัดโดยทั่วไปที่ถูกผลิตหรือสร้างจากน้ำมือของคน จึงมีจุดปรับเปลี่ยนมากมายล้วนมีผลต่อความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งตวงวัด การมีที่ซีลร้อยลวดผูกตะกั่ว จึงเป็นแนวทางที่ให้ผู้ประกอบธุรกิจฯที่มีความสุจริตมีหลักฐานยืนยันความสุจริตในการกระทำของตนเองสำหรับใช้เครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ และเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดอย่างทุจริตกระทำได้ตามอำเภอใจ โดยมีตัวชี้วัดและเป็นหลักฐาน

8. สอบเทียบอย่างน้อย 4 ครั้งติดต่อกันให้ค่า Repeatability ≤ 0.02% : เหตุผลทางเทคนิค อธิบายแล้วจะยาว

9. MPE ≤ Tank Capacity/2000 : สิ่งนี้ได้มาจาก OIML R 120, Edition 2010(E) : Standard capacity measures for testing measuring systems for liquids other than water ต้องไปอ่าน

10. Uncertainty ≤ MPE/3 : จาก OIML ที่เท่าไรตอนนี้จำไม่ได้ ใครรู้ช่วยตอบที 555.

11. ระยะห่างระหว่างขีดขั้นหมายมาตราบนแผ่นขีดขั้นหมายมาตราต้องตรงกับอัตราส่วนคอถังตวงโลหะ : เรื่องนี้เป็นเรื่องที่น่าตกใจและน่ากังวลมาก เพราะ

ใน 2 – 3 ปีมานี้ชั่งตวงวัดขอให้แก้ไขแผ่นขีดขั้นหมายแบบมาตรา (Scale Plate) เยอะมาก เพราะว่าค่าระยะห่างระหว่างขีดขั้นหมายมาตราบนแผ่นขีดขั้นหมายมาตราให้ผลการวัดไม่ตรงกับอัตราส่วนคอถังตวงโลหะ อาจจะด้วยการใช้เครื่องมือหรือวิธีการคำนวณ หรือทำการซ่อมแซมเปลี่ยนหลอดแก้วแสดงระดับคอถังไม่ได้ใช้ขนาดเดิม หรือร้านที่นำแผ่นขีดขั้นหมายหมายตราไปกัดขีดขั้นหมายฯอาจใช้วิธีกลึงหรือใช้วิธี Etching ซึ่งอาจไม่แม่นยำพอ หรือปัจจัยอะไรไม่ทราบ จึงผิดกันเยอะและได้ขอให้แก้ไขในปัจจุบันเริ่มเข้ารูปเข้ารอยกันมากขึ้น ยินดีด้วยประเทศไทย

12. ระยะห่างระหว่างขีดขั้นหมายมาตราเล็กสุดต้องไม่น้อยกว่า 1.6 มิลลิเมตร : อันนี้เราไปยืมของชั่งตวงวัดประเทศแคนนาดาเค้า ส่วนเหตุผลก็สมเหตุสมผลดีครับก็คือ เป็นระยะที่การแยกแยะด้วยสายตาของมนุษย์ยอมรับได้ว่าพอไหว (ตามอายุ) ซึ่งเราก็มีเรื่องคล้ายๆกันอย่างเช่นในประกาศกระทรวงฯสมัยเก่าๆ เรากำหนดให้สินค้าหีบห่อต้องแสดงปริมาณสุทธิด้วยตัวอักษรสูงไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร

13. ค่าขั้นหมายมาตรา ต้องอยู่ในรูป $1x10^k$, $2x10^k$ หรือ $5x10^k$ ให้ k เป็นเลขจำนวนเต็ม : เพื่อสะดวกในการอ่านและลดความยุ่งยากรวมทั้งความผิดพลาดในการใช้งานหรืออ่านค่าปริมาตรถังตวงโลหะ เราเคยเจอว่าขีดขั้นหมายมาตราขีดละ 22.5 ลิตร ขอให้นึกถึงตอนอ่านขั้นหมายมาตราดูเอาเองเถอะว่ามันจะมันส์ๆๆๆขนาดไหน ถ้าอ่านได้ 3 ขีดครึ่ง ??

ไหนๆ ก็พูดเรื่องนี้แล้วก็ขอต่อกันไปถึงการกำหนดพิกัดกำลังถังตวงโลหะที่จะผลิตนำมาใช้กันก็ควรอยู่ในรูป $1x10^k$, $2x10^k$ หรือ $5x10^k$ ให้ k เป็นเลขจำนวนเต็ม เช่นกัน เรื่องนี้ไม่เคยมีโอกาสเขียนเป็นลายลักษณ์อักษรในการอธิบายเลยซักครั้งเลยขอใช้โอกาสนี้ชี้แจงแถลงไข เพราะเรื่องนี้จะปรากฏอยู่กับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) กับเครื่องชั่งตวงวัดเสียเป็นส่วนใหญ่ พอแยกอธิบายออกเป็น 2 ประเด็นหลัก (ในความเห็นของกระผม) คือ ประเด็นแรก ตัวเลข 1, 2, 5 เป็นตัวเลขที่ใช้กับการจัดการสาธารณชนสังคมที่มีประสิทธิผลและประสิทธิภาพซึ่งจะเห็นได้จากระบบเงินตรา 1 บาท 2 บาท 5 บาท

10 บาท 20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1,000 บาท นี้ก็ 1-2-5 ครับ ทำให้ใครก็ตามที่ผลิตถังตวงโลหะต้องผลิตให้มีพิกัดกำลังถังตวงโลหะอยู่ในระบบ 1-2-5 ด้วยเพื่ออะไรหรือครับ ก็เพื่อ (ประเด็นที่ 2 ครับ) จะทำให้หลวงเตรียมงานแบบมาตราโดยไม่ต้องหลากหลายถังตวงโลหะซึ่งสิ้นเปลืองงบประมาณ สามารถจัดโครงสร้างแบบมาตรา (Standard Structure) เพื่อดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง ลดความสับสนระหว่างผู้ใช้งานและผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพราะระบบ 1-2-5 จะเป็นตัวประกอบร่วมกันอยู่ในตัว ยกตัวอย่างเช่น หลวงตั้งงบประมาณเพื่อวางโครงสร้างแบบมาตราถังตวงโลหะโดยจัดสร้างถังตวงโลหะแบบมาตรา 1,000 ลิตร, 500 ลิตร, 200 ลิตร, 100 ลิตร, 50 ลิตร, 20 ลิตร, 10 ลิตร, 5 ลิตร, 2 ลิตร และ 1 ลิตร หากผู้ครองครองถังตวงโลหะ 200 ลิตรมายื่นขอสอบเทียบ เราก็สามารถเลือกใช้ถังตวงแบบมาตรา 200 หรือ 100 หรือ 50 ลิตร (แต่ไม่ใช้ 20 ลิตร ตรวจนะ มันต้องใช้ 10 รอบกว่าจะครบ 1 เที่ยวหรือ 200 ลิตร) หรือหากผู้ครองครองถังตวงโลหะ 500 ลิตรมายื่นขอสอบเทียบเราสามารถเลือกใช้ถังตวงโลหะแบบมาตรา 500 หรือใช้ 200 กับ 100 หรือ 100 ลิตร (เพราะ 500 ลิตรยังไม่เกิน 5 เท่าของ 100 ลิตร) แต่หากเราไม่กำหนดพิกัดกำลังถังตวงโลหะในรูป $1x10^k$, $2x10^k$ หรือ $5x10^k$ แล้วจะเป็นอย่างไร เช่นสมมุติว่าอาจมีผู้ครอบครองถังตวงโลหะบอกว่าในโรงงานผมใช้มาตรวัดปริมาตรของเหลวเพื่อวัดของเหลวขายที่อัตราการไหลคงที่ 168 ลิตรต่อนาที ผมจึงต้องการสร้างถังตวงโลหะด้วยพิกัดกำลัง 2x168 = 336 ลิตร ผมจึงขอส่งถังโลหะมาสอบเทียบให้ผมด้วยหากชั่งตวงวัดไม่สามารถตรวจสอบได้ถือว่าชั่งตวงวัดไม่มีฝีมือและไม่ปฏิบัติหน้าที่ ชั่งตวงวัดคนไหนเจอเข้าแบบนี้ก็ขอให้ไปทำบุญที่วัดมากๆ หน่อยน่ะครับ เพราะไม่รู้จะออกแบบโครงสร้างแบบมาตราและสร้างถังตวงโลหะแบบมาตรากันกี่ร้อยถังเพื่อรองรับกิจกรรมชั่งตวงวัดของประเทศไทย เอวัง

14. จัดให้มีตำแหน่งอ้างอิงประจำถัง เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับวัดระยะความสูงของขีดขั้นหมายมาตราพิกัดกำลังถังตวงโลหะ : เป็นเรื่องความละเมียดละมัยในการจัดสร้างถังตวงโลหะแบบมาตรา และสามารถตอบโจทย์และแก้ไข

ปัญหาในเชิงลึกที่หลายคนไม่ได้คำนึงถึงหรือคำนึงถึงแต่ไม่จัดการแก้ไขปัญหาให้หมดไปอย่างถาวร นั้นก็คือจุดอ้างอิงประจำถังตวงโลหะที่ต้องอยู่ในตำแหน่งที่คงที่ตลอดจนสิ้นอายุขัยของถังตวงโลหะนั้นๆ ถังตวงโลหะของผู้ผลิต SERAPHIN ในประเทศสหรัฐอเมริกาออกแบบจุดอ้างอิงประจำถังตวงโลหะไว้อย่างแยบคายมั่นคงและใช้งานง่ายได้จริง (รูปที่ 2) เพราะจะเป็นตำแหน่งที่ใครต่อใครต้องรู้เข้าใจตรงกันและสามารถใช้เพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงจากจุดอ้างอิงถึงขีดขั้นหมายมาตราพิกัดกำลังกับค่าปริมาตรพิกัดกำลังถังตวงโลหะในใบรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งในระยะแรกเริ่มเรามักเจอปัญหาว่าทำไมระยะความสูงอ้างอิงของปริมาตรพิกัดกำลังถังตวงโลหะนั้นๆ ต่างกันมากจนผิดสังเกต พอไล่ๆกันไปพบว่าเจ้าหน้าที่ท่านหนึ่งใช้จุดอ้างอิงไว้จุดหนึ่ง พอครบ 1 ปีอีกท่านหนึ่งมาสอบเทียบใหม่ท่านก็เอาอีกจุดหนึ่งเป็นจุดอ้างอิงใหม่มีผลทำให้ค่าความสูงต่างกันจนผิดสังเกต แต่จริงๆแล้วหากใช้จุดอ้างอิงเดียวกันค่าความสูงจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เรื่องนี้จึงเป็นปัญหาในทางปฏิบัติงานจริงๆ



รูปที่ 2 ตำแหน่งอ้างอิงประจำถังตวงโลหะ

ถังตวงโลหะแบบมาตรา

1. ใบรายงานผลสอบเทียบมีข้อมูล
    1.1. ใบรายงานผลสอบเทียบไม่เกิน 1 ปี
    1.2. Maximum Permissible Error (MPE) ≤ Tank Capacity /2000
    1.3. Uncertainty ≤ MPE/3
    1.4. Repeatability ≤ 0.02%
    1.5. หมายเลขซีลและซีลต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ถูกต้อง
    1.6. ตรงกับข้อมูลบน Name Plate ซึ่งติดตั้งมั่นคง
2. มีส่วนปรับระดับถังตวงโลหะแบบมาตรา และขาตั้งมั่นคง
3. ตรวจสอบสภาพถังตวงโลหะทางสายตาอยู่ในสภาพดี ไม่รั่วซึ่ม
4. ในกรณีถังตวงโลหะชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตราต้องมีส่วนแสดงค่าขีดขั้นหมายมาตราไม่น้อยกว่า ±0.5% ของพิกัดกำลังถังตวงโลหะ
5. มีพิกัดกำลัง เท่ากับหรือน้อยกว่าพิกัดกำลังถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบ (โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 1 ใน 3 เท่าของพิกัดกำลังถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบ)
6. มี Thermo Well จำนวนสอดคล้องกับพิกัดกำลังถังตวงโลหะ

เครื่องวัดอุณหภูมิ

1. ชนิด RTD (Resistance Temperature Detectors): สามารถใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทก็ได้แต่พบว่างานในภาคสนามเทอร์โมมิเตอร์อาจแตกชำรุดเสียหายได้ง่ายจึงไม่ขอแนะนำให้ใช้ หากต้องการใช้จริงๆ ต้องเลือกประเภทของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทให้ถูกต้องด้วยว่าเป็น เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแช่ทั้งหมด (Total - Immersion), ชนิดแช่บางส่วน (Partial - Immersion) และชนิดแช่เต็มตัว (Complete - Immersion)
2. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 °C
3. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d

4. ช่วงใช้งานอยู่ในช่วง 30-90% ช่วงวัดได้ (measure range)

5. จุดสอบเทียบที่อุณหภูมิใช้งาน เช่น 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °C: จุดสอบเทียบนี้เป็นจุดสอบเทียบแนะนำเฉพาะงานนี้ เนื่องจากเราใช้งานจริงในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจึงไม่จำเป็นต้องสอบเทียบจุดที่ไม่ใช้งาน เช่นที่ 100 °C การสอบเทียบจุดที่ใช้งานและจุดใกล้เคียงกันเมื่อใช้งานสามารถ Interpolate ค่าได้ใกล้เคียงเส้นตรงมากที่สุดจะได้ผลดีและคุ้มค่าเงินที่เสียไปกับใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิซิครับ

6. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 1 ปี นับถึงวันสอบเทียบ : อาจมีคำถามว่าเทอร์โมมิเตอร์ของผมก็ได้รับการสอบเทียบแล้วทำไมต้องให้สอบเทียบกับห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ด้วยละ มันก็เหมือนๆ กัน ขอตอบว่าไม่เหมือนกันครับ ระบบประกันคุณภาพขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองระบบ ISO 17025 นั้นยอมรับว่าหากปฏิบัติตามระบบจริงๆ ถือว่าเป็นระบบที่น่าเชื่อถือ และเป็นระบบที่มีหน่วยงานอื่นๆ เช่น สมอ. เป็นผู้รับรองไม่ใช่ซั่งตวงวัดยิ่งทำให้ระบบการทำงานน่าเชื่อถือเพราะมีระบบการตรวจสอบระหว่างกันและกัน ดังนั้นหากต้องไปสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้กับงานสอบเทียบซั่งตวงวัดแนะนำให้เลือกห้องปฏิบัติการที่ได้รับรอง ISO 17025 เถอะครับ เพราะจากประสบการณ์พบว่ามีบางห้องปฏิบัติรายงานผลการสอบเทียบคลาดเคลื่อนจนน่ากลัวครับ

ไม้บรรทัด

1. มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่า JIS B7516 Grade 1 หรือเทียบเท่า
2. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 1 mm
3. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d
4. ช่วงใช้งานอยู่ในช่วง 30-90% ช่วงวัดได้ (measure range)
5. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 2 ปี นับถึงวันสอบเทียบ

เงื่อนไขเพิ่มเติม

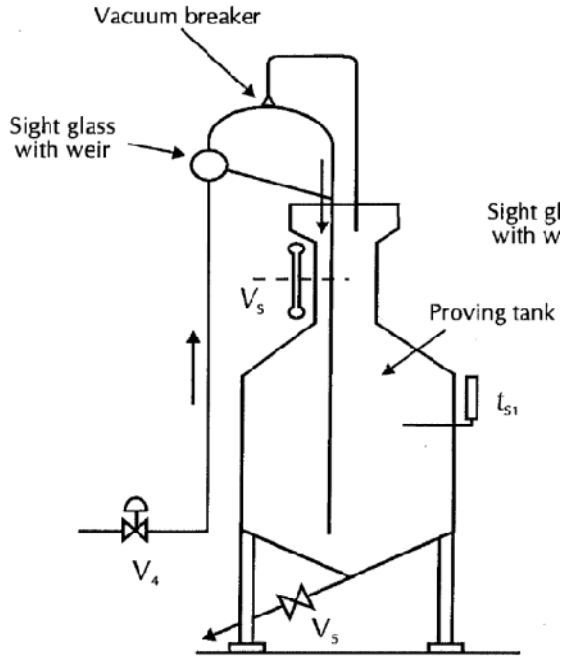
1. ตรวจสอบขีดขั้นหมายมาตราให้ถูกต้องตามอัตราส่วนคอของถังตวงโลหะที่นำมาสอบเทียบ

2. อุณหภูมิเฉลี่ยของเหลว (น้ำ) วัดได้ของถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบกับถังตวงโลหะแบบมาตราต้องต่างกันไม่เกิน 1.5 °C

3. อุณหภูมิของเหลว (น้ำ) ต้องไม่ต่างกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเกินกว่า 5 °C หากมีค่าอุณหภูมิต่างกันเกิน 5 °C ให้หยุดทำการสอบเทียบ : ในการสอบเทียบโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการสอบเทียบนั้น ผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำอันเนื่องจากค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำกับสภาวะแวดล้อมอาจจะมองเห็นภาพไม่ชัดเจน แต่หากใช้น้ำมันหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแล้วจะเห็นผลกระทบในระดับที่น่าสนใจทีเดียว ยิ่งค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำกับสภาวะแวดล้อมสูงมากเท่าไร การรีบอ่านค่าอุณหภูมิของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบต้องกระทำด้วยความกระชับรวดเร็วและน่าเชื่อถือ

4. ต้องมีน้ำหล่ออยู่ Thermo Well เพียงพอและตลอดเวลา : เพราะเป็นเรื่องการถ่ายเทความร้อน (Thermal Conduction) ครับ หากไม่มีน้ำหล่ออยู่มีแต่อากาศ ในทางเทคนิคแล้วอากาศถือเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง

5. ถังตวงโลหะชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตราต้องมีอัตราส่วนคอถังคงที่ตลอดช่วงแสดงขีดขั้นหมายมาตรา และคอถังตวงเป็นทรงกระบอกไม่มีวัสดุหรือสิ่งอื่นใดถูกติดตั้งบริเวณภายในคอถังตวงและก่อให้เกิดอัตราส่วนคอถังตวงเปลี่ยนหรือไม่คงที่ตลอดช่วงแสดงขีดขั้นหมายมาตรา : เราพบว่าบางถังตวงโลหะผู้ครอบครองจะเดินท่อเข้าบริเวณคอถังตวงในบางช่วงของความยาวของคอถังตวงโลหะซึ่งจะทำให้อัตราส่วนคอถังไม่คงที่ ดังนั้นหากผู้ครอบครองต้องการจริงๆ ก็ทำการติดตั้งให้ถาวรไปเลยและให้ยาวตลอดคอถังไปเลย นอกจากนี้มีการใช้เหล็กแผ่นไปม้วนเป็นทรงกระบอกเพื่อมาทำคอถังตวงโลหะซึ่งพบว่ามันไม่เป็นรูปทรงกระบอกที่ดี ดังนั้นในการทำคอถังตวงฯแนะนำให้ใช้ท่อแบบไม่มีตะเข็บครับ พอได้มาตรฐาน



รูปที่ 3 ติดตั้งท่อเข้าถังตวงโลหะผ่านคอถังอย่างถาวร

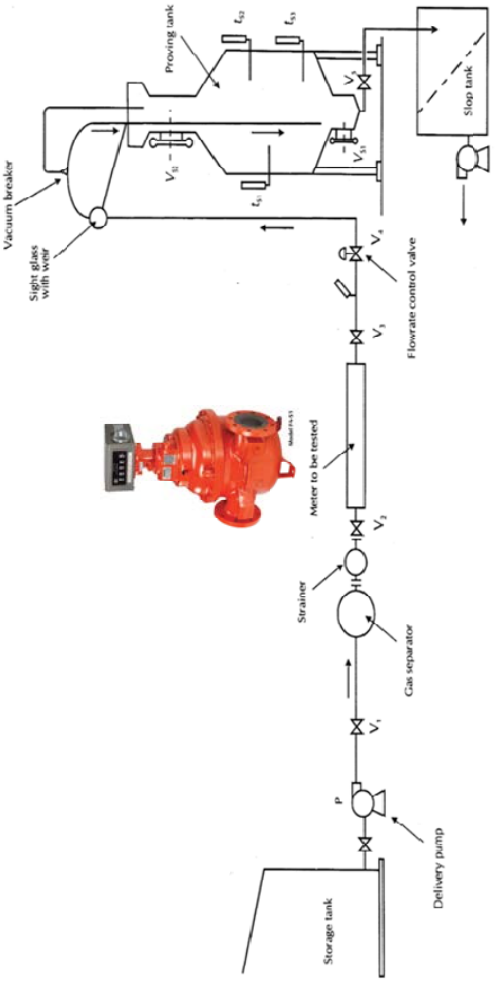
6. ในกรณีถังตวงโลหะที่รับการสอบเทียบเป็นชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตรา ถังตวงโลหะต้องมีส่วนแสดงค่าขีดขั้นหมายมาตราไม่น้อยกว่า ±0.5% ของพิกัดกำลังถังตวงโลหะ : เนื่องจากในทางปฏิบัติตามโครงสร้างถังตวงโลหะแบบมาตรานั้นถังตวงโลหะแบบมาตราจะถูกออกแบบเพื่อเป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งจะมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 นั้นคือมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 0.5% ของปริมาตรทดสอบ ด้วยเหตุนี้ถังตวงโลหะที่ผู้ครอบครองยื่นมาให้สอบเทียบนั้นเราไม่ทราบว่าถังตวงโลหะดังกล่าวไปใช้งานด้วยวัตถุประสงค์ใดอีกทั้งเพื่อให้มีมาตรฐานการจัดทำถังตวงโลหะแบบมาตราโดยไม่ให้มีความสูงของคอถังตวงต่ำหรือสูงจนเกินไป ถังตวงโลหะดังกล่าวจึงต้องมีขีดความสามารถพื้นฐานในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตร

ของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 เป็นเกณฑ์ ดังนั้นถังตวงโลหะจึงต้องมีส่วนแสดงค่าขีดขั้นหมายมาตราไม่น้อยกว่า ±0.5% ของพิกัดกำลังถังตวงโลหะ

7. การสอบเทียบมีทั้งแบบ Filling Method (ถังตวงโลหะแบบมาตราอยู่เหนือถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบ) และแบบ Water Draw Method (ถังตวงโลหะที่ต้องการสอบเทียบอยู่เหนือถังตวงโลหะแบบมาตรา)

8. จัดให้มีเครื่องตวงกระบอกแก้ว (Class “A” หรือ DIN “A”) ใช้ในการหาอัตราส่วนคอถังตวงที่สอบเทียบ : เรื่องนี้ดูเหมือนจะเป็นเรื่องเล็กแต่เอาเข้าจริงๆกลายเป็นเรื่องไม่เล็กครับและจะเห็นถึงความแตกต่างชัดเจนขึ้นในกรณีคอถังตวงแบบมาตราหรือถังตวงโลหะที่มีคอขนาดเล็ก หรือคอถังที่มี Sensitivity สูง เพื่อตัดปัญหาและสร้างมาตรฐานของงานชั่งตวงวัดจึงกำหนดให้ใช้เครื่องตวงกระบอกแก้วหรือ Cylinder ที่มีระดับ Grade “A” อย่างบัตร American Express นั้นเอง 555

แนวปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา (Master Flow Meter)
เทียบกับถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank)



รูปที่ 4 ระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

Master Flow Meter (PD Flowmeter)

1. ชั้นความเที่ยง 0.1 (0.1%) : เราจัดให้มาตรวัดแบบมาตราอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.1 เพื่อให้มีค่าผลผิดหรืออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอย่างน้อย 1 ใน 3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 (ติดตั้งในระบบฯ :0.5/3 = 0.166%, ไม่ติดตั้งในระบบฯ : 0.3/3 =0.1%)

นอกจากนี้ มาตรวัดแบบมาตราต้องเป็นมาตรวัดที่ถูกผลิตมาเพื่อใช้เป็นมาตรวัดแบบมาตราจากผู้ผลิตอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากมาตรวัดแบบมาตราดังกล่าวจะได้รับการออกแบบและการผลิตเป็นพิเศษทั้ง Hardware และ Software ไม่ใช่จะเอามาตรวัดรุ่นไหนแบบไหนมาแล้วแต่งตั้งให้เป็น “มาตรวัดแบบมาตรา (Master Flow Meter)” อย่างนี้เราไม่เอา

2. ทดสอบที่อัตราการไหล (Q) เท่ากับ Q_{min} & Q_{max} และอัตราการไหลที่ใช้งานจริงระหว่าง Q_{min} & Q_{max} รวมกันไม่ต่ำกว่า 4 อัตราการไหล : หลักการหนึ่งที่เรามักจะสับสนและอาจนำมาปนเปกันก็คือ การตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) นั้นจะเป็นการทำงานในภาคสนามมีข้อจำกัดมากมายต้องคำนึงและกังวลดังนั้นเพื่อให้สามารถทำงานได้เราจึงไม่สามารถตรวจสอบให้คำรับรองที่ทุกอัตราการไหลว่ามาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นๆ มีค่าผลผิดเท่าใด ด้วยเหตุนี้เราจึงเลือกที่จะหาผลผิดที่อัตราการไหลใช้งานปกติ (Normal Operation Flowrate) ซึ่งอาจมีอัตราการไหลเดียวหรือ 2 หรือ 3 อัตราการไหล และพอยอมรับได้ แต่ในกรณีนี้เราทำการสอบเทียบ (Calibration) มาตรวัดแบบมาตราซึ่งเราไม่ทราบแน่นอนตายตัวว่าจะถูกนำไปใช้กับมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่อัตราการไหลใดบ้าง ดังนั้นเราจึงต้องทำการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราด้วยการขึงขีดความสามารถสูงสุดและขีดความสามารถต่ำสุดก่อนอื่นใด ทำให้ได้ข้อสรุปคือทำการสอบเทียบช่วงอัตราการไหล Q_{min} & Q_{max} จากนั้นเราจึงหาขีดความสามารถระหว่างทางโดยพยายามแบ่งซอยย่อยอัตราการไหลทดสอบให้มากที่สุด เพราะเมื่อใช้งานจริงเราไม่สามารถใช้ได้ที่ตรงกับอัตราการไหลทดสอบ แต่จะมากบ้างน้อยบ้างซึ่งเรา

ต้องทำการ Interpolation ระหว่างอัตราการไหลทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่ง Meter Factor ที่ถูกต้องและมั่นใจที่สุด

3. ทดสอบด้วยของเหลวชนิดเดียวกับของเหลวที่ใช้วัดจริง : คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องความหนาแน่น ความหนืด การขยายตัวหรือหดตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดัน และอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีผลต่อการทำงานและผลผิดของมาตรวัดปริมาตรนั้นๆ ส่วนจะมีผลกระทบมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดและหลักการทำงานของมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นๆ เพื่อลดผลกระทบต่อผลผิดในการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราจึงต้องทดสอบด้วยของเหลวชนิดเดียวกับของเหลวที่ใช้วัดจริง

4. Repeatability $\leq$ 0.02%

5. Meter Factor (MF) ต้องไม่ทำให้มี Meter Error (MPE) เกิน 0.1% ตามข้อ 1.

$$MF = \frac{V_{0P}}{V_{0MM}} \qquad MPE = \frac{V_{0MM} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$$

6. มีคุณสมบัติครบตามกฎกระทรวงฉบับเทคนิคฯ ข้อ 66. : ซึ่งพอสรุปได้ว่า

6.1. มาตรวัดแบบมาตราชั้นความเที่ยง 0.1 หากมาตรวัดแบบมาตราได้**ติดตั้ง**เข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลวแล้ว ให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อยไม่เกิน 0.166% ของปริมาตรทดสอบ

6.2. มาตรวัดแบบมาตราชั้นความเที่ยง 0.1 มาตรวัดที่**ยังไม่ได้ติดตั้ง**เข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลว ให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเป็นกึ่งหนึ่งของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม 6.1 แต่ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.1 ของปริมาตรที่ทดสอบ

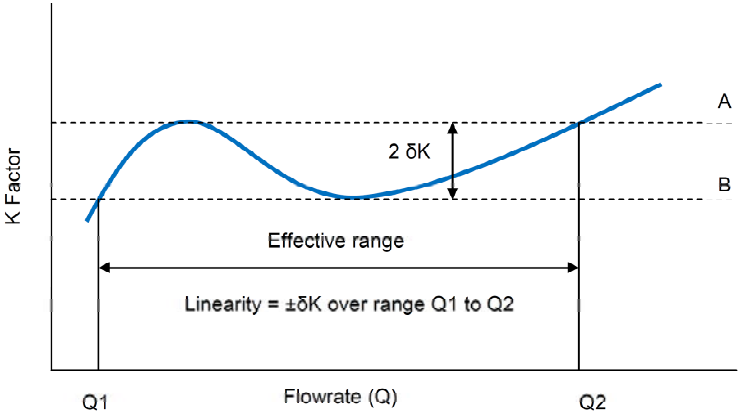
6.3. ค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดทุกอัตราการไหลที่คลาดเคลื่อนในฝ่ายเดียวกัน อย่างน้อยต้องมีค่าใดค่าหนึ่งไม่เกินกึ่งหนึ่งของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พูดอีกนัยหนึ่งคือ ผลผิดของมาตรวัดที่ผิดในทิศทางเดียวกันทุกอัตราการไหล

ต้องไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดให้ หรือ ½ x (+MPE) หรือ ½ x (-MPE)

6.4. พิสัยความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดปริมาตรของเหลว ต้องไม่เกินกึ่งหนึ่งของช่วงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด หรือคิดเป็น ½ x ((+MPE) - (-MPE))

6.5. ผลการวัดปริมาตรของเหลวที่มีปริมาตรไม่น้อยกว่าห้าเท่าของปริมาณน้อยที่สุดที่วัดได้ของระบบ มาตรวัดต้องมีความสามารถในการทำซ้ำได้ไม่เกิน ๒ ใน ๕ เท่า ของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม (1) หรือ (2) แล้วแต่กรณี เขียนได้ว่า Repeatability Error ≤ 2/5 MPE นั้นคือ $V_{Max} - V_{Min} \leq 2/5$ MPE

7. มีค่า Linearity ≤ ±0.10%,



รูปที่ 5 Linearity ของมาตรวัดในเทอมของ K-Factor

8. ส่วนประมวลผลและส่วนแสดงค่าแบบอิเล็คทรอนิคต้อง

8.1. Configulation ค่าตัวแปรต่างๆ ต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่ใช้ในการสอบเทียบจริงทุกค่า

8.2. บันทึกค่า K-Factor (Pulses/liter) : เรื่องนี้สำคัญมาก หากสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่านี้ได้ งานที่ทำมาทั้งหมดถือว่าสูญเปล่า ค่านี้จึงต้องได้รับการคุ้มครองรักษาป้องกันการแก้ไขอย่างเด็ดขาด ซึ่งเราเคยพบว่าผู้ครอบครองยังสามารถเข้าไปทำการแก้ไขได้ในมาตรวัดแบบมาตราที่เป็นระบบ

อิเล็คทรอนิค เนื่องจากไม่ได้ทำการจัดการทางด้าน Hardware ด้วยการกำหนด Jumpers บนแผงวงจรเพื่อป้องกันการเปลี่ยนและจัดการทางด้าน Software ด้วยการให้สิทธิของผู้ใช้งานเข้าถึงลำดับชั้นความปลอดภัยที่มีอำนาจเข้าไปเปลี่ยนแก้ไขค่าตัวแปรที่มีผลต่อความเที่ยงของมาตรวัดซึ่งได้ทำการ Configuration ไปแล้ว โดยเฉพาะค่า K-Factor (Pulses/liter) ใน Flowcomuter ได้

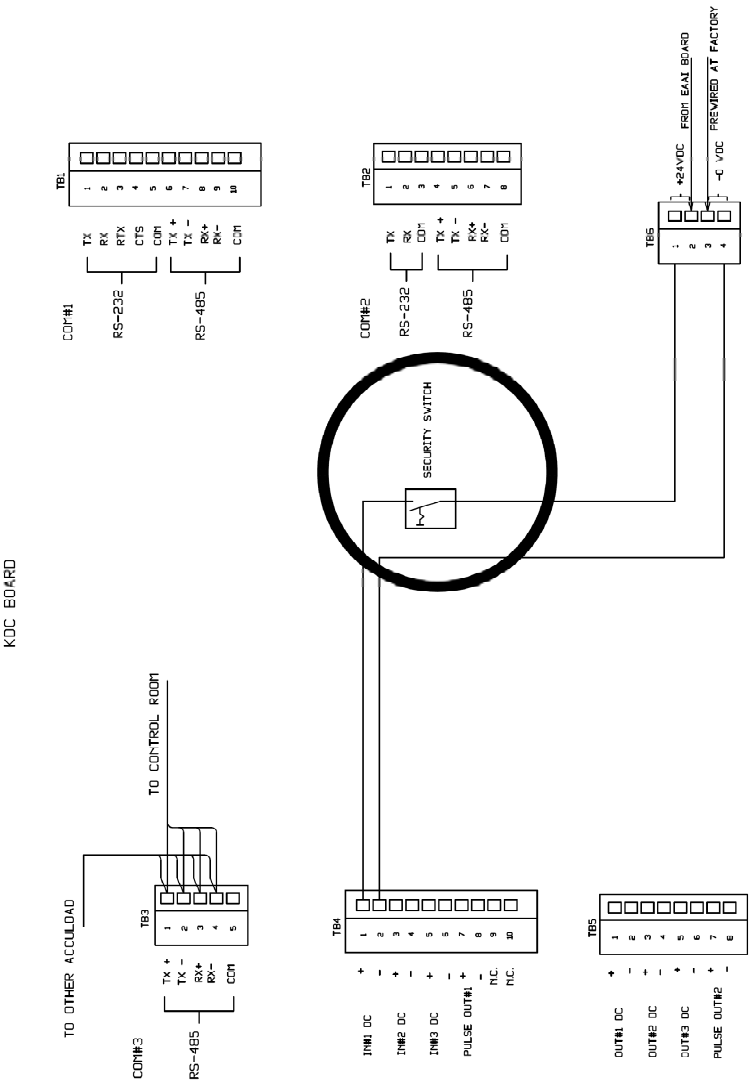
จากหน้างานในภาคสนาม เราเคยพบว่า Flow Computer หรือส่วนแสดงผลการวัดของมาตรวัดแบบมาตราสามารถทำการปรับเปลี่ยนค่า K-Factor ของมาตรวัดแบบมาตราได้โดยไม่ต้องทำลายซีลบนส่วนแสดงผลการวัดของสำนักชั่งตวงวัด เพียงแต่ป้อนค่า Pass Word ซึ่ง Pass Word ดังกล่าวเป็น Pass Word ที่มีอภิสิทธิ์มากมายสามารถแก้ไขได้ทุกค่าที่มีผลความเที่ยงของมาตรวัดแบบมาตรา เช่น สามารถเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่า K-Factor, Meter Factor, และอัตราการไหลที่สอดคล้องกับค่า K-Factor หรือ Meter Factor นั้นๆ ได้ และทุกอย่างตามแต่ผู้ใช้ที่มี Pass Word ดังกล่าวจะโปรดปรานและกรุณา จึงได้ติดต่อผู้แทนจำหน่าย Accuload III (ชื่อรุ่น Flowcomuter ยี่ห้อหนึ่ง) ช่วยชี้แจงว่าแก้ไขปัญหาอย่างไร ทางตัวแทนจำหน่ายตอบว่า เอาอย่างนี้ซิครับ

ก. เราติดตั้ง safety switch (ดังรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2) จากนั้นกำหนดให้ safety switch เป็น Security Switch Input #1 หรือ Security Input (W&M Mode) หรือ W&M keyswitch

ข. แล้วกำหนดให้ Security Switch Input #1 อยู่ใน Security LEVEL III ซึ่งเป็นระดับความปลอดภัย (Levels of Security) ชั้นสูงสุด

ค. พร้อมต้องโปรแกรมกำหนดให้ตัวแปรที่กำหนดไว้และมีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (W&M Parameters) อยู่ภายใต้ ***Code 156 (Security Input Access Level)*** ใต้หัวข้อ System Directory รวมทั้ง

ง. ทำให้สวิตซ์ Security Switch Input #1 อยู่ในตำแหน่ง “off”



รูปที่ 6.1 การติดตั้ง Safety Switch ที่ DC Input ตำแหน่ง Input#2 ขา 3&4 ของ TB4 กับ DC Power Supply ขา 1&4 ของ TB6 ของ Accuload III

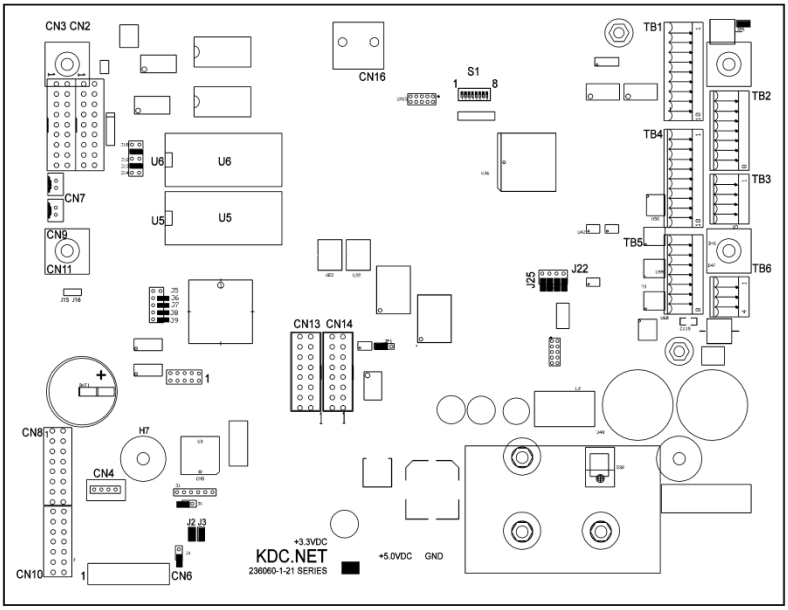


Figure 5. KDC Layout

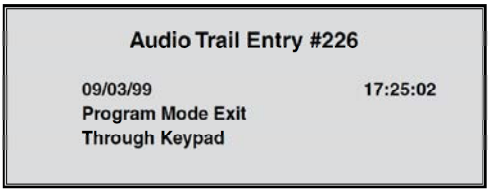
รูปที่ 6.2 การติดตั้ง Safety Switch ที่ DC Input ตำแหน่ง Input#2 ขา 3&4 ของ TB4 กับ DC Power Supply ขา 1&4 ของ TB6 ของ Accuload III

แค่นี้ก็ไม่สามารถเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าตัวแปรที่กำหนดไว้และมีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวในงานชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมาย (W&M Parameters) นั้นคือพวกค่า K-Factor, Meter Factor, และอัตราการไหลที่สอดคล้องกับ ค่า K-Factor หรือ Meter Factor นั้นๆ นอกเสียจากมี Pass Word ของ Security LEVEL III (ไม่รู้โดนหลอกอีกหรือเปล่า) ฟังแล้วดีใจครับตัวแทนจำหน่ายเค้ามีความรู้จริงๆ แต่เกิดคำถามขึ้นในใจว่า “ทำไมต้องรอให้ตรู..เจอก่อนแล้วจึงมาดำเนินการ” ดีใจครับ.....กับสังคมที่มีความรู้.....เสียใจครับ..... ที่ไม่ใช้ความรู้รักษาชุมชนตัวเอง

ตอนนี้ใครสงสัยกันบ้างครับ ว่าเรารู้ได้อย่างไร ? เหตุที่เรารู้เพราะเราขุกขนครับ เลยไปกดหารายการ “Audit Trail” และในรายการ “Audit Trail”

พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่า K-Factor และอัตราการไหลที่สอดคล้องกับค่า K-Factor นั้นๆ เลยให้ผู้ใช้เครื่องฯในขณะนั้นใช้ Pass Word ที่มีอยู่เข้าไปแก้ไขตัวแปรที่กำหนดไว้และมีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวตามงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (W&M Parameters) ก็แก้ไขได้จริงเลยถึงบางอ้อครับ ซึ่งค้นไปค้นมาจากการตรวจสอบเอกสารการตรวจสอบต้นแบบ (Pattern Approval) ของ National Conference on Weights and Measures, สหรัฐอเมริกา พบว่าเรื่อง Sealing บอกว่า Accuload III ใช้ Category III Audit Trail และติดตั้งวิธีการอื่นๆขึ้นอยู่กับผู้ใช้ อันนี้แหละครับต้องใช้สังคมที่มีความรู้

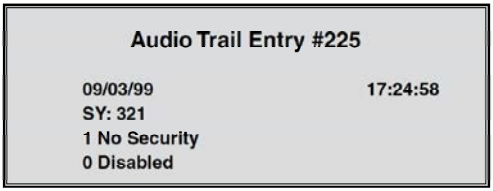
เราสามารถอ่านผลการบันทึกของ “Audit Trail” ได้เท่านั้นไม่สามารถเข้าไปแก้ไขได้ เริ่มด้วยกด “ENTER” เข้าไปเครื่อง Accuload III จะแสดงการบันทึกผลล่าสุดในการเข้ามาในระบบของ Accuload จะปรากฏขึ้นมา ตัวอย่างเช่น



Audit Trail Entry จะให้ข้อมูลวัน เวลา และเหตุการณ์ ของ Program Mode ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะบันทึกเฉพาะ

1. การเปลี่ยนแปลงใดๆ กับ Parameters ซึ่งกำหนดและจัดให้อยู่ในระดับชั้นความปลอดภัย (levels of security) 2 ชั้นสูงสุดที่กำหนดไว้ เช่น หากจัดระดับชั้นความปลอดภัยไว้ 3 ระดับ คือ 1, 2, และ 3 ระดับชั้นความปลอดภัยสูงสุดคือชั้น 3 ดังนั้น Audit Trail จะบันทึกการเปลี่ยนแปลง Parameters ซึ่งกำหนดและจัดให้อยู่ในระดับชั้นความปลอดภัย ชั้น 2 และชั้น 3 เท่านั้น รวมทั้ง
2. หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับความปลอดภัยของ Parameters ด้วย

หากต้องการดูรายการบันทึกเลขที่ถัดมา ให้กดปุ่มลูกศรขึ้น-ลง ตัวอย่างเช่นในรูป Audit Trail หมายเลข 225



บรรทัดที่ 1 วัน และเวลา ที่ทำการบันทึก

บรรทัดที่ 2 program code ที่ถูกแก้ไขเปลี่ยนแปลง

SY = system parameter

บรรทัดที่ 3 1 = No Security is the old program value

บรรทัดที่ 4 0 = Disabled is the new program value

เมื่อตรวจสอบแล้วเสร็จและต้องการออกจาก Audit Trail โดยกดปุ่ม “CLEAR” เครื่องจะออกมาสู่ “Diagnostic menu”

ตัวแปรที่กำหนดไว้และมีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (W&M Parameters) รวมถึง 301, 305, 309, 313, 317, 321,325, 333, 337 or 341 และควรจัดไว้ในระดับชั้นความปลอดภัยสูงสุด ส่วนรายละเอียดมากกว่าให้ไปอ่านในบทสุดท้ายของหนังสือ “การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร”, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, จรินทร, สาธิต

8.3. สำเนา “Audit Trail” ทุกครั้ง : เราถือว่า Audit Trail เป็นซีลชนิดหนึ่ง เรียกว่า “อิเล็คทรอนิคซีล” ดังนั้นในเครื่องชั่งตวงวัดที่เป็นระบบอิเล็คทรอนิคไม่เพียงต้องจัดให้มีลำดับชั้นความปลอดภัยในการเข้าถึงการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าที่ทำการ Configuration ใน Flowcomuter ที่มีผลต่อความถูกต้องของการทำงานของมาตรวัดแบบมาตราแล้ว ต้องมีการบันทึกและพิมพ์ผลการบันทึกของ Audit Trail ทุกครั้ง เนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Leagl Metrology) ต้องมีโหมดนี้เสมอ หากไม่มี

อนุมานได้ว่าเครื่อง Flowcomputer เครื่องนั้นไม่ผ่านการยอมให้ใช้งานชั่งตวงวัดตามข้อกฎหมายภายในประเทศผู้ผลิตเอง แต่ดันเอามาขายในต่างประเทศ? 555

พบว่า NIST (The National Institute of Standards and Technology) กล่าวไว้ใน HB 44 ว่าเครื่องชั่งตวงวัดที่เป็นระบบอิเล็คทรอนิคการมี “อิเล็คทรอนิคซีล” เป็นสิ่งสำคัญและ Audit Trail จึงเป็นเรื่องหนึ่งที่มีการกล่าวถึง เราจะพบว่าการมี Audit Trail มีประโยชน์ด้วยกันทุกฝ่าย เช่นผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดสามารถใช้เป็นบันทึกและหลักฐานว่าเครื่องชั่งตวงวัดที่ตัวเองผลิตนั้นมีความถูกต้องเที่ยงตรง หากผู้ใช้จะฟ้องร้องกล่าวหาว่าเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวไม่เที่ยงตรงก็สามารถพิสูจน์ได้ว่าเกิดจากเครื่องชั่งตวงวัดเองหรือเกิดจากการแก้ไขค่าตัวแปรที่มีผลต่อความเที่ยงของเครื่องชั่งตวงวัด ในขณะเดียวกันก็สามารถคุ้มครองผู้ใช้งานสุจริตได้ว่า หากเครื่องชั่งตวงวัดให้ผลการวัดไม่เที่ยงตรง ก็อาจมาจากสาเหตุอื่นๆ ไม่ใช่ความตั้งใจในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าตัวแปรที่มีผลต่อความเที่ยงของเครื่องชั่งตวงวัด แต่อย่างไรก็ตาม Audit Trail มักจะมีข้อจำกัดด้านหน่วยความจำ หรือบันทึกเฉพาะรายการที่มีผลต่อความเที่ยงของเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ ซึ่งถือว่ายังมีช่องว่างอยู่เช่นกัน

9. มีที่ซีล/รูร้อยลวดผูกตะกั่ว ป้องกันปรับหรือแก้ไขค่าที่มีผลต่อความเที่ยง : สำหรับมาตรวัดแบบมาตราแบบกลไกถือว่าการร้อยลวดผูกซีลพอใช้ได้ แต่สำหรับมาตรวัดแบบมาตราที่เป็นระบบอิเล็คทรอนิคดูเหมือนการร้อยลวดผูกซีลจะไม่เพียงพอเสียแล้วในปัจจุบัน

ถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank)

1. ใบรายงานผลสอบเทียบมีข้อมูล
    1.1. ใบรายงานผลสอบเทียบไม่เกิน 1 ปี
    1.2. Maximum Permissible Error (MPE) ≤ Tank Capacity /2000
    1.3. Uncertainty ≤ MPE/3
    1.4. Repeatability ≤ 0.02%

1.5. หมายเลขซีลและซีลต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ถูกต้อง

1.6. ตรงกับข้อมูลบน Name Plate ซึ่งติดตั้งมั่นคง

2. มีส่วนปรับระดับถังตวงโลหะแบบมาตรา และขาตั้งมั่นคง

3. ตรวจสอบสภาพถังตวงทางสายตาอยู่ในสภาพดี ไม่รั่วซึ่ม

4. เป็นถังตวงโลหะชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตราและต้องมีส่วนแสดงค่าขีดขั้นหมายมาตราไม่น้อยกว่า ±0.5% ของพิกัดกำลังถังตวง

5. ขนาดของถังตวงแบบมาตรา ต้องไม่น้อยกว่า 1-1.5 เท่าของปริมาตรที่ส่งจ่ายจริงผ่านมาตรวัดที่ต้องการสอบเทียบภายใน 1 นาที

6. มี Thermo Well จำนวนสอดคล้องกับพิกัดกำลังถังตวง

เครื่องวัดอุณหภูมิ

1. ชนิด RTD (Resistance Temperature Detectors)

2. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 °C

3. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d

4. ช่วงใช้งานอยู่ในช่วง 30-90% ช่วงวัดได้ (Measure Range)

5. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 1 ปี นับถึงวันสอบเทียบ

เครื่องวัดความดัน

1. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 PSI หรือ 0.1 kPa

2. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d

3. ช่วงใช้งานอยู่ในช่วง 30-90% ช่วงวัดได้ (Measure Range)

4. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 1 ปี นับถึงวันสอบเทียบ

เงื่อนไขเพิ่มเติม

1. อุณหภูมิของเหลวปิโตรเลียม ซึ่งวัดได้ที่มาตรวัดแบบมาตรากับถังตวงแบบมาตราต้องต่างกันไม่เกิน 1 °C

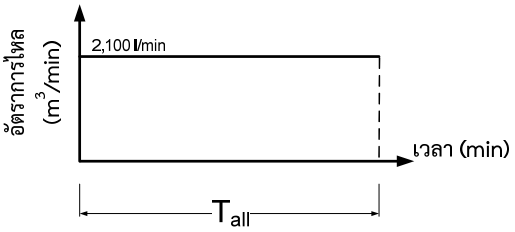
2. อุณหภูมิของเหลวปิโตรเลียมทั้งที่มาตรวัดฯและที่ถังตวงแบบมาตราต้องต่ำกว่าอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม (บริเวณที่ติดตั้งมาตรวัดฯและถังตวงแบบมาตรา) โดยผลต่างอุณหภูมิของเหลวที่มาตรวัดฯเทียบกับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม และผลต่างอุณหภูมิของเหลวที่ถังตวงแบบมาตราเทียบกับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมต้องต่างกันไม่เกิน 3 °C

3. ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ และความดันควรติดตั้งก่อนทางเข้ามาตรวัดหรือก่อนและหลังมาตรวัดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (อุณหภูมิและความดัน)

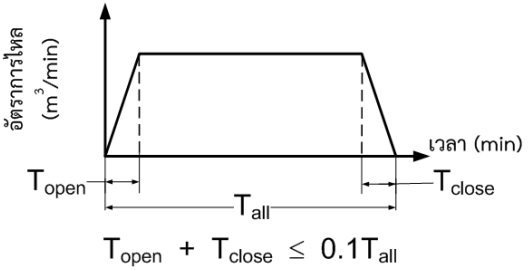
4. ของเหลวปิโตรเลียมที่ใช้เป็นตัวกลางสอบเทียบ ต้องมีค่าความหนืดจลน์ (Kinematics Viscosity) **≤ 5 cST** หากมีค่ามากกว่านี้ จะไม่เหมาะกับการใช้ถังตวงเป็นแบบมาตรา : เนื่องจากจะมีของเหลวตกค้างติดกับผนังถังในปริมาณไม่คงที่ ส่งผลให้การใช้ถังตวงแบบมาตราให้ผลไม่เที่ยงตรง บริษัท Third Party บางรายใช้ถังตวงแบบมาตราสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวกับผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีค่าความหนืดกว่า 5 cST จากนั้นก็เล่นล้างถังตวงแบบมาตราในแต่ละ Run ครับ....มันจริงๆ ประเทศไทยครับ

5. การปิด-เปิดวาล์วให้ติดตั้งหลังมาตรวัดแบบมาตรา เพื่อ ปิด-เปิดปล่อยของเหลวปิโตรเลียมเข้าถังตวงแบบมาตรา : เพื่อป้องกันปริมาตรที่ไหลผ่านมาตรวัดแบบมาตราไปเนื่องจากความเฉื่อยมวลของเหลวและการปรับสภาพความดันในระบบท่อให้ใกล้เคียงถังตวงแบบมาตราโดยไม่ได้รับการวัดค่าปริมาตรจากมาตรวัดแบบมาตรา นั้นหมายถึงจุดสภาวะอ้างอิงเริ่มต้นและสิ้นสุดของอุณหภูมิและความดันภายในระบบท่อไม่ได้มีสภาวะใกล้เคียงกันทุกรอบการสอบเทียบ

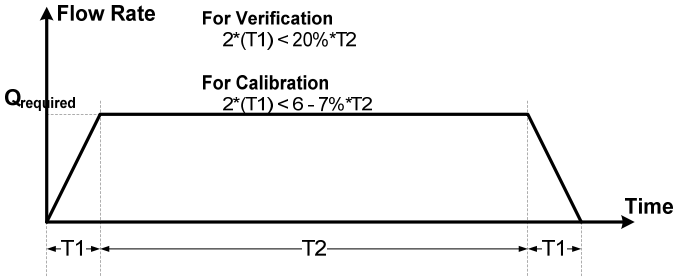
6. ข้อจำกัดของการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราเทียบกับถังตวงแบบมาตราขึ้นอยู่กับรูปแบบการปิด-เปิดวาล์วเข้าถังตวงแบบมาตรา ดังนั้นจึงกำหนดรูปแบบอัตราการไหลดังรูปที่ 7 อธิบายว่าด้วยระดับความมั่นใจสูงกว่า 95% พื้นที่



(ก)



(ข)



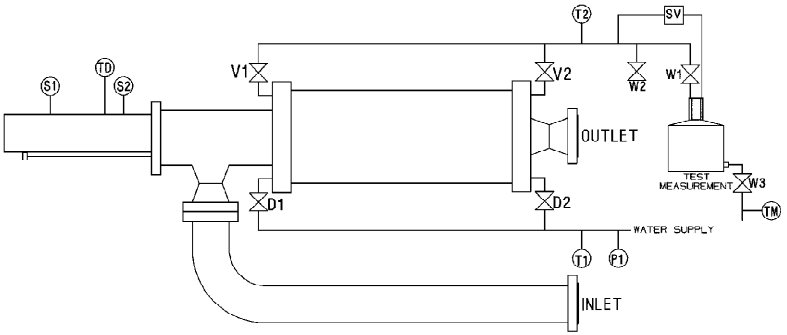
(ค)

รูปที่ 7 (ก) รูปแบบอัตราการไหลกับเวลาในการสอบเทียบ(Flowrate Pattern) ของมาตรวัดในทางทฤษฎีเพื่อหา Meter Factor (MF) ที่อัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่ง

(ข)-(ค) Flowrate Pattern ของมาตรวัดในทางปฏิบัติเพื่อหา MF ที่อัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่ง

ใต้กราฟรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหากอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังในกราฟรูปที่ 7 (ค) แล้วจะพบว่าพื้นที่ใต้กราฟมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ใต้กราฟรูปสี่เหลี่ยมในทางทฤษฎี ดังในรูปที่ 7 (ก) ดังนั้นในการสอบเทียบมาตรปริมาตรของเหลวแบบมาตราต้องจัดรูปแบบอัตราการไหลทดสอบดังในรูปที่ 7 (ค) ครับ

7. ต้องมี Gas Eliminator ก่อนทางเข้ามาตรวัด : จริงๆแล้วข้อนี้ต้องถือว่าเป็นหัวข้อแรกสุดของการสอบเทียบ เนื่องจากการวัดปริมาตรในงานชั่งตวงวัดนั้น ในปัจจุบันเท่าที่เทคโนโลยีมีอยู่ถือว่าเป็นการวัดปริมาตรของไหลเพียงสถานะเดียว หรือที่เรียกว่า Single-phase Fluid เท่านั้น ส่วนจะเป็นของไหลแบบของเหลวสถานะเดียวหรือก๊าซสถานะเดียวก็สุดแล้วแต่ แต่ในกรณีนี้มาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราต้องวัดของเหลวเพียงสถานะเดียว ระบบสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราจึงต้องมีตัวกำจัดไอหรืออากาศออกไปจากของเหลวให้หมด เพราะมาตรวัดปริมาตรของเหลวมีไว้สำหรับซื้อขายของเหลว ไม่ได้ออกแบบไว้ขายอากาศเป็นของแถมแต่อย่างใดครับ



รูปที่ 8 “Water Draw System”

Compact Prover

1. ทดสอบด้วยน้ำสะอาด ไม่ใช่น้ำคลอง หรือน้ำบาดาล

2. ทดสอบด้วยอัตราการไหลและความดันคงที่ไม่น้อยกว่าที่ผู้ผลิตกำหนด เช่น EMERSON: Flowrate > 10 gpm (38 lpm) ที่ 30-100 psi (207 to 689 kPa)

3. ตรวจสอบสภาพ CPP ทางสายตาอยู่ในสภาพดีพร้อมใช้งาน สะอาด ไม่รั่วซึ่ม ได้ระดับ

4. วัดอุณหภูมิ CPP (T_{CP}) เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิขาเข้า (T_1) และอุณหภูมิขาออก (T_2) จาก Compact Prover

5. วัดความดันตำแหน่งที่ Displacer หยุด ก่อนมีการเคลื่อนที่ (P_1) : เมื่อเวลาผ่านไปก็มักจะลืมเลือนกันไป จนเกิดการถ่ายทอดความรู้ในลักษณะเป็นความเชื่อหรือความเข้าใจผิด หรือตกหล่นระหว่างการถ่ายทอดความรู้ในหมู่ผู้ปฏิบัติงานภาคสนาม หลักการวัดค่าความดันภายใน CPP เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณผลการ

สอบเทียบ “ณ สภาวะระบบหยุดนิ่งทั้งหมด ให้กระทำโดยวัดค่าความดันของของเหลว ก่อนของเหลวดังกล่าวถูกผลักเข้าไปสู่ถังตวงแบบมาตรา” ให้ดู Figure 3A และ Figure 3A ใน API Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter – Proving Systems Section 9 – Part 2 เคยได้ยินว่าให้อ่านค่าความดันของเหลวระหว่างที่ Piston เคลื่อนที่ (S_1-S_2) อย่างนี้ไม่ถูกต้อง บางคนบอกว่าให้วัดความดันของเหลวเมื่อ Piston หยุดก่อนเคลื่อนที่ (S_1) และวัดความดันของเหลวอีกครั้งหลัง Piston เคลื่อนที่แล้วหยุด (S_2) แล้วนำมาเฉลี่ยค่าความดันก่อนนำไปคำนวณผลการสอบเทียบ อย่างนี้พอรับได้ แต่ตามขั้นตอนที่เขียนโดยผู้ผลิต CPP Danial นั้นให้วัดความดันของเหลวเมื่อ Piston หยุดก่อนเคลื่อนที่ผลักของเหลวไปยังถังตวงแบบมาตรา

6. ผลการหาค่า “BASE VOLUME” ที่สภาวะมาตรฐาน อย่างน้อย 4 ครั้ง ติดต่อกันให้ค่า Repeatability $\leq$ 0.02%

7. ส่วนประมวลผลและส่วนแสดงค่าแบบอิเล็คทรอนิคต้องมีประจำส่วนวัดของ CPP : เรื่องนี้ทั้งสร้างปัญหาและแก้ไขได้ค่อนข้างลำบากเนื่องจากเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสังคมที่มีความรู้ เพราะผู้ปฏิบัติงานต้องทำความเข้าใจการ Configuration หรือการป้อนค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของการทำงานของทั้ง CPP และมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ถูกตรวจสอบความเที่ยงด้วย CPP รวมทั้งการเข้าถึงและการป้องกันการแก้ค่าตัวแปรดังกล่าว ซึ่งก็ได้พยายามหาข้อยุติเขียนแก้ไขเพิ่มเติม กำหนดเป็นแนวทางอีกหนึ่งเรื่องต่อท้ายแนวปฏิบัตินี้กันไปเลย

7.1. Configulation ค่าตัวแปรต่างๆ ให้ตรงกับข้อมูล CPP ที่ใช้ในการสอบเทียบจริง

7.2. สำเนา “Audit Trail”(ถ้ามี) ทุกครั้ง

8. มีที่ซีล/รูร้อยลวดผูกตะกั่ว ป้องกันปรับหรือแก้ไขค่าที่มีผลต่อความเที่ยง

9. ต้องมี Name Plate ติดตั้งมั่นคงและข้อมูลครบตามกำหนด

ถังตวงโลหะแบบมาตรา

1. ใบรายงานผลสอบเทียบมีข้อมูล
    1.1. ใบรายงานผลสอบเทียบไม่เกิน 1 ปี
    1.2. Maximum Permissible Error (MPE) ≤ Tank Capacity /2000
    1.3. Uncertainty ≤ MPE/3
    1.4. Repeatability ≤ 0.02%
    1.5. ขีดขั้นหมายมาตราต่ำสุด (d) ≤ 0.02% ของพิกัดความจุของ CPP หรือ อัตราส่วนคอถัง ≤ 0.01%ของพิกัดความจุของ CPP ต่อ 1 เซ็นติเมตร
    1.6. หมายเลขซีลและซีลต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ถูกต้อง
    1.7. ตรงกับข้อมูลบน Name Plate ซึ่งติดตั้งมั่นคง
2. มีส่วนปรับระดับถังตวงโลหะแบบมาตรา และขาตั้งมั่นคง
3. ตรวจสอบสภาพถังตวงทางสายตาอยู่ในสภาพดี ไม่รั่วซึ่ม
4. ในกรณีถังตวงโลหะชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตรา ปริมาตรคอถังตวงควรมีส่วนแสดงค่าขีดขั้นหมายมาตราไม่น้อยกว่า ±0.1% ของพิกัดกำลังถังตวง
5. มีพิกัดกำลัง เท่ากับพิกัดกำลัง CPP หรือน้อยกว่าแต่ไม่ควรใช้ถังตวงแบบมาตรามากกว่า 2 ถัง

เครื่องวัดอุณหภูมิ

1. สำหรับวัดอุณหภูมิ CPP (T_1, T_2) และอุณหภูมิถังตวงแบบมาตรา (T_M)
    1.1. Glass Stem Thermometers/RTD (Resistance Temperature Detectors) PT100 3 ชุด
    1.2. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 °C
    1.3. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d
    1.4. ช่วงอุณหภูมิ -1 to 50 °C
2. สำหรับวัดอุณหภูมิ Invar Rod (T_d)

2.1. RTD (Resistance Temperature Detectors) หรือ digital thermometer : เราเคยเจอผู้ประกอบการเอาเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทแปะด้วยดินน้ำมันเข้ากับตัว Invar Rod การกระทำดังกล่าวถือว่าเป็นความล้มเหลวทางความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานชั่งตวงวัดและการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท และให้ถือเป็นบทเรียนที่ไม่ควรกระทำเป็นอย่างยิ่ง จึงขอบันทึกเอาไว้ในที่นี้เพื่อเป็นความรู้สะสมกันต่อไป

2.2. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 °C

3. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 1 ปี นับถึงวันสอบเทียบ

เครื่องวัดความดัน

1. อ่านละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 PSI หรือ 1.0 kPa
2. ค่า Uncertainty ต่ำกว่าค่า d
3. ช่วงการวัด 0-100 psig (0-689 kPa)
4. ใบรายงานผลสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการได้รับ ISO 17025 ไม่เกิน 1 ปี นับถึงวันสอบเทียบ

เงื่อนไขเพิ่มเติม

1. ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของถังตวงแบบมาตรากับ Compact Prover ต้องมีค่า**ไม่เกิน ± 0.2 °C**

2. ถังตวงแบบมาตราควรได้รับการสอบเทียบด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก (Gravimatic Method) มีค่า Repeatability 0.01% และ Uncertainty 0.01% (ถังตวงแบบมาตรา 40 -400 ลิตร[1])

[1]Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 4—Proving Systems, Section 4—Tank Provers

3. ต้องมีน้ำหล่ออยู่ Thermo Well เพียงพอและตลอดเวลา

4. ถังตวงโลหะชนิดคอมีขีดขั้นหมายมาตราต้องมีอัตราส่วนคอถังตวงคงที่ตลอดช่วงแสดงขีดขั้นหมายมาตรา และคอถังตวงเป็นทรงกระบอกไม่มีวัสดุหรือสิ่งอื่นใดถูกติดตั้งบริเวณภายในคอถังตวงและก่อให้เกิดอัตราส่วนคอถังตวงเปลี่ยนหรือไม่คงที่ตลอดช่วงแสดงขีดขั้นหมายมาตรา

5. ตรวจสอบข้อมูล CPP ถึงค่าที่ใช้และหน่วยวัดที่ใช้ (SI Unit หรือ BS Unit หรือ ผสมกันระหว่างหน่วยทั้ง 2 ระบบ) ซึ่งปรากฏในส่วนประมวลผล/ส่วนแสดงค่าต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

5.1. ชนิด Material ของ Body ซึ่งจะเป็นค่า Squared Coefficient of Expansion, Modulus of Elasticity : เรื่องนี้ต้องระมัดระวังให้มากไว้ เนื่องจากเคยพบปัญหาอยู่ว่าผู้ประกอบการได้รับการว่าจ้างให้ซ่อม CPP จากโรงงานแห่งหนึ่งจึงนำ CPP มาซ่อมที่สถานที่ผู้ประกอบการ เมื่อซ่อมเสร็จจึงแจ้งชั่งตวงวัดให้เข้าไปร่วมทำการสอบเทียบ CPP โดยผู้ประกอบการแจ้งว่าได้นำข้อมูลดิบประจำ CPP ที่ถือว่าเป็นข้อมูล Commissioning ในการก่อสร้างโรงงานดังกล่าวไปใช้งานในการคำนวณผลการสอบเทียบ รวมทั้งนำค่าดังกล่าวไปป้อนเข้าใส่ใน Flow Computer สำหรับใช้ในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวอีกด้วย โดยไม่ได้สนใจและเฉลี่ยวใจในตัว CPP ดังกล่าวว่าทำไมจึงใช้ Material ของ Body ชนิดเดียวกับ CPP ที่ใช้กับของเหลวชนิดน้ำมัน (อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 50 °C และความดันไม่เกิน 10 barg) ทั้งๆ ที่ตัว CPP ที่ทำการสอบเทียบอยู่นั้นใช้กับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีอุณหภูมิและความดันสูงมาก (Design Temperature (Max/Min) 250/100 °C และ Design Pressure ~26 barg) อีกทั้งผู้ประกอบการไม่ตรวจทานว่า CPP ดังกล่าวเป็น Model ใดแต่ยึดถือข้อมูลที่ได้รับมอบจากผู้ครอบครอง พอไล่กันไปไล่กันมาตรวจสอบ Model ของ CPP และตรวจสอบเอกสาร “Compact Prover Volumetric Determination Data” จากผู้ผลิตพบว่าใช้ Material ของ Body เป็นชนิดพิเศษ อ้าว ค่าสัมประสิทธิ์ ฯลฯ เปลี่ยนซิครับ ..ผลที่ตามมาก็คือค่า BASE VOLUME ของ CPP ผิดไปจากความจริง

Table 7-2. Compact Prover Model Code

PROVER SIZE			MOUNTING	REVISION LEVEL	PRESSURE RATING	EXTERIOR FINISH	UNITS OF CALIBRATION	SEAL MATERIALS	MATERIAL OF CONSTRUCTION	MOTOR VOLTAGE	VENT AND DRAIN OPTIONS	SENSORS/ GAGES	OPTIONS	DOCUMENTATION
P	X	Y	Z	B	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K

X Y PROVER SIZE

X	Y	NOMINAL TUBE VOLUME	FLANGE SIZE	GPM	LPM	BPH	M3/H
0	8	5 GAL. (20 LITERS)	2"	0.25 TO 250	0.946 TO 946	0.357 TO 357	0.057 TO 57
2	M	10 GAL. (40 LITERS)	4"	1.0 TO 1,000	3.78 TO 3,780	1.43 TO 1,430	0.227 TO 227
1	2	15 GAL. (60 LITERS)	6"	1.75 TO 1,750	6.623 TO 6,623	2.5 TO 2,500	0.397 TO 397
1	8	30 GAL. (120 LITERS)	8"	3.5 TO 3,500	13.247 TO 13,247	5.0 TO 5,000	0.794 TO 794
2	4	65 GAL. (250 LITERS)	12"	7.0 TO 7,000	26.495 TO 26,495	10 TO 10,000	1.589 TO 1,589
3	4	100 GAL. (400 LITERS)	16"	12.6 TO 12,600	47.691 TO 47,691	18 TO 18,000	2.860 TO 2,860
4	0	170 GAL. (650 LITERS)	20"	17.5 TO 17,500	66.237 TO 66,237	25 TO 25,000	3.972 TO 3,972

Z MOUNTING

1 – HORIZONTAL (STD.)
2 – HORIZONTAL WITH TRAILER
3 – VERTICAL STATIONARY
4 – VERTICAL HYDRAULIC POSITIONER
5 – VERTICAL HYDRAULIC POSITIONER AND TRAILER
6 – MIRROR IMAGE HORIZONTAL
7 – MIRROR IMAGE HORIZONTAL WITH TRAILER
8 – MIRROR IMAGE VERTICAL HYDRAULIC POSITIONER
9 – MIRROR IMAGE VERT. HYD. POSITIONER AND TRL.
Z – SPECIAL

E MATERIAL OF CONSTRUCTION

	FLOWTUBE MATERIAL (CHROMEPLATED)	PIPING FLANGE MATERIAL	OPERATING CONDITIONS
1 –	17-4 PH ST.STL.	CARBON STEEL	-20 TO 200°F (-29 TO 93°C)
2 –	17-4 PH ST.STL.	304 ST. STL.	-20 TO 200°F (-29 TO 93°C)
3 –	17-4 PH ST.STL.	LOW CARBON STEEL	-50 TO 170°F (-45 TO 77°C)
4 –	17-4 PH ST.STL.	304 ST. STL.	-50 TO 170°F (-45 TO 77°C)
5 –	17-4 PH ST.STL.	CARBON STEEL	50 TO 270°F (10 TO 132°C)
6 –	17-4 PH ST.STL.	304 ST. STL.	50 TO 270°F (10 TO 132°C)
Z –	SPECIAL		

B REVISION LEVEL

A PRESSURE RATING

1 – 150 LB. ANSI 285 PSI (1,966 kPa)
3 – 300 LB. ANSI 740 PSI (5,104 kPa)
6 – 600 LB. ANSI 1480 PSI (10,207 kPa)
9 – 900 LB. ANSI 2220 PSI (15,310 kPa)
Z – SPECIAL

F MOTOR VOLTAGE

A – 115 VAC/60 Hz – SINGLE PHASE
B – 220 VAC/50 Hz – SINGLE PHASE
C – 240 VAC/60 Hz – SINGLE PHASE
D – 220 VAC/50 Hz – THREE PHASE
E – 240 VAC/60 Hz – THREE PHASE
F – 380 VAC/50 Hz – THREE PHASE
G – 415 VAC/50 Hz – THREE PHASE
H – 460 VAC/60 Hz – THREE PHASE
J – 208 VAC/60 HZ – THREE PHASE
K – 400 VAC/50 Hz – THREE PHASE
Z – SPECIAL

B EXTERIOR FINISH

	PAINT SYSTEM	INSULATION
A –	2 COATS – WHITE	NONE
B –	3 COATS – WHITE	NONE
C –	4 COATS – WHITE	NONE
D –	2 COATS – WHITE	PERMANENT FIBERGLASS JACKET
E –	3 COATS – WHITE	PERMANENT FIBERGLASS JACKET
F –	4 COATS – WHITE	PERMANENT FIBERGLASS JACKET
G –	2 COATS – WHITE	DETACHABLE FOAM JACKET
H –	3 COATS – WHITE	DETACHABLE FOAM JACKET
J –	4 COATS – WHITE	DETACHABLE FOAM JACKET
Z –	SPECIAL	

G VENT AND DRAIN OPTIONS / INSTRUMENT CONNECTIONS

	VENTS WITH BALL VALVES*	DRAINS WITH BALL VALVES*	SIGHT FLOW	PRESS/TEMP INSTR. CONN'S
1 –	NPT CONN.	NPT CONN.	NO	1" NPT
2 –	WELDED FLANGES	WELDED FLANGES	NO	1" NPT
3 –	WELDED FLANGES ONLY (NO BALL VALVES)	WELDED FLANGES ONLY (NO BALL VALVES)	NO	1" NPT
4 –	WELDED FLANGES	WELDED SYSTEM WITH OUTLET AT CENTRAL POINT ON SKID	NO	1" NPT
5 –	WELDED FLANGES	WELDED SYSTEM WITH OUTLET AT CENTRAL POINT ON SKID	YES	1" NPT
6 –	NPT CONN.	NPT CONN.	NO	1-1/2"600# RF FLG
7 –	WELDED FLANGES	WELDED FLANGES	NO	1-1/2"600# RF FLG
8 –	WELDED FLANGES ONLY (NO BALL VALVES)	WELDED FLANGES ONLY (NO BALL VALVES)	NO	1-1/2"600# RF FLG
9 –	WELDED FLANGES	WELDED SYSTEM WITH OUTLET AT CENTRAL POINT ON SKID	NO	1-1/2"600# RF FLG
0 –	WELDED FLANGES	WELDED SYSTEM WITH OUTLET AT CENTRAL POINT ON SKID	YES	1-1/2"600# RF FLG
Z –	SPECIAL			

C UNITS OF CALIBRATION

1 – GALLONS – SINGLE VOLUME
2 – LITERS – SINGLE VOLUME
4 – GALLONS – DUAL VOLUME
5 – LITERS – DUAL VOLUME
Z – SPECIAL

D SEAL MATERIALS

	POPPET SEAL O-RING	FLOWTUBE AND SEAL SUPPORT O-RINGS
A –	VITON	VITON
B –	NITRILE (BUNA-N	NITRILE
C –	KALREZ	KALREZ
D –	KALREZ	LOW SWELL NITRILE
E –	NEOPRENE	NEOPRENE
Z –	SPECIAL	

รูปที่ 9 ความหมายประจำตัวอักษร ของ CPP ในแต่ละ Model อักษรตัวที่ 10 (“E”) เป็นชนิดวัสดุที่ใช้ทำ Flow Tube ของ CPP Danial

แต่ CPP ดังกล่าวถูกนำไปใช้ตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวกันมานานตั้งแต่ปี 2552 จนถึงปี 2557 แต่ไม่ต้องบอกนะครับว่าใครเสียเปรียบหรือได้เปรียบ... กลุ้มใจ !!!! งง กันซิครับ กวาดบ้านซิครับ..... และนี้เป็นหนึ่งในหลายสาเหตุที่เรา

ต้องเข้าไปดูการ Configuration ค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อความเที่ยงของ CPP และมาตรวัดใน FlowComputer และหากเราช่วยกันตรวจสอบเราจะจะพบว่า วังเวงใจมาก...ในสังคมผู้มีความรู้ครับ !!

5.2. ชนิด Material ของ Invar Rod ซึ่งจะเป็นค่า Linear Coefficient of Expansion

5.3. ขนาดความหนา และรัศมีภายในของ Body

ดังนั้นเมื่อทำการสอบเทียบ CPP ให้ทำการตรวจสอบ Model ของ CPP เป็นชนิดใดและใช้วัสดุชนิดใดในการจัดทำ Flow Tube รวมทั้งข้อมูลใกล้เคียงอื่นๆ ทุกครั้ง

6. การหา “BASE VOLUME”[2] ที่สภาวะมาตรฐานของ CPP แบ่งเป็น 2 กรณี

6.1. หากนำ CPP ไปสอบเทียบมาตรวัด (Flow Meter) ซึ่งติดตั้งก่อน (Upstream) CPP (ดูรูปที่ 10) หา “BASE VOLUME” ที่สภาวะมาตรฐานด้าน **Upstram (**Normal Condition**)** ดังในรูปที่ 12

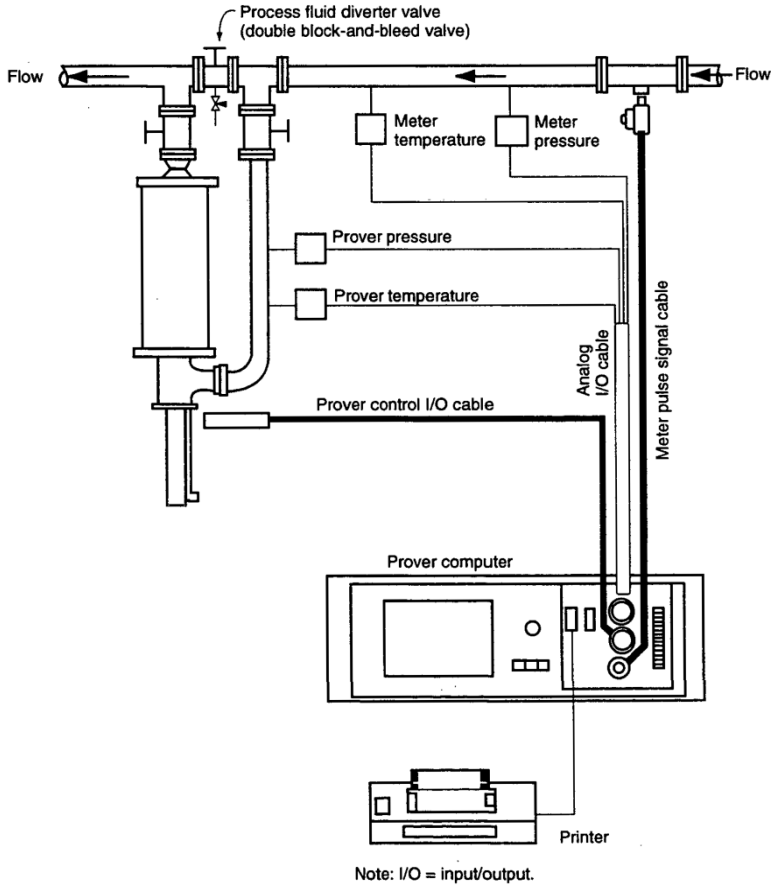
6.2. หากนำ CPP ไปสอบเทียบมาตรวัด (Flow Meter) ซึ่งติดตั้งหลัง (Downstream) CPP หา “BASE VOLUME” ที่สภาวะมาตรฐานด้าน **Downstream** ดังในรูปที่ 11

7. ตรวจสอบ Slip Test

7.1. หา “BASE VOLUME” ที่สภาวะมาตรฐานของ CPP ที่อัตราการไหลต่ำแรงดันปกติ เช่น EMERSON : Flowrate < 10 gpm (38 lpm) ที่ 30-100 psi (207 to 689 kPa)

---

[2] Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 4—Proving Systems, Section 9—Methods of Calibration for Displacement and Volumetric Tank Provers, Part 2—Determination of the Volume of Displacement and Tank Provers by the Waterdraw Method of Calibration



รูปที่ 10 มาตรวัดติดตั้งก่อน (Upstream) CPP

7.2. ตรวจสอบ Seal Leak Check เช่น EMERSON: ใช้ Dial Gauge จับการเคลื่อนที่ Displacer เมื่ออัดแรงดันโดยปิดด้านทางออกแล้ว Displacer ขยับน้อยกว่า 0.102 mm (0.004 inches) ในเวลา 5 นาที

8. ตรวจสอบแรงดันของระบบ Hydraulic และความดันใน Pneumatic Spring Plenum & ถังไนโตรเจน ตามผู้ผลิตกำหนด เนื่องจากระบบดังกล่าวมีผลต่อความเที่ยงของ CPP

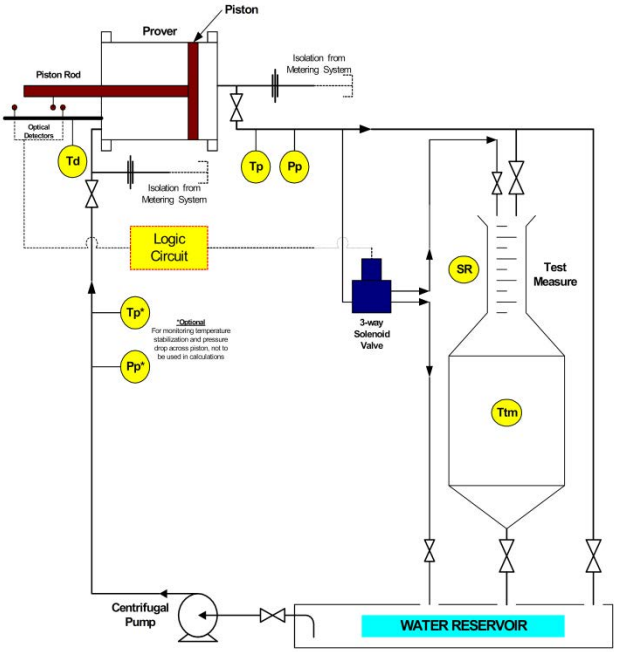


Figure 3A—Schematic Drawing of a Typical Layout for a Waterdraw Calibration of the Downstream Volume of a Displacement Prover with a Captive Displacer and External Detectors using Top-filling Test Measures

รูปที่ 11 "Downstram Base Volume"

9. ผู้ทำการสอบเทียบ (Third Party/ผู้ครอบครอง) ต้องส่งมอบใบรายงานผลสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันประจำ CPP ซึ่งส่วนแสดงค่า/ส่วนประมวลผล (Flow Computers) จะดึงสัญญาณค่าอุณหภูมิและค่าความดันจากเครื่องวัดดังกล่าวในการประมวลผลการวัดปริมาตรของ CPP เมื่อใช้ CPP ในฐานะ "แบบมาตรา (Standard)" เพื่อใช้ประกอบการออกรายงานผลการสอบเทียบ CPP : มีหลายคนรวมทั้งเราเองที่พลาดไปและไม่ได้ให้ความสนใจในเรื่องนี้ ทั้งๆที่เรื่องอุณหภูมิเป็นเรื่องยิ่งใหญ่มากในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม แต่ไม่เคยจะขอดูรายงานผลการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันประจำ CPP ดังในรูปที่ 10 ถามต่อมาว่า เราจะยอมให้เครื่องวัดอุณหภูมิและความดันชนิดใด

ติดตั้งประจำ CPP ก็ให้ไปดูรายการต่อท้ายหน้าหลังๆไปครับ แต่ถ้าเป็นเครื่องวัดอุณหภูมิต้องมี Transmitter ด้วยเสมอครับ เพื่อความเสถียรและความแม่นยำในการวัดหากต้องนำไปเชื่อมต่อเข้า Flowcomputer นั้นเอง

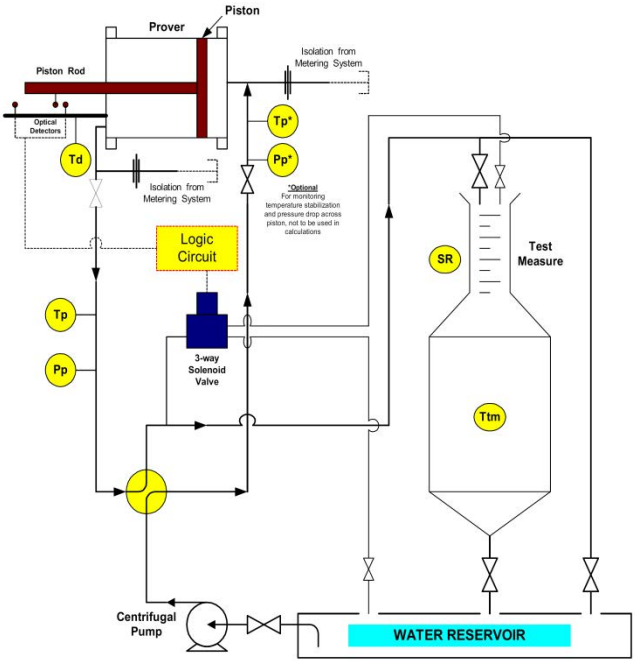


Figure 3B—Schematic Drawing of a Typical Layout for a Waterdraw Calibration of the Upstream Volume of a Displacement Prover with a Captive Displacer and External Detectors using Top-filling Test Measures

รูปที่ 12 “Upstram Base Volume”

10. การใช้ปริมาตรมาตรฐาน (Base Volume) ของ CPP เป็นแบบมาตราต้องมีส่วนแสดงค่า/ส่วนประมวลผล (Flow Computers) ติดตั้งประจำถาวร CPP อีกทั้งให้ผู้ทำการสอบเทียบ (Third Party/ผู้ครอบครอง) ต้องพิมพ์รายการ Configuration ของส่วนแสดงค่า/ส่วนประมวลผล **ก่อนและหลัง**สอบเทียบ CPP เพื่อใช้ประกอบการออกรายงานผลการสอบเทียบ CPP

การกำหนดแนวทางการเข้าถึง, Configuration และการรักษาความปลอดภัยของ Flow Computer (OMNI 3000/6000) ซึ่งใช้งานร่วมกับ Brook/Daniel Compact Prover และมาตรวัด (Flow Meters)

การสอบเทียบแบบมาตรา Compact Prover (CPP) ซึ่งมีส่วนแสดงค่าและประมวลผล Flow Computer OMNI 3000/6000 เพื่อใช้เป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัด (Flow Meters) เช่น PD Flow Meter / Turbine Flow Meter ดังรูปที่ 10

ก. ข้อกำหนดทั่วไป

1. Firmware สำหรับ Flow Computer (OMNI 3000/6000) ควรใช้รุ่นที่มีหน่วยการวัดเป็นระบบเมตริกตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 มาตรา 9

OMNICOM® Application

Use Table 1 utility before you start to select the software version of OMNICOM® that matches the firmware version number of your OMNI Flow Computer

Table 1. Firmware Versions

US VERSIONS		METRIC VERSIONS	
20	Turbine/Positive Displacement/Coriolis Liquid Flow Metering Systems (with K Factor Linearization)	24	Turbine/Positive Displacement/ Coriolis Liquid Flow Metering Systems (with K Factor Linearization)
21	Orifice/Differential Pressure Liquid Flow Metering Systems	25	Orifice/Differential Pressure Liquid Flow Metering Systems
22	Turbine/Positive Displacement Liquid Flow Metering Systems (with Meter Factor Linearization)	26	Turbine/Positive Displacement Liquid Flow Metering Systems (with Meter Factor Linearization)
23	Orifice/Turbine Gas Flow Metering Systems	27	Orifice/Turbine Gas Flow Metering Systems

รูปที่ 13 รุ่น Firmware ของ OMNI Flow Computer

2. การหาค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการตรวจสอบให้คำรับรองFlow Meters ได้

2.1. จากเครื่องวัดค่าความหนาแน่นของเหลว (Densitometer) ประจำ Metering Stations ที่ค่า Density @ 15 °C ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ใช้

ตรวจสอบให้คำรับรอง Flow Meters ซึ่งเครื่องวัดดังกล่าวต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ

2.2. จากห้องปฏิบัติการฯ ของหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ ซึ่งต้องแนบ Laboratory Report ที่รายงานค่า Density @ 15 °C ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตรวจสอบให้คำรับรอง Flow Meters มอบให้พนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดทุกครั้ง

3. ผู้ครอบครองควรพิจารณากำหนดคุณสมบัติของผู้ที่จะเข้าถึงและใช้งาน Flow Computer เช่น กำหนดคุณสมบัติการผ่านการฝึกอบรมการใช้เครื่อง Flow Computer จากเจ้าของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หรือ Authorized Dealer ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ก่อนเข้าดำเนินการใช้งานและทำการ Configuration ภายใน Flow Computer เพื่อป้องกันความผิดพลาด

ข. เครื่องวัดอุณหภูมิ และเครื่องวัดความดันประจำ CPP

1. Temperature Transmitters (TT) และ Pressure Transmitters (PT) ประจำ CPP & Flow Meters ให้มีค่าความถูกต้องโดยมีค่าผลผิดได้ไม่เกินค่าที่ปรากฏไว้ใน API MPMS Chapter 7- Section 2 และ API MPMS Chapter 21- Section 2:

	Discrimination	Allowable Deviation
Temperature of the liquid at the CPP ; T_{CPP}	0.05 -0.1 °C	0.1 °C
Pressure of the liquid at the CPP; P_{CPP}	10 - 20 kPag	20 kPag (0.2 barg/3 psig)
Temperature of the liquid at the meter; T_m	0.1 - 0.25 °C	0.25 °C
Pressure of the liquid at the meter; P_m	10 - 20 kPag	20 kPag (0.2 barg/3 psig)

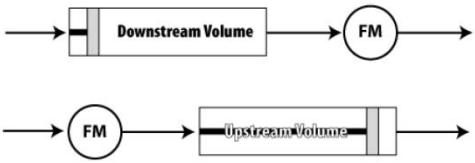
2. Temperature Transmitters (TT) และ Pressure Transmitters (PT) ประจำ CPP ต้องได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับ ISO 17025

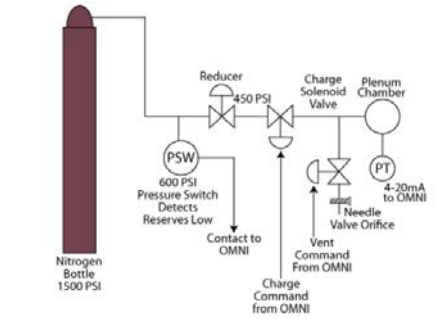
ในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม ก่อนสอบเทียบ (Calibration) แบบมาตรา CPP / ก่อนตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) Flow Meters

3. ให้ส่งมอบรายงานผลการการทดสอบ SAT (Site Acceptance Test) ของเครื่องวัดประจำ CPP, Flow Meters และ Flow Computer เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความดัน เครื่องนับสัญญาณพัลส์ และ Clock เป็นต้น แก่พนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดก่อนตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification)

ค. Flow Computer (OMNI 3000/6000) Configuration / Configuring Provers

Prover Settings	ตั้งค่า Configuration
{L2} Maximum Number of Runs	2 – 99 รอบการสอบเทียบ โดยปกติอยู่ประมาณ 10 รอบการสอบเทียบ
{L2} Number of Passes per Run to Average {L2} Number of Runs to Average {L2} Run Repeatability Maximum Deviation %	ให้ตั้งค่า Run Repeatability Maximum Deviation % ให้เป็นไปตาม API MPMS Chapter 4.8 -2013 (Table A-1 Repeatability Criteria for 0.027% Uncertainty (Preferred Uncertainty), For ±0.00027 Random Uncertainty in Average Meter Factor) *"Common examples of pass, run, and repeatability combinations are:* *- 3 passes per run, 5 runs at 0.05 % repeatability (15 passes);* *- 3 passes per run, 3 runs at 0.02 % repeatability (9 passes);* *- 5 passes per run, 5 runs at 0.05 % repeatability (25 passes);* *- 10 passes per run, 3 runs at 0.02 % repeatability (30 passes)"* สามารถเลือกค่าใดค่าหนึ่งจาก 4 ค่าข้างบน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน
{L2} Prove Run Meter Factor / Counts	0 = count กำหนด Prove Run เป็นแบบ Counts Repeatability นั้นคือพิจารณา

Prover Settings	ตั้งค่า Configuration
Repeatability (0 = count, 1 = MF)	ค่า Repeatability จากจำนวนสัญญาณพัลส์ (Interpolated count) ที่นับได้จาก Flow Meters
{L2} Prover Type	2 = Unidirectional Compact Prover จากรายการที่ให้เลือก 0 = Unidirectional Pipe Prover 1 = Bi-directional Pipe Prover 2 = Unidirectional Compact Prover (Brook Compact Prover) 3 = Bi-directional Small Volume Prover 4 = Master Meter 5 = Two-Series Bi-directional Pipe Prover
{L1} Prover Volume {L1} Prover Upstream Volume {L1} Prover Downstream Volume	1. เมื่อกำหนดให้ Prover Type เป็นแบบ Unidirectional Compact Prover (Brook Compact Prover) ดังนั้นต้องป้อนค่า Base Volume เพียงค่าเดียว คือ ค่า Prover Upstream Volume หรือ Prover Downstream Volume เพราะเป็นแบบ Unidirectional Compact Prover 2. เมื่อนำ CPP ไปใช้ร่วมกับFlow Meters ต้องติดตั้ง CPP ในทิศทาง Upstream/Downstream direction ให้ถูกต้องสอดคล้องกับค่า Base Volume ซึ่งป้อนค่าไว้ก่อนหน้านี้ ดังรูปข้างล่าง  **Fig. 6-12** Downstream and Upstream Volume setups.
{L1} Plenum Pressure Constant {L2} Plenum Pressure Deadband %	ระบบรักษาความดันอัตโนมัติภายใน Pneumatic Spring Plenum ของ CPP 1. กรณีที่ระบบ CPP ที่ไม่มีระบบรักษาความดันอัตโนมัติภายใน Pneumatic Spring Plenum ต้องไม่ป้อนค่าใดๆ ลงไป 2. กรณีที่ระบบ CPP มีระบบรักษาความดันอัตโนมัติภายใน

Prover Settings	ตั้งค่า Configuration
	Pneumatic Spring Plenum ให้ป้อนค่าตัวแปรตามจริง (ดังรูปข้างล่าง) *หมายเหตุ* ต้องตรวจสอบแรงดันภายใน Pneumatic Spring Plenum ทุกครั้งที่มีการตรวจสอบให้คำรับรอง ว่ามีค่าความดันสูงเพียงพอตามข้อกำหนดของผู้ผลิตหรือไม่ เนื่องจากหากแรงดันภายใน Pneumatic Spring Plenum มีค่าความดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะก่อให้เกิด slippage ใน CPP ได้ ซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องของแบบมาตรา (CPP) ทันที **Basic Operation** **Plenum Deadband %** The Compact prover requires that the plenum chamber pressure be maintained within certain limits.  **Fig. 6-14 Diagram shows venting and charging the plenum pressure**
{L1} Over-travel	“0.0” ตามคำแนะนำของผู้แทนจากบริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น OMNI Authorized Dealer
{L2} Inactivity Timer	100 second
{L1} Area Thermal Expansion Coeff Prover Barrel (Ga) {L1} Linear Coefficient of Switch Rod (Gl) {L1} Prover Diameter	ตั้งค่า Configuration ตามบริษัทฯ ผู้ผลิต CPP **หมายเหตุ** ค่าสัมประสิทธิ์วัสดุฯ ต่างๆ ต้องมีหน่วยที่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิและค่าความดันที่ส่งมาจาก Temperature Transmitter (TT) และ Pressure Transmitter (PT) ประจำ CPP (เช่น /°C , /bar, /kPa, /°F, /psi)

Prover Settings	ตั้งค่า Configuration
{L1} Prover Wall Thickness {L1} Modulus of Elasticity {L1} Cubical Thermal Expansion Coefficient of Tube (Gc)	
{L1} Base Pressure	0 Barg หรือ 0 Psig
{L1} Base Temperature	1. 30 °C สำหรับใช้งานของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เพราะค่าอุณหภูมิ 30 °C เป็นค่าอุณหภูมิที่ใช้เก็บภาษีสรรพสามิต และการคิดปริมาณสำรองน้ำมันของผู้ค้าตาม มาตรา 7 ของ พระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 2. 15 °C สำหรับใช้งานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)
{L2} Stability Check Sample Time	5 second
{L2} Sample Time Temperature Change (DTemp)	0.5 °C (1.0 °F)
{L2} Sample Time Flow Rate Change (DFlow)	0.05% Q_{max} ; (Q_{max} = อัตราการไหลสูงสุดของ Flow Meters) *(หรือ ผลผิดการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์วควบคุมอยู่ที่ประมาณ 1-2% ในกรณีใช้ Positioner ส่วนจะมีค่าผลผิดอัตราการไหลเท่าไรต้องไปเปิดสมรรถนะวาล์วควบคุมชนิดนั้น)*
{L2} Prover-to-Meter Temperature Deviation Range	0.5 °C
{L2} Meter Factor Deviation Percent	“0” ตามคำแนะนำของผู้แทนจากบริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น Authorized Dealer เนื่องจากในการ Configuration ไม่ได้กำหนดให้มี Auto–Prover จึงไม่จำเป็นต้องป้อนค่าดังกล่าว
{L2} Automatic Meter Factor Implementation? (0	“0”

Prover Settings	ตั้งค่า Configuration
= NO, 1 = Y)	
{L2} Apply Meter Factor Retroactively? (0 = NO, 1 = Y)	“0”
{L2} Archive All Reports Y/N	หากต้องการสำรองรายงานผลใส่ค่า “Y” หากไม่ต้องการสำรองรายงานผลใส่ค่า “N”
{L2} Manual Implementation Time Limit	-
Auto-Prove Flow Rate Change Percent Auto-Prove Flow Rate Change Threshold Auto-Prove Flow Rate Stable Period Auto-Prove Meter Down (Hours) Auto-Prove Startup Flow Auto-Prove Maximum Flow between Proves	หากในการ Configuration ไม่ได้กำหนดให้มี Auto –Prover ค่าตัวแปรเหล่านี้ก็ไม่จำเป็นต้องป้อนค่าใดๆ

Prover Temperature Settings InletOutlet	ตั้งค่า Configuration
Low Alarm Limit	ป้อนค่าให้สอดคล้องกับ รายงานผลการการทดสอบ SAT (Site Acceptance Test) ของเครื่องวัดประจำ CPP
High Alarm Limit	
{L2} Override	
{L2} Override Code	

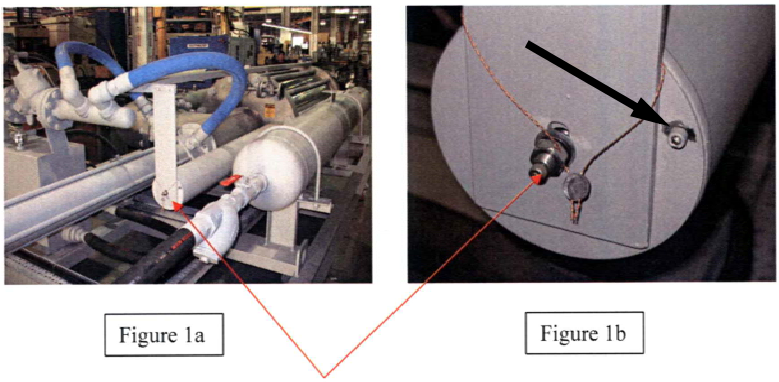
Prover Temperature Settings InletOutlet	ตั้งค่า Configuration
{L1} @ 4mA*	
{L1} @ 20mA*	
{L1} Damping Code	

Prover Pressure Settings InletOutlet	ตั้งค่า Configuration
Low Alarm Limit	ป้อนค่าให้สอดคล้องกับ รายงานผลการการทดสอบ SAT (Site Acceptance Test) ของเครื่องวัดประจำ CPP
High Alarm Limit	
{L2} Override	
{L2} Override Code	
{L1} at 4mA	
{L1} at 20mA*	
{L1} Damping Code	
{L1} Plenum Pressure at 4mA	
{L1} Plenum Pressure at 20mA	
{L1} Plenum Pressure Damping Code	

Prover Density Settings InletOutlet	ตั้งค่า Configuration
Low Alarm Limit	ป้อนค่าให้สอดคล้องกับ รายงานผลการการทดสอบ SAT (Site Acceptance Test) ของเครื่องวัดประจำ CPP , **Flow Meters**
High Alarm Limit	
{L2} Override	
{L2} Override Code	
{L1} at 4mA*	
{L1} at 20mA*	
{L1} Damping Code	

หมายเหตุ

1. วิธีการวัดอุณหภูมิ Invar Rod ในการตรวจสอบให้คำรับรอง Flow Meters ด้วย CPP ให้ทำการวัดอุณหภูมิสัมผัสโดยตรงกับแท่ง Invar rod เท่านั้น ห้ามทำการวัดอุณหภูมิอากาศภายในกระบอกครอบ Invar Rod & Detect Switches จากช่องทางตัว Nut 6 เหลี่ยม (ดูรูปที่ 14 ขวามือ) และหากจำเป็นต้องทำลายซีลให้แจ้งพนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดทราบในขั้นตอนตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) โดยพนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดจะต้องทำการซีลในภายหลังทันทีที่ปฏิบัติงานเสร็จ



รูปที่ 14 กระบอกครอบ Invar Rod & Detect Switches ช่องทางตัว 6 เหลี่ยม

2. ให้เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นและอุณหภูมิที่วัดได้ของ Invar Rod ลงใน “Proving Report” ของ Flow Computer
3. ในการตรวจสอบ Audit Trail พบว่ามีการป้อนค่า Modbus Index 7919 ได้รับแจ้งว่าเป็นการป้อนค่าอุณหภูมิ Invar Rod ควบคู่กับการป้อนค่า Frequency และค่า K-Factor ประจำค่า Frequency นั้นๆของ Flow meter แต่ในการตรวจสอบเอกสาร Firmware 24.75/20.75 พบว่า Modbus Index 7919 เป็น “Prover Volume” ในขณะที่ Modbus

Index 7917 เป็น “Invar Rod Temperature” รอคำตอบจากผู้แทนจาก บริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น OMNI Authorized Dealer

ง. การเข้าถึงและการรักษาความปลอดภัย Flow Computer (OMNI 3000/6000)

1. กำหนดระดับชั้นรักษาความปลอดภัย Level Password สำหรับการใช้ Flow Computer (OMNI 3000/6000)

1.1. ผู้ครอบครอง Flow Computer (OMNI 3000/6000) ต้องกำหนดระดับชั้นรักษาความปลอดภัยให้เป็นไปตามคู่มือการใช้งาน Flow Computer โดยให้ยกเลิก PASSWORD “OMNI” ซึ่งเป็นรหัสที่มีสิทธิสูงสุด (Privilege Level) สามารถดำเนินการใดๆภายใน Flow Computer ได้ทุกกรณี รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าตัวแปรที่มีต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของ Flow Computer และให้ผู้ครอบครอง Flow Computer เป็นผู้รับผิดชอบและเก็บรักษา PASSWORD ทั้งหมด

1.2. ผู้ครอบครอง Flow Computer เป็นผู้กำหนดและอนุญาตให้ PASSWORD แก่พนักงาน หรือบริษัทฯ ผู้รับจ้างตามระดับความเหมาะสมของการปฏิบัติงานและความปลอดภัยต่อค่าตัวแปรที่มีต่อความถูกต้องเที่ยงตรงของ Flow Meters (W&M Configuration) ตัวอย่างชั้นรักษาความปลอดภัย

a. Privilege Level : Head of Instrument ของผู้ครอบครอง Flow Computer
b. Level 1 : Instrument Engineers ของผู้ครอบครอง Flow Computer
c. Level 1A : Third Party; (Case by case)
d. Level 2 : Operator ของผู้ครอบครอง Flow Computer

1.3. บริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น OMNI Authorized Dealer ต้องตรวจสอบ Flow Computer (OMNI 3000/6000) ก่อนส่งมอบให้กับ

ลูกค้าต้องดำเนินการกำหนด PASSWORD ตามระดับชั้นรักษาความปลอดภัยใหม่ และแจ้งให้ลูกค้าทราบเพื่อสามารถแก้ไข PASSWORD ได้เองในภายหลัง

2. Audit Trail ให้ทำการ Configuration ในส่วนของ Audit Trail จำนวน 3 ขั้นตอน คือ

2.1. Activating the Audi Trail Feature

2.2. Password Protecting Serial Port Access

2.3. Enable Rigorous Auditing of Serial Ports

โดยยึดตามเอกสารของ OMNI "**981101B-Using-the-Audit-Trail-Event-Logger-Feature-and-Sealing-of-the-Flow-Computer_Omni.pdf**" หากมีข้อสงสัยหรือไม่ชัดเจนให้สอบถาม บริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น OMNI Authorized Dealer (ณ วันที่เขียนบทความ อนาคตไม่ทราบ)

ในส่วนของ Password Protecting Serial Port Access นั้นให้ดำเนินการกับ Serial port/Modbus Port#1 (Printer connection) กับ Modbus Port#2 - Modbus Port#6 (ถ้ามี) ที่ว่าง ไม่มีการเชื่อมต่อใดๆ ทั้งนี้ Password ดังกล่าวให้ผู้เป็นเจ้าของหรือผู้ครอบครอง CPP เป็นผู้เก็บรักษาเพียงผู้เดียว

3. การซีล Flow Computer OMNI 3000/6000 ให้ดำเนินการซีล Flow Computer ด้วย 4 ขั้นตอน คือ

3.1. Disable download to the computer

3.2. Select the serial port lockout switch option

3.3. Program Inhibit (keypad Lockout) Switch (ดังรูปที่ 15)

3.4. Housing Sealing (ดังรูปที่ 15)

โดยยึดตามเอกสารของ OMNI "**981101B-Using-the-Audit-Trail-Event-Logger-Feature-and-Sealing-of-the-Flow-Computer_Omni.pdf**" หาก

มีข้อสงสัยหรือไม่ชัดเจนให้สอบถาม บริษัท Polytechnology จำกัด ซึ่งเป็น OMNI Authorized Dealer

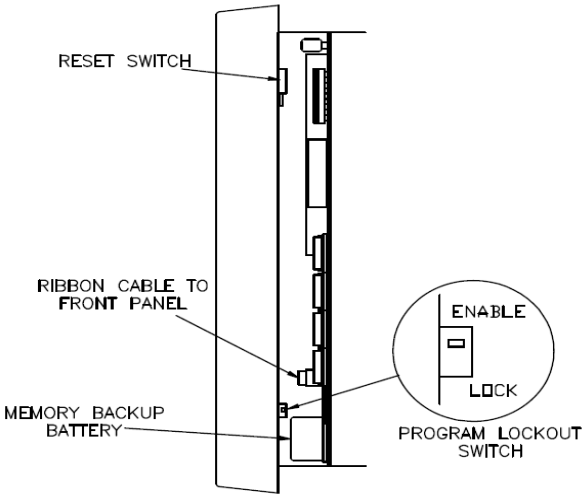
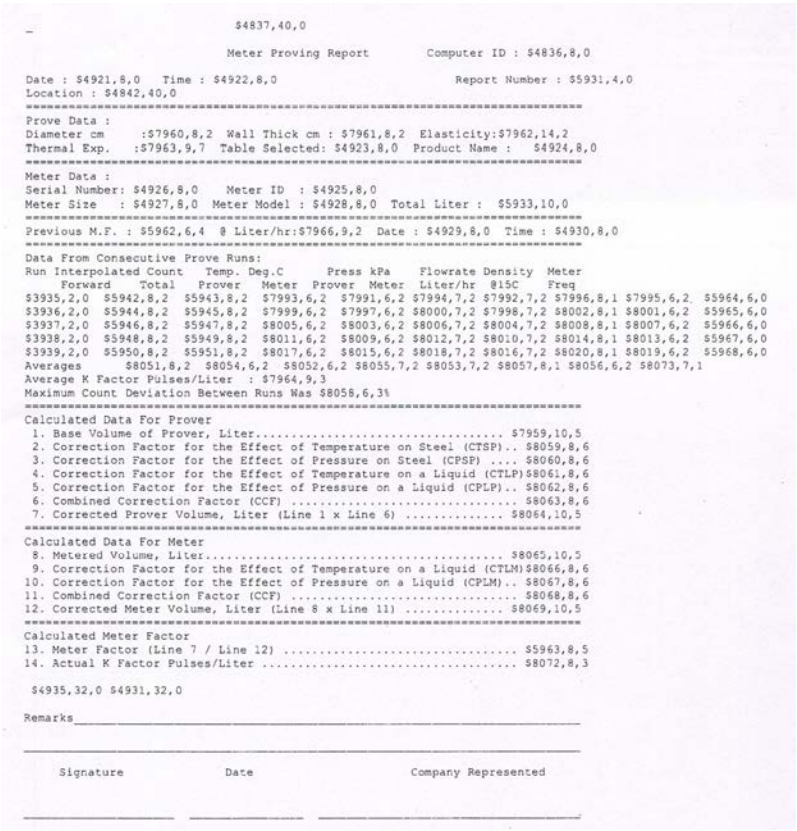


Figure 1. The Program Inhibit Switch

รูปที่ 15 รุ่น Firmware ของ OMNI Flow Computer



```
_                              $4837,40,0

                          Meter Proving Report        Computer ID : $4836,8,0

Date : $4921,8,0    Time : $4922,8,0                        Report Number : $5931,4,0
Location : $4842,40,0
================================================================================
Prove Data :
Diameter cm      :$7960,8,2  Wall Thick cm : $7961,8,2  Elasticity:$7962,14,2
Thermal Exp.     :$7963,9,7  Table Selected: $4923,8,0  Product Name :   $4924,8,0
================================================================================
Meter Data :
Serial Number: $4926,8,0     Meter ID  : $4925,8,0
Meter Size    : $4927,8,0  Meter Model : $4928,8,0  Total Liter :  $5933,10,0
================================================================================
Previous M.F. : $5962,6,4  @ Liter/hr:$7966,9,2  Date : $4929,8,0  Time : $4930,8,0
================================================================================
Data From Consecutive Prove Runs:
Run Interpolated Count    Temp. Deg.C       Press kPa     Flowrate Density  Meter
     Forward    Total    Prover  Meter  Prover  Meter  Liter/hr  @15C     Freq
$3935,2,0  $5942,8,2   $5943,8,2  $7993,6,2  $7991,6,2 $7994,7,2 $7992,7,2 $7996,8,1 $7995,6,2  $5964,6,0
$3936,2,0  $5944,8,2   $5945,8,2  $7999,6,2  $7997,6,2 $8000,7,2 $7998,7,2 $8002,8,1 $8001,6,2  $5965,6,0
$3937,2,0  $5946,8,2   $5947,8,2  $8005,6,2  $8003,6,2 $8006,7,2 $8004,7,2 $8008,8,1 $8007,6,2  $5966,6,0
$3938,2,0  $5948,8,2   $5949,8,2  $8011,6,2  $8009,6,2 $8012,7,2 $8010,7,2 $8014,8,1 $8013,6,2  $5967,6,0
$3939,2,0  $5950,8,2   $5951,8,2  $8017,6,2  $8015,6,2 $8018,7,2 $8016,7,2 $8020,8,1 $8019,6,2  $5968,6,0
Averages       $8051,8,2  $8054,6,2  $8052,6,2 $8055,7,2 $8053,7,2 $8057,8,1 $8056,6,2 $8073,7,1
Average K Factor Pulses/Liter  : $7964,9,3
Maximum Count Deviation Between Runs Was $8058,6,3%
================================================================================
Calculated Data For Prover
 1. Base Volume of Prover, Liter..................................... $7959,10,5
 2. Correction Factor for the Effect of Temperature on Steel (CTSP).. $8059,8,6
 3. Correction Factor for the Effect of Pressure on Steel (CPSP) .... $8060,8,6
 4. Correction Factor for the Effect of Temperature on a Liquid (CTLP)$8061,8,6
 5. Correction Factor for the Effect of Pressure on a Liquid (CPLP).. $8062,8,6
 6. Combined Correction Factor (CCF) ................................ $8063,8,6
 7. Corrected Prover Volume, Liter (Line 1 x Line 6) ................ $8064,10,5
================================================================================
Calculated Data For Meter
 8. Metered Volume, Liter.......................................... $8065,10,5
 9. Correction Factor for the Effect of Temperature on a Liquid (CTLM)$8066,8,6
10. Correction Factor for the Effect of Pressure on a Liquid (CPLM).. $8067,8,6
11. Combined Correction Factor (CCF) ................................ $8068,8,6
12. Corrected Meter Volume, Liter (Line 8 x Line 11) ................ $8069,10,5
================================================================================
Calculated Meter Factor
13. Meter Factor (Line 7 / Line 12) ................................. $5963,8,5
14. Actual K Factor Pulses/Liter .................................... $8072,8,3

 $4935,32,0 $4931,32,0

Remarks_____________________________________________________________________

_____________________________________________________________________________

    Signature              Date                    Company Represented

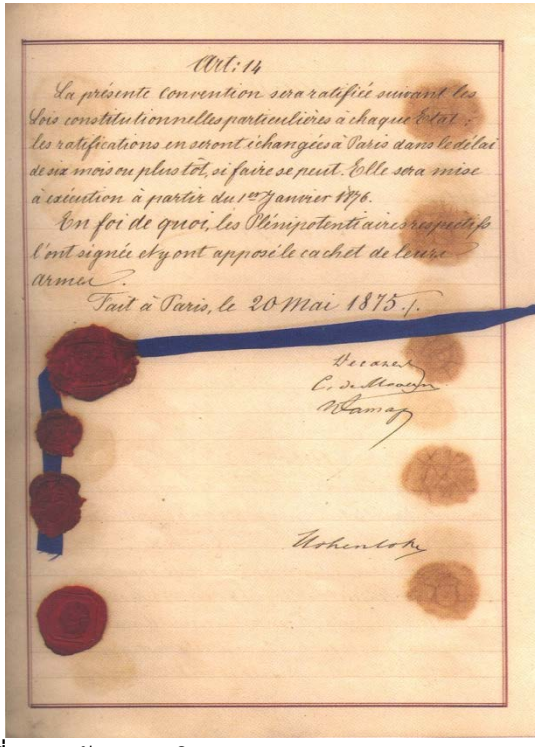
_____________________  _____________  ____________________________________
```

รูปแบบ Format ของ “Proving Report” สำหรับ Flow Computer (OMNI 3000/6000)

คำนิยามและความเป็นมาของหน่วยมวล
(Definition and Realization of the Unit of Mass)

ประเทศไทยในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เสนาบดีกระทรวงมหาดไทย เสนาบดีกระทรวงพระคลังและเสนาบดีกระทรวงนครบาล ประชุมปรึกษากันทำความเห็นเพื่อนำมาทูลเกล้าเสนอ (ถ้างง ก็ง่ายมากให้ย้อนกลับไปอ่าน “ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย” เพราะผู้เขียนตัดฉากมาบางส่วนเพื่อความมัน) จนในที่สุดที่ประชุมทูลเกล้าฯ ถวายรายงานความเห็นเมื่อ พ.ศ.2454 ว่าประเทศไทยเราควรเข้าเป็นสมาชิกเพื่อรับเอาวิธีเมตริกมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบชั่งตวงวัดของประเทศสอดคล้องต้องกับอนารยะประเทศทั้งหลายรวมทั้งสภาพการติดต่อค้าขายของภูมิภาคและของโลก และได้ทรงพิจารณาเห็นชอบด้วย กระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอกรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสาบดีกระทรวงจึงได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention)

อนุสัญญาเมตริก (Convention du Mètre หรือ Metre Convention) หรือสนธิสัญญาเมตริกเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศ (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นความร่วมมือของรัฐบาล 17 ประเทศ (1. Argentina 2. Austria-Hungary 3. Belgium 4. Brazil 5. Denmark 6. France 7. Germany 8. Italy 9. Peru 10. Portugal 11. Russia 12. Spain 13. Sweden and Norway 14. Switzerland 15. Turkey 16.United States of America and 17. Venezuela) ที่เป็นสมาชิกก่อตั้ง The Metre Convention (สนธิสัญญาเมตริก) ได้ลงนามร่วมกันในสนธิสัญญาเมตริกจัดตั้งเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875) ที่ประเทศฝรั่งเศส พร้อมกับจัดตั้งหน่วยงานรองลงมาเพื่อปฏิบัติงานอีก 3 หน่วยงาน ได้แก่


Art: 14

La présente convention sera ratifié suivant les
lois constitutionnelles particulières à chaque Etat ;
les ratifications en seront échangées à Paris dans le délai
de six mois ou plus tôt, si faire se peut. Elle sera mise
à exécution à partir du 1er Janvier 1876.

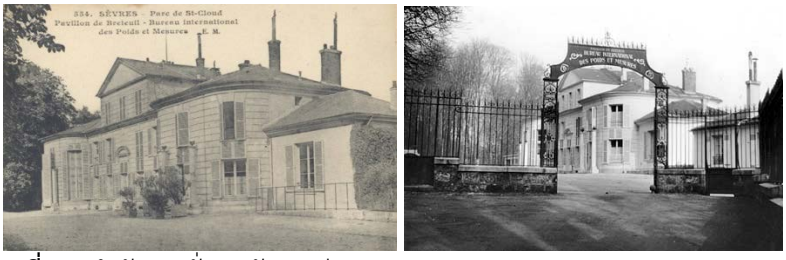
En foi de quoi, les Plénipotentiaires respectifs
l'ont signée et y ont apposé le cachet de leurs
Armes.

Fait à Paris, le 20 Mai 1875.

รูปที่ 1 อนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention)

1. General Conference on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศส คือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) สำหรับการประชุมใหญ่ของประเทศสมาชิกเกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2432 (ค.ศ. 1889)
2. คณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ The Comitè Internation des Poids et Mesure; CIPM) คณะกรรมการที่ถูกคัดเลือกจากประเทศสมาชิกเพื่อคอยกำกับการทำงานและทิศทางของ BIPM และ

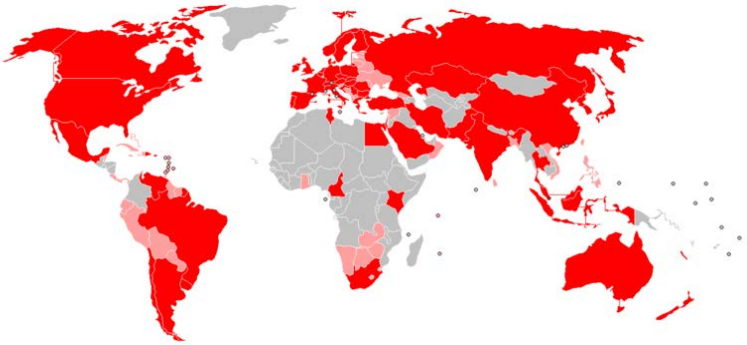
3. สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM)) ที่ประเทศฝรั่งเศส (ดูรูปที่ 2) โดยมีโครงสร้างการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 5



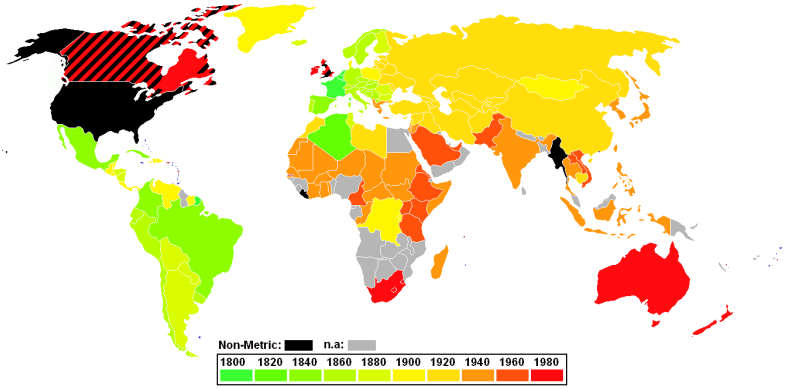
รูปที่ 2 สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM)) ที่ประเทศฝรั่งเศส

ประเทศไทยได้เข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริกและรับเอาวิธีเมตริกมาเป็นหลักการชั่งตวงวัดของประเทศเมื่อ พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าประเทศไทยในสมัยเริ่มต้นก็ทันสมัยไม่น้อยเช่นกันอาจจะเป็นเพราะมีที่ปรึกษาราชการแผ่นดินเป็นคนฝรั่งเศสก็เป็นได้เพราะภายหลังอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ก่อตั้งได้ในปี พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875) ประเทศไทยเราก็ได้เข้าเป็นสมาชิกในปี พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) ถัดมาเพียง 37 ปีเอง แต่ในปัจจุบันเราน่าจะล้าหลังในเรื่องชั่งตวงวัดจากยุโรปอาจเป็น 100 ปี ก็ได้หรืออาจห่างกัน 37 ปีเท่าเดิมก็อาจเป็นได้ ใครจะไปรู้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฝรั่งเศสเองได้บังคับใช้ Metric Units ภายในประเทศตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2383 (ค.ศ.1840)

The Metre Convention (สนธิสัญญาเมตริก) ถือเป็นสนธิสัญญาที่เก่าแก่เป็นอันดับที่ 2 ของโลก และกำหนดให้วันที่ 20 พฤษภาคม ของทุกปีเป็น “วันมาตรวิทยาโลก” (สนธิสัญญาเก่าแก่อันดับที่ 1 ของโลก: Strasbourg Agreement (1675) Banning the Use of Chemical Weapons)



รูปที่ 3 อนุสัญญาระบบเมตริก ณ วันที่ 22 ตุลาคม 2555 (2012) มีประเทศสมาชิก 54 Member States, 37 Associate States and Economies และ 4 International Organizations



รูปที่ 4 ประเทศที่ใช้ระบบ SI Unit กับประเทศที่ไม่ใช้ระบบ SI Unit

ในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960) General Conference on Weights and Measures (CGPM) สำหรับการประชุมใหญ่ของประเทศสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (Convention du Mètre หรือ Metre Convention) หรือสนธิสัญญาเมตริกเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศ ครั้งที่ 11 ได้รับเอา “International System of

Units (SI)" เป็นหน่วยวัดของประเทศสมาชิก แต่น่าสะท้อนใจที่มีประเทศสมาชิกบางประเทศไม่ยอมรับเอา SI Unit เป็นหน่วยวัดของประเทศ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4

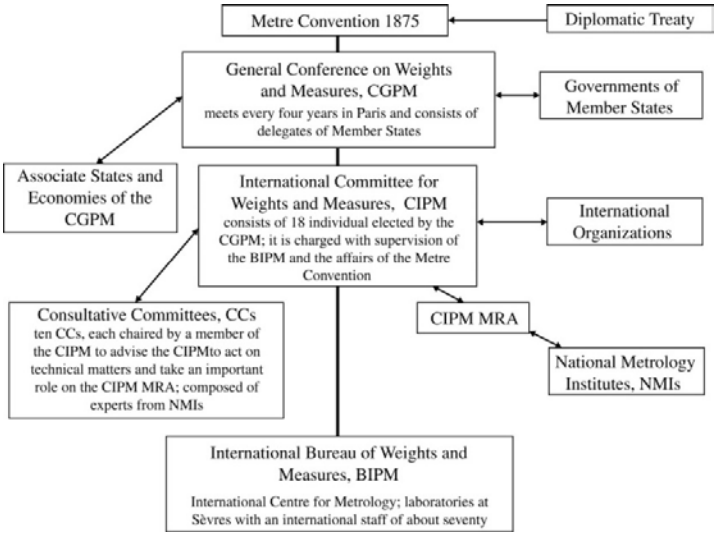
โครงสร้างของหน่วยงานระดับสากลอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 อาจจะเข้าใจภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นและจะได้ทราบว่าองค์การนี้มีผลต่อโลกมนุษย์มากน้อยเพียงใด ก็ให้จับดูเอาเองครับ

ตั้งแต่การประชุมครั้งที่หนึ่งของที่ว่าการประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวงวัด (General Conference on Weights and Measures) ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ในปี 1889 (พ.ศ. 2432) ได้สรุปและให้คำนิยามของหน่วยมวล (the unit of mass) ดังนี้

"***The kilogram is the unit of a mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram***"

และนี้เองละครับที่โลกเริ่มมีความสับสนจิตใจว่าหน่วยกิโลกรัมไม่ใช่หน่วยของน้ำหนัก (Weight) แต่กิโลกรัมเป็นหน่วยของมวล (Mass) ก็ค่อยๆซึมซับเข้าเนื้อเยื่อของสมองเรากันต่อไปครับ

เจ้าตัวแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ **IKP** มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง 39 มิลลิเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 มิลลิเมตรเช่นกันทำด้วยโลหะอัลลอยด์ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย Platinum จำนวน 90% และ Iridium จำนวน 10% เรียกชื่อในอักษรย่อของแร่ธาตุโดยรวม คือ Pt-Ir (Platinum-Iridium) มีความหนาแน่นมวลของแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมมีค่าโดยประมาณ 21,500 kg/m^3 (ดูรูปที่ 7) การที่เลือกเอา Platinum-Iridium มาทำเป็น Prototype นั้นดูเหมือนจะได้มีการให้เหตุผลที่ว่า ความคงเส้นคงวาในเรื่องของตัวมวลของโลหะอัลลอยด์ชนิดนี้น่าเชื่อถือได้



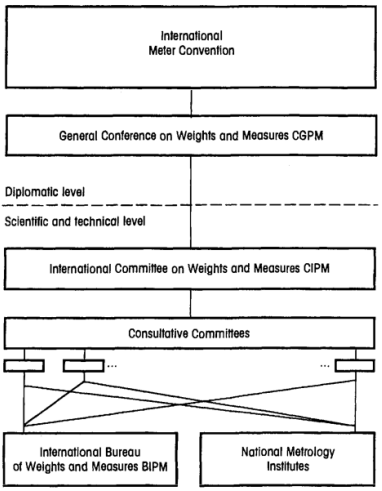
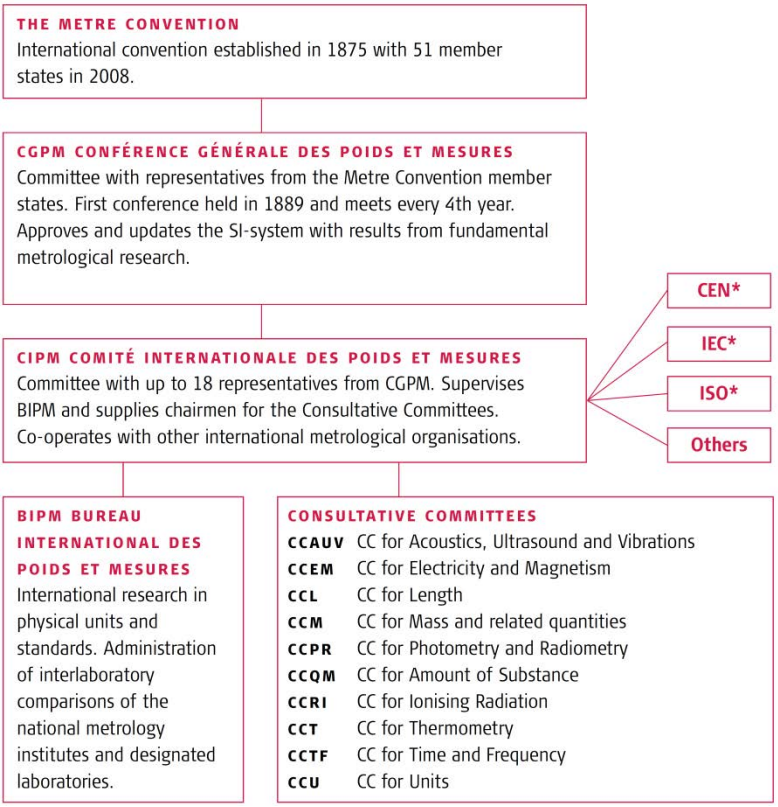


Fig. 22.2. The organ of the Metre Convention and international coordination of metrology. The Consultative Committee CCM (Le Comité Consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées) was established in 1980 as the 8th Technical Committee.

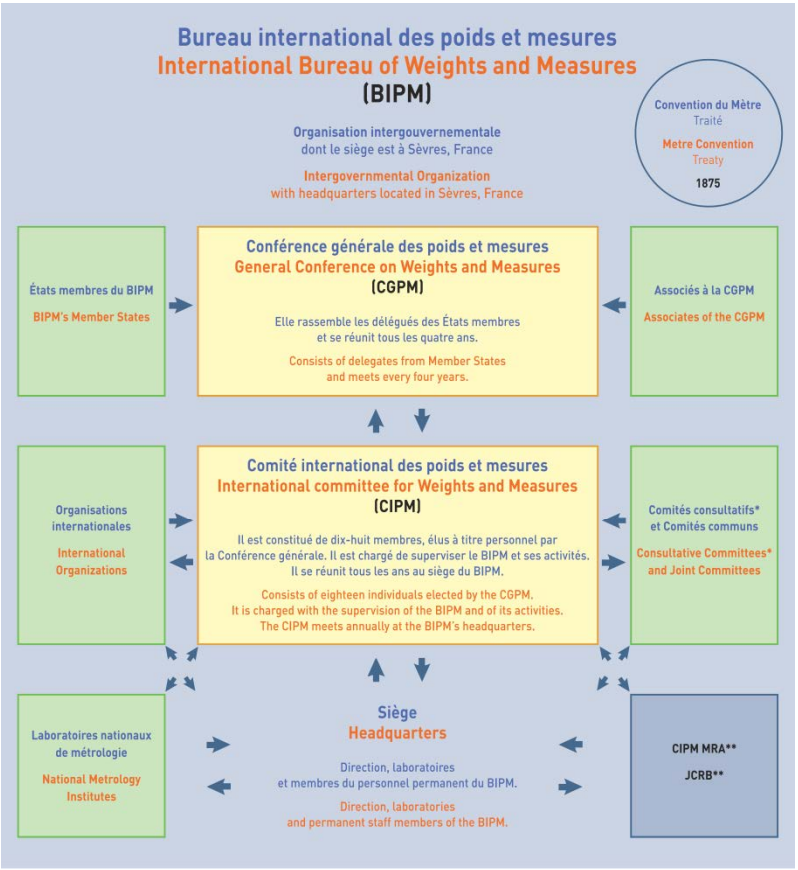
รูปที่ 5 โครงสร้างของหน่วยงานระดับสากลอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology

Figure 2: The Metre Convention organisation



รูปที่ 5(-ต่อ-) โครงสร้างของหน่วยงานระดับสากลอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology

นอกจากนี้ในเรื่องของการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกของโลหะอัลลอยด์ชนิด Platinum-Iridium มีน้อย (Chemical Passivity) อีกทั้งมีความหนาแน่นสูงมากส่งผลให้พื้นที่ผิวของชิ้นงานน้อยลง (Very Small Geometrical Surface Area) ดังนั้นยิ่งมีผิวสัมผัสน้อยก็ยิ่งมีโอกาสทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วยเช่นกันและหากเสริมด้วยวิธีการเก็บรักษาที่เอาใจใส่และมีคุณภาพก็ยิ่ง



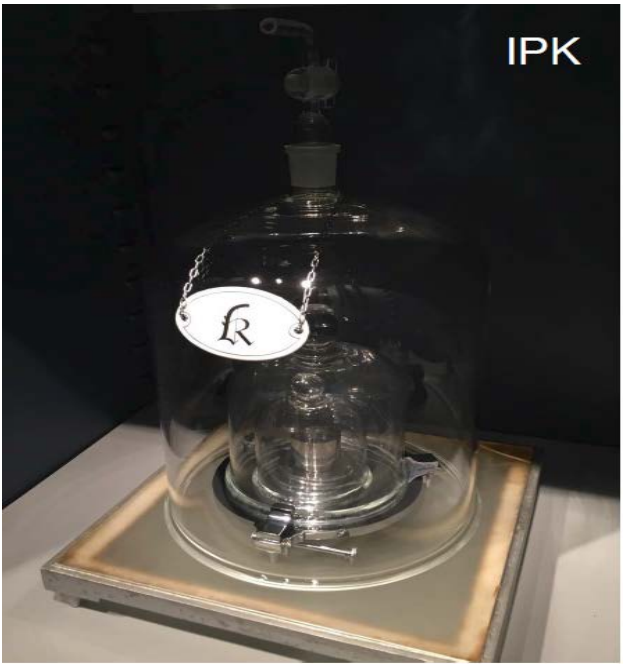
* ▶ Actuellement au nombre de dix, ils sont chargés de conseiller le CIPM et le Siège, notamment sur des questions techniques, et d'aider à l'administration du CIPM MRA.
▶ There are currently ten CCs which advise the CIPM and the Headquarters, e.g. on technical matters, and the administration of CIPM MRA.

** ▶ Le JCRB est le sigle utilisé pour désigner le Comité mixte des organisations régionales de métrologie et du BIPM. Le CIPM MRA fait référence à l'Arrangement de reconnaissance mutuelle du BIPM rédigé par le CIPM.
▶ The JCRB refers to the Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM. The CIPM MRA refers to the Mutual Recognition Arrangement of the BIPM drawn up by the CIPM.

รูปที่ 6 โครงสร้างของหน่วยงาน BIPM

สร้างความมั่นใจว่าในระยะยาวแล้วความเสถียรภาพของมวลจึงค่อนข้างมีสูง ในรูปที่ 7 เป็นแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมนี้ถูกจัดเก็บภายในเยือกหรือฝาครอบแก้ว (glass bell-jars) 3 ชั้น รู้สึกว่าจะมีการ Vacuum อากาศภายในฝาครอบแก้ว

ด้วย (ดูรูปที่ 9) ในปัจจุบันแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมหรือ IKP ได้ถูกเก็บรักษาไว้เป็นอย่างดีที่ Bureau International des Poids et Measures (BIPM) หรือในชื่อภาษาอังกฤษว่า International Bureau of Weights and Measures ณ เมือง Sèvres ใกล้กรุงปารีส



รูปที่ 7 แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ IKP จัดเก็บไว้ภายในฝาครอบแก้ว (glass bell-jars) 3 ชั้น สำหรับจัดเก็บ IKP

แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม IKP นี้ได้ถูกผลิตโดยบริษัท Johnson, Matthey & Co. ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษในปี พ.ศ. 2422 (ค.ศ. 1879) จำนวน 3 ชิ้นด้วยกันคือ KI, KII และ KIII ปรากฏว่าชิ้นที่ 3 ถูกเลือกให้เป็น IKP เนื่องจากในปี พ.ศ. 2423 (ค.ศ. 1880) The Commision Mixte กับ M. Collot ได้ทำการปรับแต่งน้ำหนัก KI, KII และ KIII หลายครั้งจนกระทั่งพบว่า



รูปที่ 8 เปรียบเทียบขนาดมวล 1 กิโลกรัมทำด้วย Stainless Steel (ทางซ้ายมือ) กับ มวล 1 กิโลกรัมทำด้วย Platinum (ทางขวามือ)

KIII มีค่าเท่ากับ mass of “Kilogramme des Archives” ภายในช่วงของความไม่แน่นอนของการวัดในเศษส่วน 1000 ซึ่งต่อมาในปี พ.ศ. 2425 (ค.ศ. 1882) มวลหมายเลข KIII ได้ถูกนำไปจัดเก็บรักษาอย่างดีที่ BIPM ถึงตอนนี้ผู้เขียนอ่านไปอ่านมาก็ยอมรับว่ามึนเล็กน้อยเพราะต้องไปหาอ่านว่า Mass of “Kilogramme des Archives” คือกะไรต่อ ผลการค้นคว้าจึงขอเล่าต่อไปว่า มาย้อนกลับไปตอนต้นนั้นเราให้หน่วยของมวล (Mass) คือ “Gram” โดย 1 Gram มีค่าเท่ากับมวลของ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของน้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่ในเวลาต่อมา ได้เปลี่ยนให้หน่วยของมวลเป็น “Kilogram” มีค่าเป็นมวลของ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนในปี พ.ศ. 2342 (ค.ศ. 1799) ได้มีการทำมวลต้นแบบ (Prototype of the Mass) ขึ้นโดยจัดเก็บไว้ในที่จัดเก็บเอกสารสำคัญ (Archives) ของประเทศฝรั่งเศสแล้วยกเลิกนิยามเก่าดังกล่าว ด้วยเหตุนี้มวลต้นแบบ (Prototype of the Mass) จึงได้มีชื่อว่า “Kilogramme des Archives” เรื่องก็เป็นเช่นนี้เอง

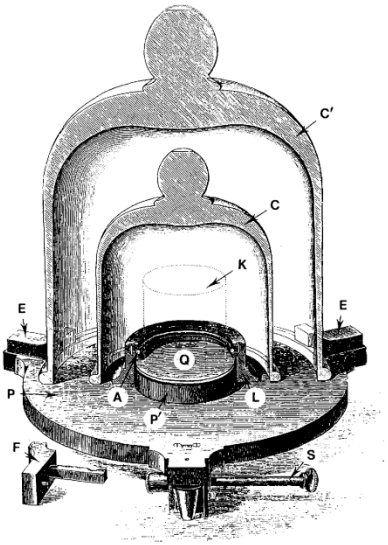


Fig. 22.8. Sectional view of an original container for a kilogram prototype: K Pt-Ir kilogram prototype; Q Quartz plate as flat surface for the prototype; P, P′ Base plate (P) with brass cylinder (P′); A Brass crown (L) with silver ring (A) (inner diameter 42 mm) for protection against possible side movements of the prototype; C, C′ Glass bell-jars secured against side movement by a ridge on the base plate (P); E, F Fixtures securing the outer glass bell-jar (C′). Fixture E is attached, Fixture F is removable; S Safety device for the removable fixture (F); The international prototype is additionally protected by a third glass bell-jar which lies on a polished glass plate (Fig. 22.6).

รูปที่ 9 ฝาครอบแก้ว (Glass Bell-Jars) 3 ชั้น สำหรับจัดเก็บ IKP

ในปี พ.ศ. 2426 (ค.ศ. 1883) International Committee on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ The Comitè Internation des Poids et Mesure; CIPM ได้เลือกให้ “KIII” เป็น “IKP” และต่อมา General Conference on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ก็อนุมติให้เป็น**แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram; IKP)** หลังจากนั้น IKP ก็เป็นที่รู้จักอย่างเป็นทางการว่า **“มิสเตอร์ ℜ”** ออจริงๆ แล้วรู้จักในรูปของอักษร ℜ ชนิดตัวอักษร Gothic (the Gothic letter K) สำหรับ “KI” นั้นถูกประกาศให้เป็น reference standard ในขณะที่ “**KII**” ยังคงถูกจัดเก็บไว้เป็นอย่างดีในฝรั่งเศส



รูปที่ 10 การจัดเก็บ IKP ที่ BIPM ชั้นกลาง IKP หรือ Mr. ℜ สำหรับ 6 Reference standard (tèmoins) แบ่งเก็บไว้ชั้นบน No.43, KI, No. 8(41) และชั้นล่างสุด No. 47, No. 7, No. 32

ในปี ค.ศ. 1884 (พ.ศ. 2427) บริษัทเดียวกันที่สร้าง KI, KII และ KIII นั้นคือ Johnson, Matthey & Co ได้ส่งแบบประถม 1 กิโลกรัมอีก 40 ชิ้นมายัง BIPM เพื่อทำการปรับแต่งน้ำหนักในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1885 ถึง ค.ศ. 1888 แบบประถม 1 กิโลกรัมทุกชิ้นจะมีการทำเครื่องหมายบนผิวชิ้นงานซึ่งจะเห็นเป็นรอยเครื่องหมายได้ก็ต่อเมื่อดูในมุมที่มีการสะท้อนของผิวชิ้นงาน ต่างจากแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the International Prototype of the Kilogram; IKP) ถึงแม้นเป็นที่รู้จักกันในนาม **มิสเตอร์** ℜ แต่ก็ไม่มีการทำเครื่องหมายลงบนผิวชิ้นงานแต่อย่างใด ขอบเขตที่ยอมให้ผลผิด (Tolerance Limit) ในการชั่งเปรียบเทียบแบบประถม 1 กิโลกรัมทั้ง 40 ชิ้นกับ IKP นั้นจะยอมให้ไม่เกิน ±0.2 mg แต่เป็นการยากที่จะทำได้ ดังนั้นในการประชุมครั้งแรกของที่ว่าการประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวงวัด (General Conference on Weights and Measures) ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ในปี พ.ศ. 2432 (ค.ศ. 1889) จึงกำหนดให้ขอบเขตที่ยอมได้ของผลผิด (Tolerance Limit) เพิ่มขึ้นเป็น ±1.0 mg ทั้งหมด 42 แบบประถม (Prototypes) อีก 2 ชิ้นที่เพิ่มจาก 40 ชิ้น คือ KI และ No.1 นั้นเอง

จากจำนวนทั้งหมด 42 แบบประถม (Prototypes) ในปี พ.ศ. 2432 (ค.ศ. 1889) นั้นจำนวน 30 ชิ้นจะถูกส่งแจกจ่ายไปยังประเทศสมาชิกและ BIPM รวมทั้ง 2 ชิ้นที่เกินมาจาก 40 ชิ้น คือ KI และ No.1 ซึ่งถือเป็น Reference Standard (tèmoins) ก็ถูกส่งไปเก็บรักษาที่ BIPM พร้อมกับ IKP ด้วย ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันได้ No. 22 และเฉพาะรัฐ Bavaria ได้ No. 15

ในปี พ.ศ. 2448 (ค.ศ. 1905) จำนวน Prototypes ใน BIPM เพิ่มขึ้นเป็น 4 ชิ้นคือ No. 8 และ No. 32 (KI , No. 1, No. 8 และ No. 32) แต่เนื่องจากมีความผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนการผลิต No. 8 ถูกทำเครื่องหมายผิดไปกล่าวคือถูกทำเครื่องหมายเป็นหมายเลข 41 ดังนั้นจึงเรียก No. 8 เป็น No. 8(41) ในเวลาต่อมา

ในปี พ.ศ. 2468 (ค.ศ. 1925) มวล No. 7 ถูกใช้เป็น Reference Standard (tèmoins) แทนที่ No. 1 เนื่องจาก No. 1 เกิดความเสียหาย

ในปี พ.ศ. 2481 (ค.ศ. 1938) จำนวน Reference Standard (tèmoins) ที่ครอบครองด้วย BIPM ได้เพิ่มเป็น 6 ชิ้นโดยเพิ่ม No. 43 และ No. 47

แต่เนื่องจาก Working Prototype ของ BIPM จำนวน 2 ชิ้นคือหมายเลข No. 9 และ No. 31 มีการนำมาใช้บ่อยแล้วทำให้เป็นที่วิตกกังวลถึงความถูกต้องจึงกำหนดให้สามารถนำมาใช้ได้เพียง 1 ครั้งในรอบ 5 ปีดังนั้นในปี พ.ศ. 2501 (ค.ศ. 1958) ตัว Working Prototype ตัวใหม่ของ BIPM ก็มีเกิดขึ้นด้วยหมายเลข No. 25 สรุปแล้ว BIPM ครอบครอง Prototypes ทั้งหมด 6 Reference Standards (tèmoins) คือ **KI**, No. 7, No. 8(41), No. 32, No.43, No. 47 และมี 4 Working Prototypes คือ No. 9, No. 31 และ No. 25 ดังแสดงในรูปที่ 10

ในระหว่างปี พ.ศ. 2472 ถึง พ.ศ. 2536 (ค.ศ. 1929 ถึง ค.ศ. 1993) ได้มีการจัดทำ Prototypes เพิ่มขึ้นอีก 37 ชิ้นเพื่อแจกจ่ายให้กับประเทศที่เป็นสมาชิกตามอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) โดยตัวเลขเริ่มนับต่อไปโดยเริ่มต้นเป็น No. 41 จนถึง No. 77

ในปี พ.ศ. 2494 (ค.ศ. 1951) ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันได้ No. 52 ทดแทน No. 22 ที่เกิดความเสียหายไปในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และได้รับเพิ่มอีก 1 ชิ้นคือ No. 55 ในปี พ.ศ. 2496 (ค.ศ. 1953) และต่อมา No. 55 ก็ถูกส่งมาเก็บรักษาที่ PTB ส่วน No. 15 ที่รัฐ Bavaria ได้ไปในหนังสือที่อ่านไม่มีการกล่าวถึงสงสัยสูญหายไปในสงครามโลกครั้งที่ 2 เช่นกัน ในปี พ.ศ. 2530 (ค.ศ. 1987) PTB ก็ได้เพิ่มมาอีก 1 ชิ้นคือ NO. 70 สรุปประเทศสมาชิกครอบครอง Kilogram Prototypes ที่ได้รับจาก BIPM และผลการเปรียบเทียบกับ IKP ดังในตารางที่ 1

เพื่อประกันว่ามวลน้ำหนักแบบมาตราที่เก็บรักษาไว้ที่ BIPM และประเทศสมาชิกจะสอดคล้องและน่าเชื่อถือ ทาง BIPM จึงจัดเทศการเก็บกวาดออ...จัดให้มีการสอบเปรียบเทียบ (Intercomparison) ของ 42 Prototypes ในช่วงระหว่าง พ.ศ.2426 ถึง พ.ศ. 2431 (ค.ศ. 1883 ถึง ค.ศ. 1888) เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงจากนั้นจึงจัดให้มีการตรวจสอบอีก 3 ครั้งจนถึงปัจจุบัน คือ

TABLE 2.1 Results of the Third Periodic Verification of National Prototype Kilograms

ℜ	1 kg	ℜ	1 kg
Official Copies		BIPM Prototypes	
K1	1 kg + 0.135 mg	No. 25	1 kg + 0.158 mg
No. 8(41)	1 kg + 0.321 mg	No. 31	1 kg + 0.131 mg
No. 43	1 kg + 0.330 mg	No. 9	1 kg + 0.312 mg
No. 7	1 kg – 0.481 mg		
No. 32	1 kg + 0.139 mg		
No. 47	1 kg + 0.403 mg		

Other Prototypes

ℜ		1 kg
No. 2	Rumania	1 kg – 1.127 mg
No. 3	Spain	1 kg + 0.077 mg
No. 5	Italy	1 kg + 0.064 mg
No. 6	Japan	1 kg + 0.176 mg
No. 12	Russian Federation	1 kg + 0.100 mg
No. 16	Hungary	1 kg + 0.012 mg
No. 18	Royaume-Uni	1 kg + 0.053 mg
No. 20	United States	1 kg – 0.012 mg
No. 21	Mexico	1 kg + 0.068 mg
No. 23	Finland	1 kg + 0.193 mg
No. 24	Spain	1 kg – 0.146 mg
No. 34	Academy of Sciences of Paris	1 kg – 0.051 mg
No. 35	France	1 kg + 0.189 mg
No. 36	Norway	1 kg + 0.206 mg
No. 37	Belgium	1 kg + 0.258 mg
No. 38	Switzerland	1 kg + 0.242 mg
No. 39	Republic of Korea	1 kg – 0.783 mg
No. 40	Sweden	1 kg – 0.035 mg
No. 44	Australia	1 kg + 0.287 mg
No. 46	Indonesia	1 kg + 0.321 mg
No. 48	Denmark	1 kg + 0.112 mg
No. 49	Austria	1 kg – 0.271 mg
No. 50	Canada	1 kg – 0.111 mg
No. 51	Poland	1 kg + 0.227 mg
No. 53	Low Countries	1 kg + 0.121 mg
No. 54	Turkey	1 kg + 0.203 mg
No. 55	Federal Republic of Germany	1 kg + 0.252 mg
No. 56	South Africa	1 kg + 0.240 mg
No. 57	India	1 kg – 0.036 mg
No. 58	Egypt	1 kg – 0.120 mg
No. 60	Peoples Republic of China	1 kg + 0.295 mg
No. 62	Italy (IMGC)	1 kg – 0.907 mg
No. 64	Peoples Republic of China	1 kg + 0.251 mg
No. 65	Slovak Republic	1 kg + 0.208 mg
No. 66	Brazil	1 kg + 0.135 mg
No. 68	Peoples Democratic Republic of Korea	1 kg + 0.365 mg
No. 69	Portugal	1 kg + 0.207 mg
No. 70	Federal Republic of Germany	1 kg – 0.236 mg
No. 71	Israel	1 kg + 0.372 mg
No. 72	Republic of Korea	1 kg + 0.446 mg
No. 74	Canada	1 kg + 0.446 mg
No. 75	Hong Kong	1 kg + 0.132 mg

ตารางที่ 1 สรุปรายชื่อประเทศสมาชิกที่ได้รับและครอบครอง Kilogram Prototype จาก BIPM และผลการเปรียบเทียบกับ **IKP**

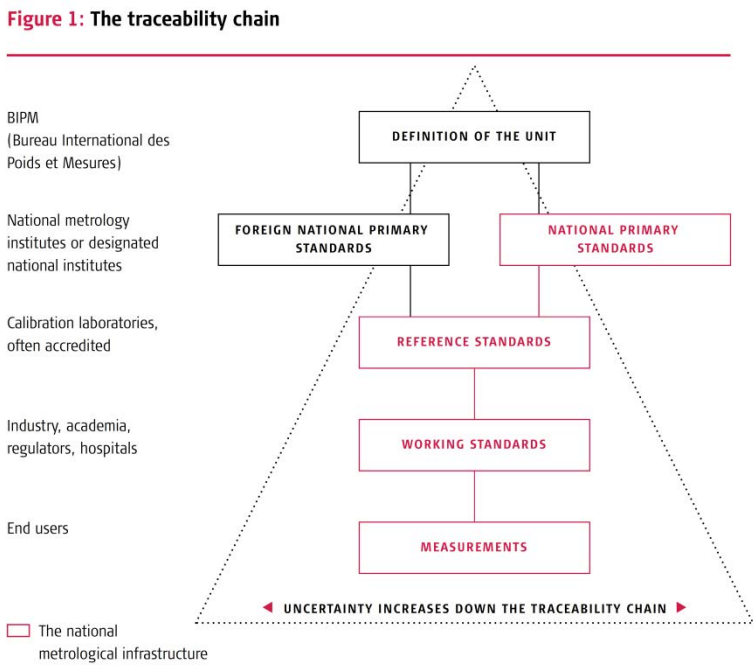
Prototype de Mass No.	Country
No. 4	United States of America
No. 28	Belgium
No. 52	United States of America
No. 67	Czech Republic
No. 75	Hong Kong (China)
No. 76	Italy
No. 78	Chinese Taipei
No. 79	United States of America
No. 80	Thailand
No. 82	United Kingdom
No. 83	Singapore
No. 84	Republic of Korea
No. 85	United States of America
No. 86	Sweden
No. 87	Australia
No. 89	Switzerland
No. 90	Mexico
No. 92	United States of America
No. 93	Saudi Arabia
No. 94	Japan
No. 95	Kenya
No. 96	Mexico
No. 100	China
No. 102	United States of America
No. 104	United States of America
No. 106	Canada
No. 108	Colombia
No. 109	Federal Republic of Germany

ตารางที่ 2 ประเทศสมาชิกที่ได้รับและครอบครอง Kilogram Prototype จาก BIPM

1. **1st Verification 1889–1911 (พ.ศ. 2432-2454)**: ดำเนินการไปโดยใช้ Prototype No. 1 เป็นตัวอ้างอิงโดยไม่ได้ใช้ “IKP”
2. **2nd Verification 1939 and 1946-1953 (พ.ศ. 2489-2496)**: เหตุที่ต้องทิ้งช่วงไปเพราะเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2
3. **3rd Verification 1989–1992 (พ.ศ. 2532-2535)**

ดังนั้นเมื่อแต่ละประเทศสมาชิกได้รับ Kilogram Prototype ซึ่งได้รับการรับรองจาก BIPM แล้ว ประเทศสมาชิกก็ต้องกลับไปถ่ายทอดตุ้มน้ำหนักแบบมาตราและจัดทำโครงสร้างแบบมาตราให้เหมาะสมกับประเทศของตนเอง (ดูรูปที่ 11) เรามายกตัวอย่างการจัดทำโครงสร้างแบบมาตรามวลหรือมวลน้ำหนักแบบมาตราของประเทศที่พัฒนาไปมากแล้วนั้นคือสหพันธสาธารณรัฐเยอรมนีซึ่งได้รับ

Kilogram Prototype No.52 จาก BIPM ซึ่งจริงๆ แล้วมีหลายตุ้มอยู่เช่น No. 70, No. 55 และ No. 22 (ดูรูปที่ 12) แต่สหพันธสาธารณรัฐเยอรมนีเลือกมวล No. 52 เป็น “National Prototype” หรือ “มาตรฐานแห่งชาติด้านมวล” หรือหากจะเทียบกับบ้านเราก็คือ “แบบมาตราชั้นหนึ่ง” ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 จากนั้นเพื่อสะดวกต่อการใช้งานเค้าก็สร้างตุ้มน้ำหนักชั้นรองลงมาของประเทศนั้นคือจับเจ้า No 52 นั่งแท่นนิ่งๆ อย่าไปใช้งานเค้าแต่จะใช้งานเฉพาะเมื่อต้องถ่ายทอดแบบมาตราสำคัญๆ เท่านั้น ตุ้มน้ำหนักชั้นรองลงมาของประเทศนี้เขาให้ชื่อว่า “Primary Standard” จะมีหลายชุดก็ว่าได้แล้วแต่ความรวยทรัพย์และความจำเป็นของแต่ละประเทศ (ดูรูปที่ 13)



รูปที่ 11 แนวคิดโครงสร้างแบบมาตราซึ่งต้องสอบย้อนกลับไปยังแบบมาตราแห่งชาติ หรือมาตรฐานแห่งชาติ จนไปถึงแบบมาตราที่เก็บไว้ที่ BIPM



รูปที่ 12 แบบมาตรามวลแห่งชาติของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี Prototype No. 52 เก็บรักษาไว้ที่ PTB (Braunschweig)



รูปที่ 13 แบบมาตรามวลชั้น Primary standards 1 kg –10 kg ชั้นรองลงมาจาก “National Prototype” ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

คราวนี้เราอย่ามึนกันนะครับว่าแล้วมวลที่เรียกว่า “National Primary Standard” มันจะมาจากการผสมคำของ “National Prototype” กับ “Primary Standard” ฮ่าๆๆ อย่างนี้เป็นวิวัฒนาการทางภาษานะครับ

สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีได้จัดลำดับความสำคัญของโครงสร้างแบบมาตรามวลหรือมวลน้ำหนักแบบมาตราของประเทศดังแสดงไว้ในรูปที่ 14 และรูปที่ 15

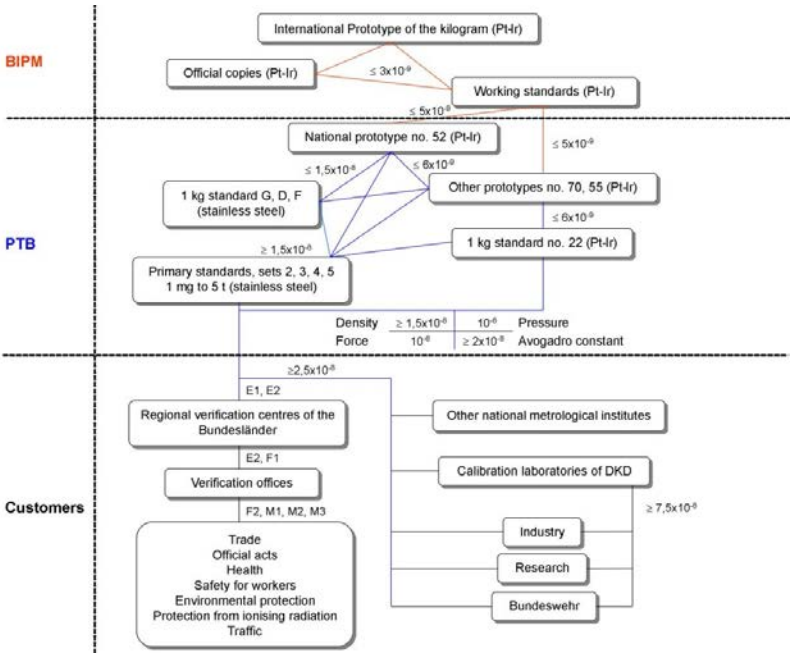
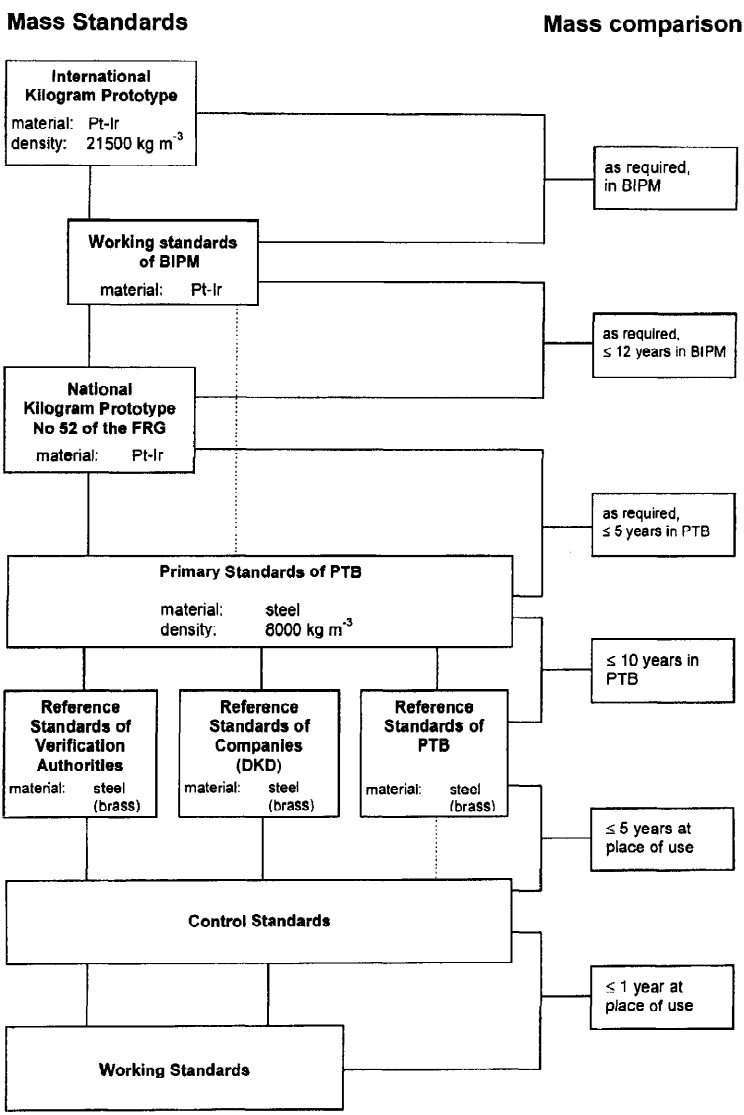


Fig.22.12. Traceability of mass standards to the international prototype of the kilogram with the Federal Republic of Germany as an example. Platinum-Iridium prototype, BIPM International Bureau of Weights and Measures (Bureau International des Poids et Mesures); PTB National Institute of Physics and Metrology (Physikalisch - Technische Bundesanstalt). The relative uncertainties correspond to one standard deviation (1σ).

รูปที่ 14 Traceability ของแบบมาตรามวลแห่งชาติของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีซึ่งสามารถสอบกลับได้ถึงระบบหน่วยสากล (SI Unit) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ BIPM



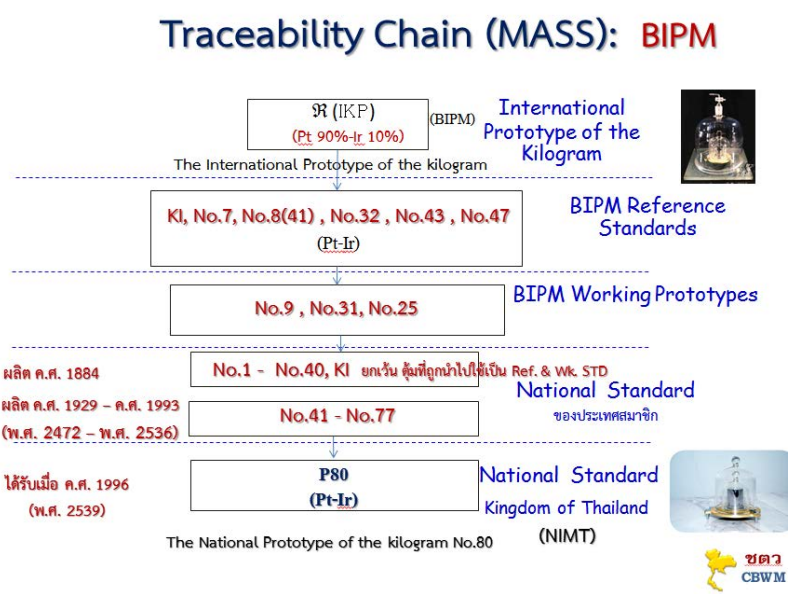
รูปที่ 15 The Traceability of Mass Standards ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (FRG)

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด กระทรวงพาณิชย์ได้มีประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดแบบมาตราชั้นหนึ่งตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 พ.ศ. 2550 ลงวันที่ 4 ม.ค. 2550 กำหนดให้มาตรฐานแห่งชาติด้านมวล คือตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต้นแบบระหว่างประเทศ (International Prototype of the Kilogram) หมายเลข 80 (ดูรูปที่ 16) ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่องกำหนดมาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับหน่วยวัดปริมาณ เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุอ้างอิงที่ใช้ในการวัดปริมาณ ลงวันที่ 13 ก.ย. 2549 ออกตามความใน พระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. 2540 เป็นแบบมาตราชั้นหนึ่งทางมวลตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) ได้จัดการสอบกลับ (Traceability) ของแบบมาตรามวลหมายเลข 80 ของประเทศไทยกลับไปได้ถึงระบบหน่วยมวลสากล (Mass SI Unit) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ BIPM ดังในรูปที่ 17

ส่วนประกาศกระทรวงฯ ฉบับอื่นๆที่กำหนดให้มีมวลนั้นมวลนี้เป็นมวลแบบมาตราชั้นหนึ่งทางมวลตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ในส่วนตัวของเราถือว่าขัดเจตนารมณ์พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ซึ่งถ่ายทอดเจตนารมณ์จากพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ดังในรูปที่ 18 และรูปที่ 19 อันนี้ไม่รู้นักกฎหมายคิดอย่างไร ? แต่อยากบอกให้ทราบว่าประเทศที่เจริญแล้วเค้ากำหนดให้มวลตุ้มน้ำหนัก 1 kg เพียงชิ้นเดียวเท่านั้นที่เป็นแบบมาตราแห่งชาติจากนั้นเค้าใช้ฝีมือในการถ่ายทอดแบบมาตราจาก 1 กิโลกรัมไปเป็น 2 กิโลกรัม 5 กิโลกรัม 10 กิโลกรัม และ..... ในทางกลับกันเค้าก็ใช้ฝีมือในการถ่ายทอดแบบมาตราจาก 1 กิโลกรัมเป็นเป็น 500 กรัม 200 กรัม 100 กรัม (ดูรูปที่ 20) เค้าเรียกว่า “Mass Scale” และ .....ไม่มีการประกาศตุ้มชุดหรือตุ้มพวงเป็นแบบมาตราชั้นหนึ่งแห่งชาติหรอก...มึนจริงๆ อยากเรียนรู้จริงๆ



รูปที่ 16 มาตรฐานแห่งชาติด้านมวล 1 กิโลกรัมต้นแบบระหว่างประเทศ (International Prototype of the Kilogram) หมายเลข 80 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



รูปที่ 17 Traceability ของแบบมาตรามวลหมายเลข 80 ของประเทศไทย สามารถสอบกลับได้ถึงระบบหน่วยมวลสากล (Mass SI Unit) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ BIPM

มาตรา ๑๒ เครื่องชั่งตวงวัดต้องได้รับการตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั่งตวงวัดตามพระราชบัญญัตินี้

แบบมาตราชั่งตวงวัดตามวรรคหนึ่ง ให้เรียกชื่อย่อว่า "แบบมาตรา" และแบ่งออกเป็นแบบมาตราชั้นหนึ่ง แบบมาตราชั้นสอง และแบบมาตราชั้นสาม

แบบมาตราชั้นหนึ่ง ได้แก่ แบบมาตราที่สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศกำหนดให้ใช้หรือรับรองความเที่ยงแล้ว

แบบมาตราชั้นสอง ได้แก่ แบบมาตราที่ได้ตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั้นหนึ่งแล้ว

แบบมาตราชั้นสาม ได้แก่ แบบมาตราที่ได้ตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั้นสองแล้ว

รูปที่ 18 มาตรา 12 ของ พรบ มาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 บัญญัติถึงแบบมาตราชั้นหนึ่ง (*สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ = BIPM*)

มาตรา ๑๒

มูลจำนวนหน่วยแห่งแมส (ที่เรียกกันว่าน้ำหนัก) นั้น ให้เป็น กิโลกรัม คือ แมสของแท่งลวดแห่งปลาตินุมอิริดิอุม ซึ่งเก็บไว้ในสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ และซึ่งที่ประชุมใหญ่ครั้งแรกแห่งมาตราชั่งตวงวัดได้ประกาศไว้เป็นแบบประถมตัวมาตราของกิโลกรัม

สำหรับประเทศสยาม กิโลกรัม นั้น คือแมสซึ่งสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศได้ทำขึ้น กำหนดเป็นแบบมาตราและรับรองว่าถูกต้อง

รูปที่ 19 มาตรา 12 ของ พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 บัญญัติถึงมวลจำนวนหน่วยแห่งแมส (*สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ = BIPM*)

ประเทศไทยได้รับตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต้นแบบระหว่างประเทศ (International Prototype of the Kilogram) หมายเลข 80 เมื่อ พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1996) ตามเอกสารอ้างอิง ดังในรูปที่ 21 และถูกเก็บไว้ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT)



รูปที่ 20 ตัวอย่างการถ่ายทอดแบบมาตราจาก 1 กิโลกรัมไปเป็น 500 กรัม 200 กรัม 100 กรัม และ .....

Table 1. 1 kg prototypes in platinum–iridium distributed since 1993.

78	Has belonged to CMS-ITRI (Chinese Taipei) since 1995 (PV[a] 1995, p 164)
79	Allocated to the United States of America in 1996 (PV 1996, p 171)
80	Allocated to Thailand in 1996 (PV 1996, p 171)
81	Has belonged to the National Physical Laboratory (United Kingdom) since 1997 (PV 1997, p 298)
82	Has belonged to the National Physical Laboratory (United Kingdom) since 1997 (PV 1997, p 298)
67	Allocated to the Czech Republic in 1999 (PV 1999, p 246). Previously this prototype had belonged to the BIPM
83	Allocated to Singapore in 2003 (PV 2003, to be published)
84	Allocated to the Republic of Korea in 2003 (PV 2003, to be published)

[a] PV: Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures.

รูปที่ 21 "The SI unit of mass", Richard Davis, Bureau International des Poids et Mesures, Metrologia 40 (2003) 299-305.

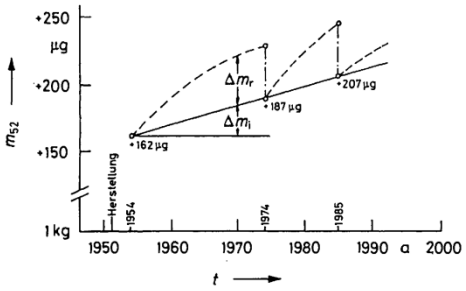


Fig.22.9. Changes in mass of the kilogram prototype No.52. Δm_i irreversible, longstanding increase in mass. Δm_r reversible increase in mass due to surface layers that are removed by cleaning.

รูปที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามวลของ Kilogram Prototype หมายเลข 52 ซึ่งครอบครองโดย PTB (Germany) เมื่อเวลาผ่านไปจะเพิ่มขึ้นและเมื่อทำความสะอาดแล้วนำกลับไปสอบเทียบใหม่จะพบว่ามวล 1 กก.มีน้ำหนักลดกลับลงมาบ้างเล็กน้อย

จากที่ทราบแล้วว่าแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the International Prototype of the Kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ IKP ทำด้วยโลหะอัลลอยด์ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย Platinum จำนวน 90% และ Iridium จำนวน 10% เรียกชื่อในอักษรย่อของแร่ธาตุโดยรวม คือ Pt-Ir (Platinum-Iridium) ความหนาแน่นของแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมมีค่าโดยประมาณ 21,500 kg/m^3 ถึงแม้ว่าโลหะอัลลอยด์ชนิด Platinum-Iridium ทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกน้อย (Chemical Passivity) ก็ตาม แต่ในความเป็นจริงแล้วด้วยเครื่องชั่งชนิด Mass Comparator ที่ทันสมัยสามารถตรวจสอบพบว่า Pt-Ir Prototype เปลี่ยนไปด้วยอัตราประมาณ 1 µg ต่อเดือนภายในช่วงเวลา 3-4 เดือนแรกหลังจากที่มีการทำความสะอาด และเนื่องจากกรรมวิธีในการผลิต การทำผิวในขั้นตอนสุดท้ายและสภาวะแวดล้อมเราพบว่าน้ำหนักของ Pt-Ir Prototype มีการเพิ่มขึ้นตลอดเวลาและเมื่อล้างทำความสะอาดแล้วก็สามารถลดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ส่วนหนึ่ง (Reversible Increase in Mass; Δm_r) ประมาณ 0.5 –3 µg ต่อปี แต่ยังมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและไม่สามารถลดลง (Irreversible Increase in

Mass; Δm_i) ประมาณ 0.1 – 1.0 μg ต่อปีหลังจากทำความสะอาดแล้วอีกส่วนหนึ่งด้วยเช่นกัน ดูรูปที่ 22 และรูปที่ 23 แต่ในอนาคตประมาณปี ค.ศ. 2018 มวล IPK หรือ Mr. $\mathfrak{K}$ อาจถูกยกเลิกการใช้งานแล้วใช้ “Avogadro and Molar Planck Constants” แทนสำหรับการนิยามหน่วยมวล (the Unit of Mass) ของมวล 1 kilogram ก็ค่อยๆว่ากันต่อไป

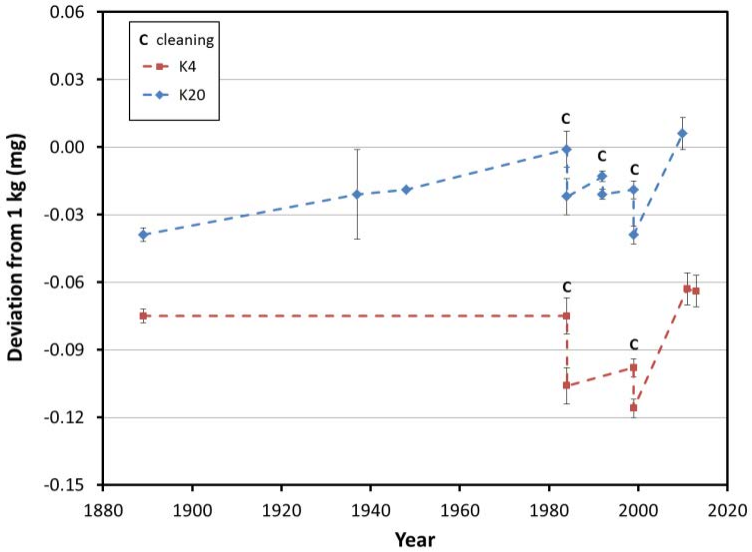
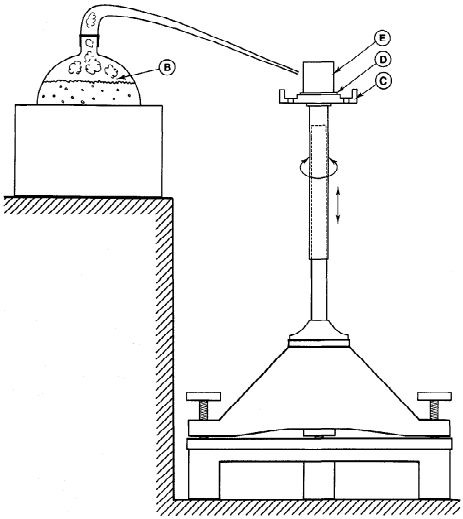
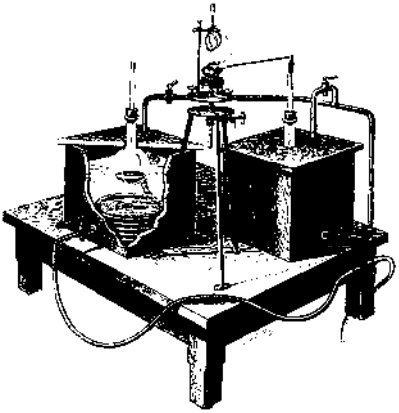


Fig. 1. History of the calibration of the U.S. National Prototype K20 and check standard K4 at the BIPM. The uncertainty bars (k=1) for each number are the uncertainties reported by the BIPM on the calibration certificates. No uncertainty was reported on the 1948 calibration of K20.

รูปที่ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงในมวลของ Kilogram Prototype หมายเลข 20 ที่ครอบครองโดย NIST (U.S.A)



รูปที่ 24 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ล้างตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Platinum-iridium Prototypes (E) ของ BIPM ในยุคหนึ่ง Prototype (E) จะถูกวางไว้บนถาดวางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทำด้วย platinum-iridium (D) โดยมีเครื่องผลิตไอน้ำประกอบด้วย Pyrex flask (B) ขนาด 1 ลิตร บรรจุน้ำกลั่น 2 ครั้ง (Bi-Distilled Water) ถูกทำให้ร้อนด้วยเตาไฟฟ้า 350 Watts เพื่อผลิตไอน้ำด้วยอัตรา 0.5 l/h. เมื่อน้ำถูกทำให้ร้อนจนกลายเป็นไอ ไอน้ำจะถูกส่งผ่านท่อที่ปลายท่อทำเป็น Orifice ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตรพ่นตรงไปยังตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Platinum-iridium Prototypes (E) โดยระยะห่างระหว่างผิว Prototype (E) กับปลายพ่นไอน้ำห่างกันประมาณ 5 มิลลิเมตรตลอดเวลา น้ำที่กลั่นตัวลงมาจะถูกสะสม ณ ถาดรองน้ำ (C) และระบายออกไป ทั้งนี้เราสามารถหมุนถาดวางได้ตลอดเวลาและสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ 4 ทิศทางด้วยเช่นกัน



รูปที่ 25 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ล้างตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Platinum-Iridium Prototypes ด้วยไอ Alcohol และไอน้ำพ่นโดยตรงไปยังตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ของ BIPM ในช่วงปี ค.ศ. 1882 -1889



รูปที่ 26 ทำความสะอาดด้วยมือโดยใช้หนังชามัวร์ (Chamois) ซึ่งแช่ไว้ในสารละลายที่มีส่วนผสมเท่ากันระหว่าง Ethanol และ Ether เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เริ่มต้นจากทำความสะอาดบริเวณฐานตุ้มน้ำหนัก



รูปที่ 27 ทำความสะอาดด้วยมือโดยใช้หนังชามัวร์ (Chamois) ซึ่งแช่ไว้ในสารละลายที่มีส่วนผสมเท่ากันระหว่าง Ethanol และ Ether เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำความสะอาดบริเวณ Cylindrical Surface.



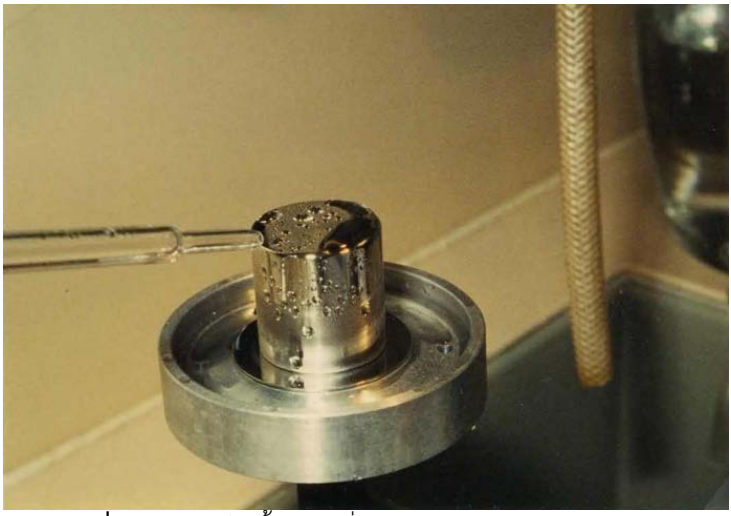
รูปที่ 28 ล้างฐานซึ่งวัสดุทำด้วย Platinum-Iridium สำหรับวางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราด้วยไอน้ำ



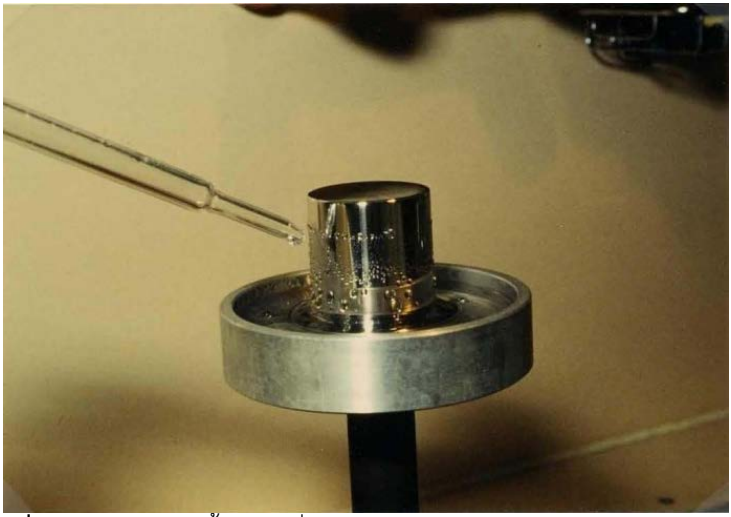
รูปที่ 29 ใช้คีมยกตุ้มน้ำหนักแบบมาตราโดยห่อหุ้มคีมด้วยชั้นในเป็นหนังชามัวร์ (Chamois) ส่วนชั้นนอกเป็น Lens Tissue ที่ใช้ทำความสะอาดเลนส์



รูปที่ 30 ภาพรวมของเครื่องมืออุปกรณ์



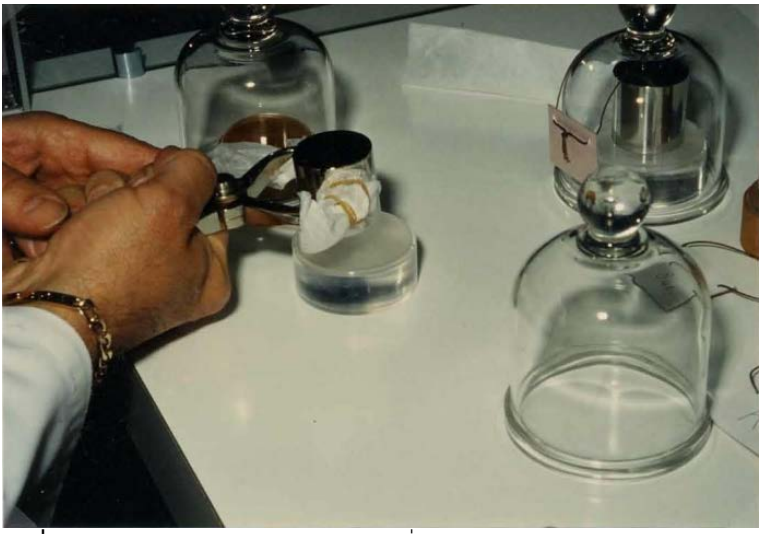
รูปที่ 31 ปล่อยไอน้ำพ่นให้ทั่วบริเวณผิวฐานของ Prototype



รูปที่ 32 ปล่อยไอน้ำพ่นให้ทั่วบริเวณส่วนผิวทรงกระบอกของ Prototype พร้อมหมุนฐานให้ Prototype เคลื่อนที่ขึ้นลง เมื่อครบ 15 -20 นาที ให้ใช้ขอบกระดาษซับแตะหยดน้ำที่จับตัวบริเวณผิวให้หยดน้ำถูกดึงออกจากผิวตุ้มด้วย Capillary Action เท่านั้น



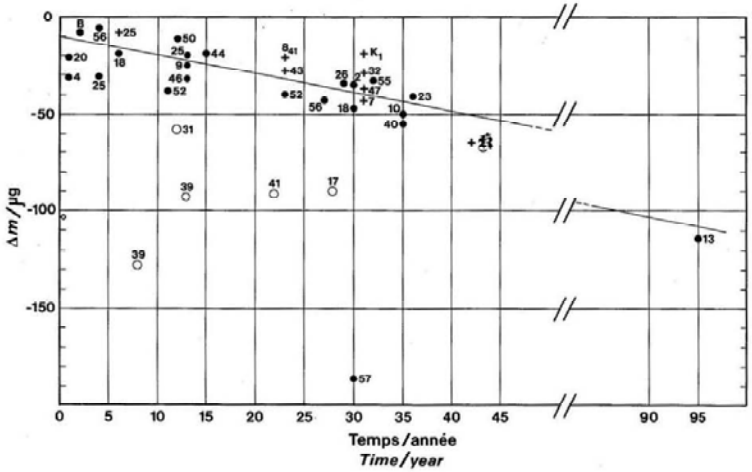
รูปที่ 33 ใช้ลมที่ผ่านการบำบัดคุณภาพอากาศอย่างดีเป่าไล่ความชื้นบริเวณผิวตุ้ม



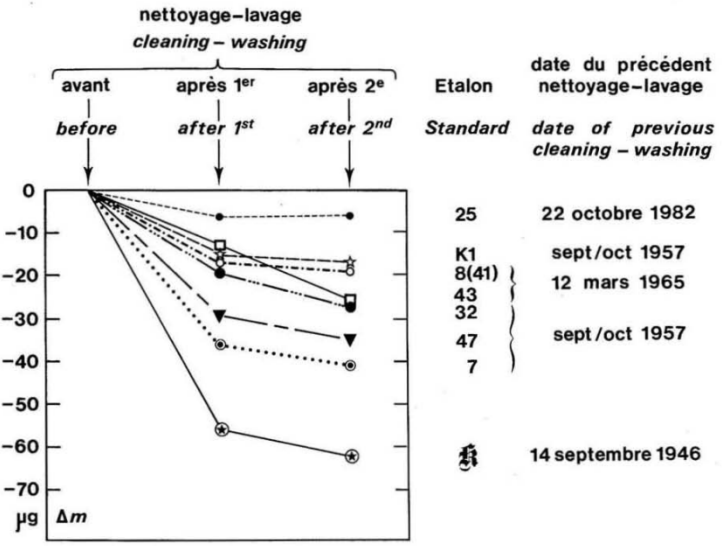
รูปที่ 34 ยกตุ้มนำมาวางพักบนฐานแก้วที่ทำด้วยฐานแท่งแก้ว Pyrex Disk หลังจากล้างเสร็จ



รูปที่ 35 เอาฝาครอบแก้ว Bell Jar ครอบตุ้ม Prototypes ตลอดเวลา



รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงมวล Δm ที่พบหลังจากทำความสะอาดและล้าง Pt-Ir Prototypes 1 กิโลกรัมแล้วเสร็จถูกนำมาเขียนกราฟเทียบกับระยะเวลาเป็นจำนวนปี โดย BIPM แสดงให้เห็นว่า Pt-Ir Prototypes “ℜ” เปลี่ยนแปลงไปประมาณ 50 μg ในรอบ 100 ปี



รูปที่ 37 BIPM จัดให้มีการ Intercomparison ผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบการเปลี่ยนแปลงมวล Δm ของ the International Prototype $\mathfrak{K}$, 6 Reference Standard (tèmoins) (No.43, KI, No. 8(41), No. 47, No. 7, No. 32) และ No. 25 หลังจากทำความสะอาดและล้าง

ความรู้พื้นฐาน
ก๊าซเหลว LPG (Liquefied Petroleum Gas)

ในปัจจุบันปัญหาที่ได้รับความสนใจและเป็นปัญหาที่ค่อนข้างวิกฤตเรื่องหนึ่งที่หนีไม่พ้นนั้นก็คือ ปัญหาด้านพลังงาน ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้างแทบทุกชนชั้นในสังคม อีกทั้งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศและของโลกด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีการนำพืชที่เป็นอาหารมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน เช่น นำน้ำมันพืชไปทำไบโอดีเซล, นำน้ำตาลไปทำน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เป็นต้น ดังนั้นเราจึงได้เห็นการใช้พลังงานทดแทนด้านต่างๆ ตลอดจนการคิดค้นวิธีการผลิตพลังงานด้านต่างๆ

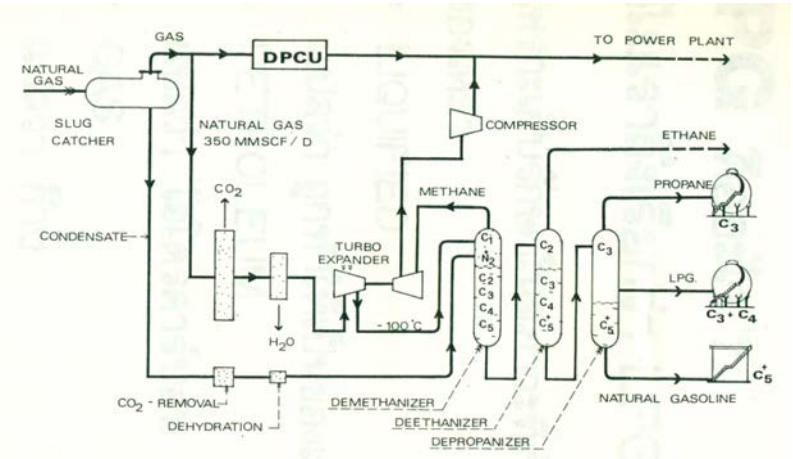
วกกลับมาถึงปัญหาพลังงานที่ใกล้ตัวเรามากขึ้นในชีวิตประจำวัน ก็คือการใช้รถยนต์ เราพบว่าราคาน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลซึ่งได้แก่น้ำมันดิบในปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเคยมีราคาสูงขึ้นมากประมาณ 40-45 บาท/ลิตร ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานของครอบครัวต้องมีภาระเพิ่มสูงมากขึ้น การหันมาใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งที่หลีกหนีไม่พ้น ซึ่งปรากฏออกมาในรูปของการหันไปใช้ก๊าซ LPG และ NGV มาเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเบนซินด้วยเหตุผลทางราคาที่ถูกลงมาประมาณเกือบ 2-4 เท่า (ไม่นับค่าใช้จ่ายที่ภาครัฐให้การอุดหนุน)

ด้วยเหตุนี้ในชีวิตประจำวันที่เราต้องเผชิญและต้องอยู่กับก๊าซ LPG และ NGV โดยเฉพาะก๊าซ LPG ซึ่งเราต้องเกี่ยวข้องทั้งในรูปแบบของการใช้เป็นพลังงานทดแทนในรถยนต์และการใช้ก๊าซเพื่อการหุงต้มอาหาร ในส่วนของงานด้านชั่งตวงวัดที่ต้องทำการกำกับดูแลความถูกต้องของการจำหน่ายก๊าซ LPG ทั้งในรูปแบบสินค้าหีบห่อคือการบรรจุ LPG ด้วยถังความดันขนาด 15 กิโลกรัม เป็นต้น และความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ซึ่งใช้ทั้งในสถานีบริการและภาคอุตสาหกรรม เราจึงควรทำความรู้จักกับเจ้าก๊าซ LPG ในเบื้องต้นเสียก่อน ถือว่าเป็นสิ่งดี

แหล่งที่มาก๊าซ LPG

ก๊าซ LPG ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีแหล่งผลิตที่มาด้วยกัน 2 แหล่งใหญ่หลักๆ คือ

1. **มาจากการกลั่นก๊าซธรรมชาติ** โดยผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยแหล่งขุดเจาะก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณอ่าวไทย หลังจากสามารถสำรวจและขุดเจาะพบก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติก็จะถูกอัดส่งผ่านระบบท่อความดันสูงจากแท่นขุดเจาะ เดินระบบท่อบนพื้นทะเลอ่าวไทยขึ้นบริเวณชายฝั่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติจะมีขั้นตอนโดยคราวๆ ดังในรูปที่ 1 ลักษณะของก๊าซ LPG ที่ผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะไม่มีสี ไม่มีรสและไม่มีกลิ่น ผู้ดูแลกิจการเจ้าใหญ่สุดในส่วนนี้หนีไม่พ้น ปตท. ซึ่งยัง งง อยู่ว่าเป็นบริษัทมหาชนหรือเป็นรัฐวิสาหกิจ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้ได้ก๊าซ LPG

2. **มาจากโรงกลั่นน้ำมัน** ก๊าซ LPG ที่ได้จากส่วนนี้เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยปริมาณผลิตผลพลอยได้ (by product) ประมาณ 2 % ของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้ ซึ่งลักษณะของก๊าซ LPG ที่ได้ก็มีคุณสมบัติคล้ายกับ

คุณสมบัติของก๊าซที่ผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติเช่นเดียวกัน คือ จะไม่มีสี ไม่มีรส และไม่มีกลิ่น

ด้วยเหตุนี้ในการใช้งานก๊าซ LPG ทั้งในรูปการจัดเก็บภายในถังความดันสูงหรือเพื่อการขนส่งจึงต้องเติมสารมีกลิ่นซึ่งค่อนข้างมีกลิ่นเหม็นลงไปเรียกว่า “Mercaptan–เมอร์แคปแตน” เพื่อประโยชน์หากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจุจะทำให้เราได้กลิ่นก่อนล่วงหน้า และสามารถแก้ปัญหาได้ทันการณ์

องค์ประกอบของก๊าซ LPG

เนื่องจากก๊าซ LPG เป็นส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความหลากหลายและปริมาณสัดส่วนอาจแตกต่างกันบ้าง แต่โดยภายรวมแล้วส่วนประกอบหลักของก๊าซ LPG จะมีด้วยกัน 3 ตัวหลักๆ คือ

1. บิวเตน (nC_4H_{10}) จากข้อมูลเบื้องต้นโดยประมาณ เราพบว่าบิวเตนในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 80 - 100 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 1.0 bar)
2. ไอโซบิวเตน (iC_4H_{10})
3. โปรเพน (C_3H_8) ในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 175 - 200 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 6.5 bar)

ทั้งจากในรูปที่ 1 และองค์ประกอบข้างบน เราจึงพอสรุปโดยหลักการเพื่อใช้ทำงานในทางปฏิบัติว่าก๊าซ LPG ประกอบด้วย C_3+ C_4 (ไม่ใช่ข้าราชการ ซี 3 กับซี 4 น่ะครับ อันนี้ระบบนี้ยกเลิกไปแล้วครับ) นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังคงมีองค์ประกอบสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆอีก ดังพอนำมาสรุปองค์ประกอบของก๊าซ LPG พร้อมกับจุดเดือดขององค์ประกอบแต่ละตัว ได้ดังในตารางที่ 1

การจุดระเบิดของก๊าซ

ในการปฏิบัติงาน สิ่งแรกที่เราจำเป็นต้องมีความรู้ประดับตัวในเบื้องต้น เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ด้วยความสะดวกราบรื่นไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและทรัพย์สินของตัวเองและผู้อื่น นอกจากทราบถึงคุณสมบัติของของเหลวดังกล่าวแล้ว สิ่งนั้นคือคุณสมบัติในด้านการติดไฟ / จุดระเบิดได้เอง

องค์ประกอบของการระเบิดหรือติดไฟของก๊าซ LPG จะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบครบ 3 ประการ คือ

1. ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม / สารที่จุดติดไฟได้
2. อากาศ / ออกซิเจน
3. ประกายไฟ

ส่วนประกอบ		จุดเดือด (^{o}F)
C_2H_4	เอทธีลีน (อีธีน)	-155
C_2H_6	อีเทน	-128
C_3H_6	โปรปีลีน	-54
C_3H_8	**โปรเพน***	**-44**
iC_4H_{10}	ไอโซบิวเตน	11
C_4H_8	บิวตีลีน (บิวตีน)	13-39
nC_4H_{10}	บิวเตน	31
iC_5H_{12}	ไอโซเพนเตน	82
nC_5H_{12}	เพนเตน	97

* โปรเพน เป็นส่วนประกอบของก๊าซ LPG ในตลาดปัจจุบัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบก๊าซ LPG

Table 1-2 Physical Constants for Pure Components (Whitson and Brule, 2000)

Compound	Formula	Molecular Weight	Critical Constants			
			P_c psia (kPa)	T_c °R (°K)	V_c ft³/lb (m³/kg)	Z_c
Methane	CH_4	16.043	667.8 (4604)	343 (190.6)	0.0991 (0.0062)	0.2884
Ethane	C_2H_6	30.070	707.8 (4880)	549.8 (305.4)	0.0788 (0.00492)	0.2843
Propane	C_3H_8	44.097	616.3 (4249)	665.7 (369.8)	0.0737 (0.0046)	0.2804
n-Butane	C_4H_{10}	58.124	550.7 (3797)	765.3 (425.2)	0.0702 (0.00438)	0.2736
Isobutane	C_4H_{10}	58.124	529.1 (3648)	734.7 (408.2)	0.0724 (0.00452)	0.2824
n-Pentane	C_5H_{12}	72.151	488.6 (3369)	845.4 (469.7)	0.0675 (0.00422)	0.2623
Isopentane	C_5H_{12}	72.151	490.4 (3381)	828.8 (460.4)	0.0679 (0.00424)	0.2701
Neopentane	C_5H_{12}	72.151	464.0 (3199)	781.11	0.0674 (0.00421)	0.2537
n-Hexane	C_6H_{14}	86.178	436.9 (3012)	913.4 (507.4)	0.0688 (0.0043)	0.2643
n-Heptane	C_7H_{16}	100.205	396.8 (2736)	972.5 (540.3)	0.0691 (0.00432)	0.2633
n-Octane	C_8H_{18}	114.232	360.6 (2486)	1023.9 (568.8)	0.0690 (0.0043)	0.2587
n-Nonane	C_9H_{20}	128.30	332 (2289)	1070.3 (594.6)	0.0684 (0.00427)	0.2536
n-Decane	$C_{10}H_{22}$	142.30	304 (2096)	1111.8 (617.7)	0.0679 (0.00424)	0.2462
Ethylene	C_2H_4	28.054	729.8 (5032)	508.6 (282.6)	0.0737 (0.0046)	0.2765
Propene	C_3H_6	42.081	669. (4613)	656.9 (364.9)	0.0689 (0.0043)	0.2752
Acetylene	C_2H_2	26.038	890.4 (6139)	555.3 (308.5)	0.0695 (0.00434)	0.2704
Carbon dioxide	CO_2	44.010	1071. (7382)	547.6 (304.2)	0.0342 (0.00214)	0.2742
Hydrogen sulfide	H_2S	34.076	1306 (9005)	672.4 (373.6)	0.0459 (0.00287)	0.2831
Sulfur dioxide	SO_2	64.059	1145. (7894)	775.5 (430.8)	0.0306 (0.00191)	0.2697
Nitrogen	N_2	28.013	493 (3399)	227.3 (126.3)	0.0514 (0.00321)	0.2916
Water	H_2O	18.015	3208. (22,105)	1165.0 (647.2)	0.0500 (0.00312)	0.2350

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของก๊าซชนิดต่างๆ

โทษของก๊าซ LPG

ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียมได้ทำการศึกษา Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมพอสรุปได้บางชนิดดังตารางที่ 3 ดังนั้นหากมีองค์ประกอบครบ 3 ประการและอัตราส่วนของของเหลวปิโตรเลียมกับอากาศอยู่ในระหว่าง Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ (ดูรูปที่ 2) ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ Propane จะมี L.E.L เท่ากับ 2.1 และ U.E.L 9.4 นั้นหมายความว่าหากในอากาศมีอัตราส่วนผสมของก๊าซ Propane ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 2.1 : 97.9 จนถึง 9.4 : 90.6 แล้วเกิดประกายไฟขึ้น จะมีโอกาสเกิดการระเบิดขึ้นได้สูงแต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ Propane ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 2.1 : 97.9 หรือมากกว่า 9.4 : 90.6 หากเกิดประกายไฟขึ้น การระเบิดก็เกิดขึ้นได้ยาก

ด้วยเหตุนี้หากเกิดปัญหาหน้างานและกลัวการระเบิดก็ควรหาอุปกรณ์ตัวที่สามารถวัดค่าอัตราส่วน Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) แต่ถ้าสามารถหาได้ก็หาเอาพวกอุปกรณ์ชนิด Gas Detector (ก่อนใช้งานก็ตรวจสอบกับไฟแช็คแก๊สที่ใช้สูบบุหรี่โดยเปิดวาล์วแก๊สไฟ

แช็ค แต่ไม่ต้องสะกิดถ่านให้ไฟติดล่ะ) แทนก็ยังดีหรือหลีกเลี่ยงการกระทำใดที่อาจก่อให้มีองค์ประกอบครบ 3 ประการคือ เชื้อเพลิง อากาศ และประกายไฟ ซึ่งหากตัดปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดออกไปได้ การระเบิดจะไม่เกิดขึ้นล่ะครับ

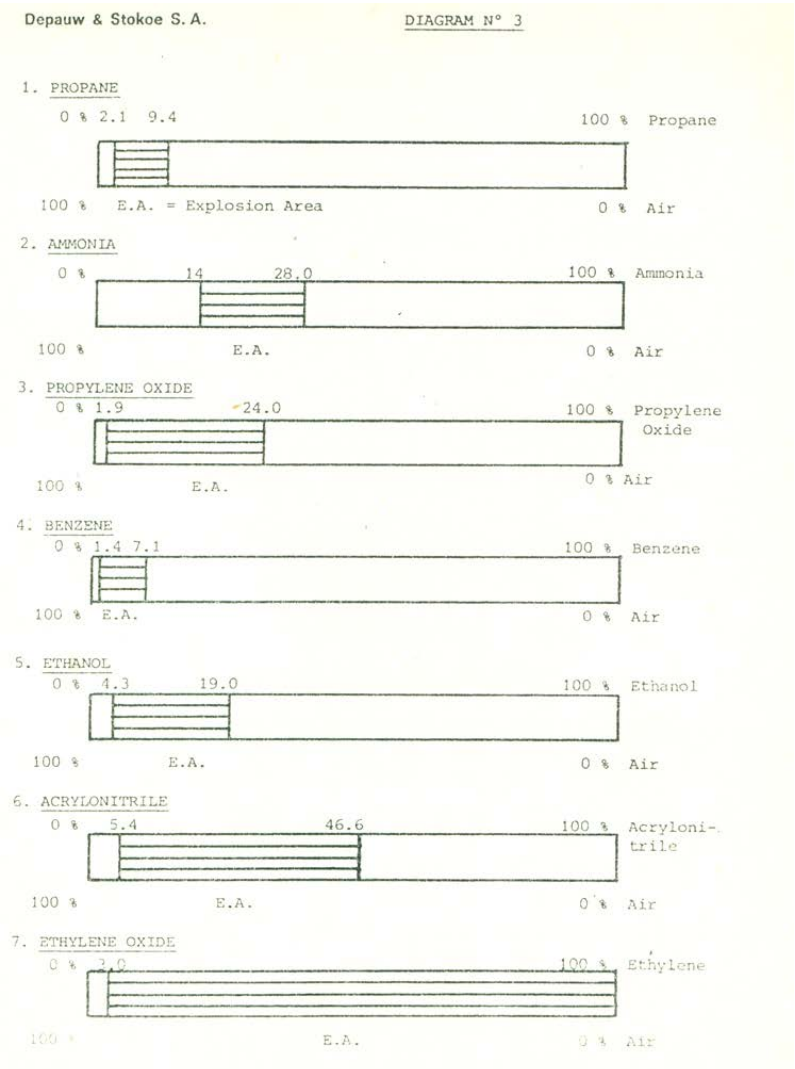
หากก๊าซ LPG โดนผิวหนังของเรา ผิวหนังจะไหม้เหมือนโดนถูกไฟลวก ทั้งนี้ก็เพราะเวลาที่ก๊าซ LPG เปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่มีความดันสูงกลายเป็นไอจะดูดความร้อนแฝงจากสิ่งแวดล้อมซึ่งในที่นี้ก็คือ ความชื้นภายในผิวหนังเรานั้นเอง

EXPLOSION LIMITS

Name of Product	Lower Explosion Limit L.E.L.	Upper Explosion Limit U.E.L.
Liquefied Gases		
Methane	5	14
Ammonia	16	25
Butane	1.5	8.5
C4 Crude	2	11.5
Ethane	3	15.5
Ethylene	2.7	34
MAPP gas	2.3	10.8
Ethylene Oxide	2.6	100
Propylene Oxide	1.9	24
Propylene	2	11.7
Raffinate 2 - C4	2	11.5
Spent C4	2	11
Vinyl Chloride Monomer	4	29
Chemicals		
Aromatic Oil	1	8
Benzene	1	8
Gasoline	1	7
Cumene	0.8	7
Di-Cyclo Pentadiene	1	7
Di-Ethylene Glycol	3	7
Ethyl Benzene	1	7.8
Naphtha	0.9	6
Styrene	1.1	8
Toluene	1.2	7

Note : Information received from Messrs. DOW Chemical Nederland B.V. Terneuzen.

ตารางที่ 3 Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม



รูปที่ 2 Lower Explosion Limit กับ Higher Explosion Limit การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้

Table B.1.2(b) (Metric) Approximate Properties of LP-Gases

	Commercial Propane	Commercial Butane
Vapor pressure in kPa (absolute pressure) at		
20°C	1,000	220
40°C	1,570	360
45°C	1,760	385
55°C	2,170	580
Specific gravity	0.504	0.582
Initial boiling point at 1.00 atm pressure, °C	–42	–9
Weight per cubic meter of liquid at 15.56°C, kg	504	582
Specific heat of liquid, kilojoules per kilogram, at 15.56°C	1.464	1.276
Cubic meter of vapor per liter of liquid at 15.56°C	0.271	0.235
Cubic meter of vapor per kilogram of liquid at 15.56°C	0.539	0.410
Specific gravity of vapor (air = 1) at 15.56°C	1.50	2.01
Ignition temperature in air, °C	493–549	482–538
Maximum flame temperature in air, °C	1,980	2,008
Limits of flammability in air, % of vapor in air–gas mixture:		
Lower	2.15	1.55
Upper	9.60	8.60
Latent heat of vaporization at boiling point:		
Kilojoules per kilogram	428	388
Kilojoules per liter	216	226
Total heating value after vaporization:		
Kilojoules per cubic meter	92,430	121,280
Kilojoules per kilogram	49,920	49,140
Kilojoules per liter	25,140	28,100

รูปที่ 3 คุณสมบัติ LPG

นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังมีน้ำหนักมากกว่าอากาศโดยทั่วไป ดังนั้นหากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจุก๊าซ LPG จะไปแทนที่อากาศ ซึ่งรวมถึงก๊าซออกซิเจนที่เราใช้หายใจที่มีอยู่ในอากาศประมาณ 17 % ของอากาศทั้งหมดส่งผลให้หากมีใครอยู่บริเวณนั้นจะขาดออกซิเจนและตายลงได้เช่นเดียวกัน ถ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกนอกพื้นที่ได้ทันเวลา

หากก๊าซ LPG มีการรั่วไหล ออกจากภาชนะถังบรรจุความดัน ก๊าซ LPG จะสามารถขยายตัวได้ประมาณ 270 เท่าเลยทีเดียว

การจัดเก็บก๊าซ LPG

จะมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบที่นิยมกันคือ

1. Pressurized Gas Tankers จัดเก็บก๊าซ LPG ภายในภาชนะภายใต้ความกดดันสูง ประมาณ 80-190 Psi (6 – 13 barg) ในการออกแบบถังความดันจึงต้องออกแบบให้สามารถรองรับความดันไม่น้อยกว่าที่ประมาณ 18 barg โดยสามารถรองรับอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ในการขนย้ายที่ 45 °C ส่งผลให้ขนาดถังที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 1,000 m^3 ซึ่งเรามักพบเห็นในการขนส่งทางบกด้วยรถยนต์

2. Semi-Refrigerated /Semi-Pressurized Gas Carriers จัดเก็บก๊าซ LPG ไว้ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของก๊าซ LPG ซึ่งจุดเดือดของก๊าซ LPG อยู่ที่ประมาณ -50 °C ดังนั้นความดันภายในถังจะเหลือเพียง 2.8 - 7.0 barg ขนาดถังที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 12,000 m^3

3. Fully Refrigerated Gas Carriers เป็นการจัดเก็บก๊าซด้วยสภาวะภายในถังจัดเก็บที่มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิภายในถังเก็บให้เท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซนั้นๆ สำหรับการจัดเก็บก๊าซ Propane จะควบคุมอุณหภูมิภายในถังเก็บเท่ากับอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซ Propane อยู่ที่ -42 °C ดังนั้นด้วยระบบจัดเก็บก๊าซวิธีนี้จึงมีการจัดเก็บที่อุณหภูมิต่ำสุดของถังบรรจุอยู่ที่ -50 °C และมีความดันภายในถังขณะใช้งาน

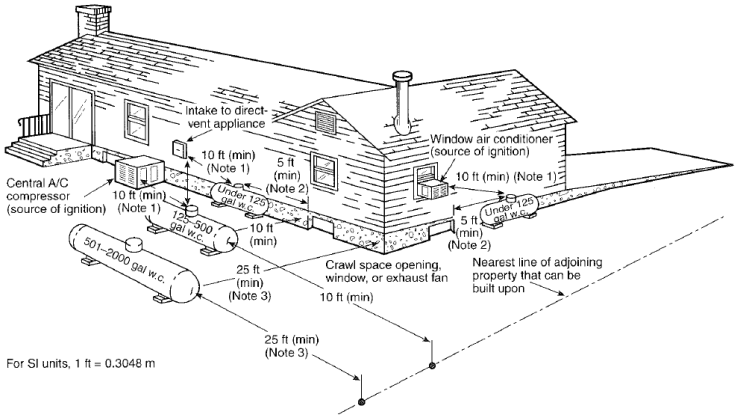
(Working Pressure) ประมาณ 250 millibar ขนาดถังที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดระหว่าง 5,000 - 75,000 m^3 ด้วยเหตุนี้เราจึงไม่เห็นการขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บด้วยวิธีการนี้กับการขนส่งทางบกแต่จะพบเห็นในการขนส่งทางเรือเดินทางข้ามมหาสมุทรเนื่องจากสามารถจัดเก็บได้ปริมาณมาก ยกตัวอย่างในกรณีที่ ปตท. ทำการซ่อมแซมโรงแยกก๊าซธรรมชาติประจำปี ทำให้กำลังการผลิตก๊าซลดต่ำลงส่งผลให้ปริมาณก๊าซ LPG มีไม่พอใช้ภายในประเทศ ปตท. ก็จะสั่งนำเข้าก๊าซ Propane และ/หรือ ก๊าซ Butane และ/หรือก๊าซ LPG (ส่วนผสมของก๊าซ Propane กับก๊าซ Butane) จากต่างประเทศเป็นลำเรือใหญ่ๆ ซึ่งขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บแบบ Fully Refrigerated Gas Carriers น่ะครับ



รูปที่ 4 Fully Refrigerated Gas Carriers

การจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับบรรจุก๊าซเหลว LPG

ตามข้อกำหนด NFPA มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับจัดเก็บก๊าซ LPG ดังเช่นในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการจัดวางถังจริงๆ ต้องไปปรึกษากรมโยธาธิการดีกว่าครับ เพราะข้อมูลทันสมัยกว่าและที่สำคัญถูกต้องตามกฎหมาย



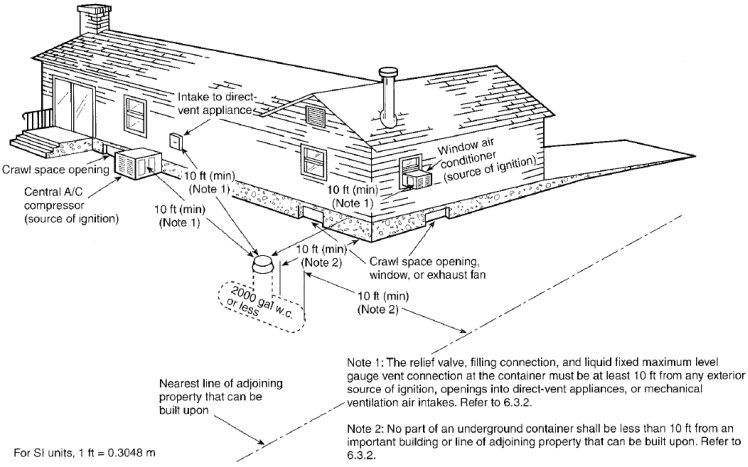
Note 1: Regardless of its size, any ASME container filled on site must be located so that the filling connection and fixed maximum liquid level gauge are at least 10 ft from any external source of ignition (e.g., open flame, window A/C, compressor), intake to direct-vented gas appliance, or intake to a mechanical ventilation system. Refer to 6.3.9.

Note 2: Refer to 6.3.9.

Note 3: This distance may be reduced to no less than 10 ft for a single container of 1200 gal (4.5 m^3) water capacity or less, provided such container is at least 25 ft from any other LP-Gas container of more than 125 gal (0.5 m^3) water capacity. Refer to 6.3.3.

FIGURE I.1(b) Aboveground ASME Containers. ***(This figure for illustrative purposes only; code shall govern.)***

(ก)



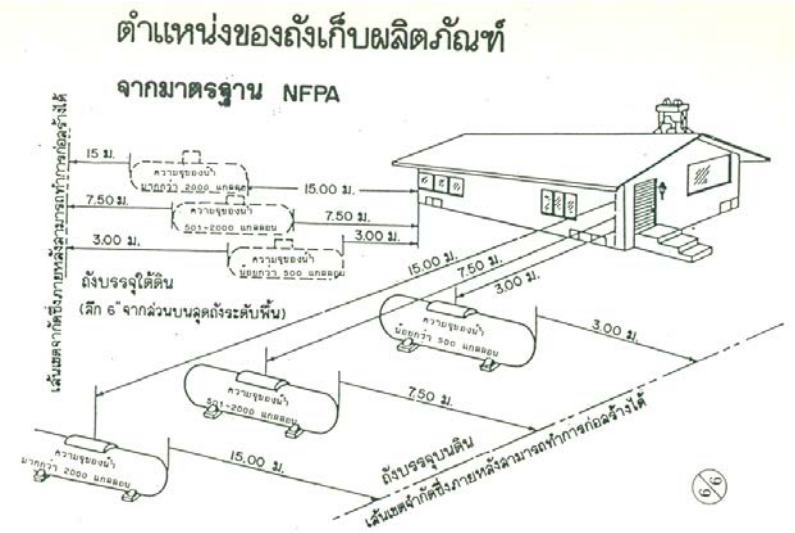
Note 1: The relief valve, filling connection, and liquid fixed maximum level gauge vent connection at the container must be at least 10 ft from any exterior source of ignition, openings into direct-vent appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.2.

Note 2: No part of an underground container shall be less than 10 ft from an important building or line of adjoining property that can be built upon. Refer to 6.3.2.

FIGURE I.1(c) Underground ASME Containers. ***(This figure for illustrative purposes only; code shall govern.)***

(ข)

รูปที่ 5 ข้อกำหนด NFPA มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดัน NFPA 58 ; 2004



รูปที่ 6 ข้อกำหนด NFPA มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดัน

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547 โดยก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศไทยต้องมีลักษณะและคุณภาพตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ดังตารางด้านล่าง ทั้งนี้ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1.	ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 °ซ. *กิโลปาสคาล* (Vapour Pressure @ 37.8 °C, *kPa*)	ไม่สูงกว่า	1,380	ASTM D 1267
2.	การกลั่น °ซ. (Distillation, °C) อุณหภูมิของจุดเดือด เมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวระเหยไปในอัตราส่วนร้อยละ 95 โดยปริมาตร (95% Evaporated)	ไม่สูงกว่า	2.2	ASTM D 1837
3.	ปริมาณเพนเทนและสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเพนเทนต่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยปริมาตร*ร้อยละโดยปริมาตร* (Pentane and Composition Content, *% vol.*)	ไม่สูงกว่า	2.0	ASTM D 2163
4.	การกัดกร่อน (Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 1838
5.	ปริมาณกำมะถัน *ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก* (Sulphur Content, *ppm by wt.*)	ไม่สูงกว่า	140	ASTM D 2784
6.	ปริมาณกากหลังการระเหยของก๊าซปิโตรเลียมเหลว 100 มล. *มิลลิลิตร* (Residue , *ml*)	ไม่สูงกว่า	0.05	ASTM D 2158
7.	ปริมาณน้ำ (Water Content)		ไม่มี	ตรวจพินิจด้วยสายตา
8.	สารที่ให้กลิ่นซึ่งไวต่อความรู้สึก (Odorant)		มี	ตรวจด้วยวิธีดมกลิ่น

เล่าสู่กันฟัง 2

มาเริ่มด้วยเครื่องวัดความชื้นข้าว ซึ่งครอบคลุม ข้าวสาร ข้าวเปลือก เริ่มต้นเดิมทีเป็นเครื่องวัดที่ชั่งตวงวัดรุ่นพี่ๆ ก่อนหน้านั้นพยายามกันมากที่จะดูแลให้ได้เพราะเราเป็นประเทศที่ปลูกข้าวทั้งกินและทั้งส่งออกจำนวนมหาศาล มันมาจุดประกายภายหลังที่ได้รับการสนับสนุนโครงการ “Upgrading Legal Metrology in Thailand” Project No. 91.2173.2/8332 โดยรัฐบาลสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี และหน่วยงานที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ PTB ซึ่งโครงการฯ เริ่มดำเนินการในช่วง พ.ศ. 2535-2536 (จำแน่นอนไม่แม่นครับ) การได้รับความช่วยเหลือดังกล่าวทำให้เราได้เรียนรู้และเพิ่มโลกทัศน์มากมาย เช่น ก่อให้เกิดการโอนความเป็นสมาชิก BIPM ในฐานะตัวแทนของประเทศไทยตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 6 ไปให้สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) แล้วเราหันไปสมัครเป็นสมาชิกของ OIML แทน เพราะว่าเอกสารที่ BIPM ส่งให้ชั่งตวงวัด กระทรวงพาณิชย์ผ่านสถานทูตประเทศไทยประจำฝรั่งเศส พวกเราชั่งตวงวัดอ่านกันไม่รู้เรื่องกระมัง เพราะมันเป็นเรื่องของวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนซ่อนเงื่อนยิ่งกว่าคดีฆาตกรรมนายห้างทองเสียอีก (ขอโทษที่พาดพิง) เราได้มีโอกาสอันดีจากรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2540 ที่กำหนดให้การแก้ไขหรือร่างพระราชบัญญัติใดที่ค้างไว้ก่อนการยุบสภา หากมีการเลือกตั้งใหม่แล้วเปิดสภาฯ และหน่วยงานที่เป็นเจ้าของเรื่องการแก้ไขหรือร่างพระราชบัญญัติใดที่ค้างไว้ก่อนการยุบสภาฯทำเรื่องยืนยันให้เดินเรื่องต่อ ขั้นตอนการแก้ไขหรือร่างพระราชบัญญัติฯ นั้นๆ ไม่ต้องนับหนึ่งใหม่ให้เดินต่อไปได้เลย ชั่งตวงวัดได้จัดทำร่างแก้ไขพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ซึ่งเป็นกฎหมายเก่าแก่กว่าพระราชบัญญัติศุลกากร พ.ศ. 2469 (ยังคงมีใช้ได้อยู่ในปัจจุบัน) ตั้งแต่ พ.ศ. 2527 มาสำเร็จเป็น “พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542” ฉบับปัจจุบัน ศิริอายุของการแก้ไขนับเป็นเวลา 15

ปีครับ ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ว่าชั่งตวงวัดปรับตัวแต่ไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ

ในการประชุมครั้งที่ 7 ของ APLMF ในปี พ.ศ. 2543 (Seventh Asia-Pacific Legal Metrology Forum Meeting, 2-4 October, 2000, Chinese Taipei) ได้มีความพยายามขอให้ประเทศออสเตรเลียซึ่งเป็นประธาน APLMF ขณะนั้นและประเทศสมาชิกให้ความสนใจเครื่องวัดความชื้นข้าว ในช่วงเวลาดังกล่าวก็มีอาจารย์ของประเทศไต้หวันมานำเสนอเรื่องดังกล่าวด้วย อีกทั้งมีการประชุมนอกรอบของกลุ่มประเทศสมาชิก ASEAN ติดต่อกันจากการประชุม APLMF โดยมี PTB เข้าร่วมสังเกตการณ์ด้วย ภายหลังเรื่องดังกล่าวเท่าที่รู้มาสำเร็จโดยประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นสมาชิกหนึ่งใน APLMF ให้ความช่วยเหลือฝึกอบรมให้ประเทศสมาชิกฯ นับเป็นเรื่องดี ผ่านความพยายามในการจัดทำแบบมาตราให้น่าเชื่อถือให้เป็นไปตาม ISO 712 และจัดทำกฎกระทรวงข้อบังคับเครื่องวัดความชื้นข้าวเสร็จในปี พ.ศ. 2547 ต่อจากนั้นกว่าจะเข้าที่เข้าทางเก็บกวาดเพื่อจัดระเบียบเครื่องวัดความชื้นข้าวให้พอเข้ารูปเข้ารอยทั่วทั้งประเทศ คัดเครื่องวัดความชื้นข้าวที่ไม่เหมาะสมใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ออกจากระบบรวมระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนสามารถตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องวัดความชื้นข้าวได้ก็ไม่ต่ำกว่า 7-10 ปี และนี้คือช่วงอายุของการคิดจะขยายขอบเขตงานชั่งตวงวัดสำหรับเครื่องชั่งตวงวัด 1 ชนิด (ถึงตรงนี้ขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ) แต่ต้องอยู่ภายใต้ความชัดเจนในทิศทาง การสนับสนุนและเตรียมการกำลังคนและงบประมาณที่ชัดเจน ที่สำคัญหากชั่งตวงวัดสามารถกำหนดนโยบายชั่งตวงวัดของประเทศได้ด้วยตนเองงานจะไปได้ด้วยความเข้าใจของคนทำงานที่อยู่บนพื้นฐานเดียวกัน ไม่ต้องแวะระหว่างทางอยู่ร่ำไป

จะเห็นได้ว่าหากต้องการขยายงานหรือขอบเขตการควบคุมเครื่องชั่งตวงวัด 1 ชนิดเราอาจมีมุมมอง 2 ด้าน ด้านผู้ปฏิบัติงานชั่งตวงวัดเริ่มต้นต้อง

ตรวจสอบว่า**กฎหมายให้อำนาจหรือไม่** หากไม่มีและต้องการดูแลก็แก้ไขกฎหมายหากมีอำนาจให้อยู่แล้ว เข้าขั้นตอนที่ 2 คือ**เครื่องชั่งตวงวัดนั้นมีมาตรฐานสากลรองรับแล้วหรือไม่** เพราะเราไม่ได้อยู่คนเดียวบนโลกนี้ต้องอยู่กับประชาคมชาวโลกโดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศสมาชิก WTO ดังนั้นการกำหนดลักษณะเครื่องชั่งตวงวัดใดเพื่อการควบคุมต้องไม่ก่อปัญหาในเรื่อง Technical Barriers To Trade (TBT) ในกรณีนี้เรามีหลังพิงฝาคือ OIML R59 : Moisture meters for cereal grain and oilseeds สามารถนำมาจัดทำเป็นข้อกำหนดบังคับใช้สำหรับภายใต้กฎกระทรวงฯได้และสามารถเป็นที่ยอมรับของประชาคมชาวโลกเพราะประชาคมชาวโลกส่วนใหญ่ก็เป็นสมาชิก OIML อยู่แล้ว เรื่องก็จบง่าย ในกรณีที่เครื่องชั่งตวงวัดไม่มีมาตรฐานสากลเราก็ต้องกำหนดมาตรฐานกันเองเช่น เครื่องชั่งสปริง เครื่องตวงน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดสูบ เป็นต้น ซึ่งเครื่องชั่งตวงวัดประเภทดังกล่าวสังคมโลกเขาคงไม่สนใจหรอกครับ เพราะจำนวนและราคาเครื่องไม่จูงใจ (แต่ประเทศเพื่อนบ้านอาจให้ความสนใจ ลองยกเลิกเครื่องชั่งสปริงให้เหลือหน้าเดียวดูซิ...) หากใครอ่านกฎกระทรวงฉบับเทคนิคฯ ที่กำหนดลักษณะเครื่องชั่งตวงวัดที่อยู่ภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และ แก้ไขเพิ่มเติม จะทราบได้ทันทีว่าเรามีเครื่องชั่งตวงวัดตามมาตรฐานสากล หรือเรียกให้เท่ว่า “Global” และเครื่องชั่งตวงวัดที่ไม่มีมาตรฐานสากลเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่ผลิตเพื่อตอบโจทย์กิจกรรมการค้าขายในสังคมเราเอง เรียกเท่ๆ ว่า “Local” ดังนั้นการคิดจะพิจารณาเครื่องชั่งตวงวัดใดให้อยู่ภายใต้การบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และ แก้ไขเพิ่มเติม ท่านต้องเข้าใจพลวัตรของโลกด้วยไม่ใช่เข้าร่วมประชุมที่ไหนสักแห่งแล้วตกใจตื่นขึ้นมา “ผมว่าเราต้องตรวจเครื่อง... ชั่งตวงวัดทำได้อยู่แล้ว ชั่งตวงวัดเก่งนี่” 55555 (เพราะฉะนั้นขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ) คราวนี้เข้ามาถึงขั้นตอนสำคัญคือ**แล้วเราจะตรวจสอบความเที่ยงเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกได้อย่างไรถ้าไม่มีแบบมาตรา** ดังนั้นการจัดตั้งและรักษา รวมทั้งการถ่ายทอดแบบมาตรา การส่งมอบ และการให้สำนักงานสาขาชั่ง

ตวงวัดเขตฯ มีแบบมาตรา และ ฯลฯ จึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นมาก หากไม่มีแบบมาตราเรื่องที่ทำมาก่อนหน้านี้ ใน 2 ขั้นตอนแรกถือว่าล้มเหลวลงทันทีครับ แต่ก็มีหลักคิดง่ายๆ เช่นกันว่าถ้ามีการกำหนดใน OIML โดยหลักการแล้วโลกเค้าจะสามารถจัดตั้งแบบมาตราได้แล้ว เราก็ต้องเรียนรู้และประเทศที่พัฒนาแล้วก็ต้องสอนเราให้เรียนรู้เช่นกัน งานนี้ก็คือผลของการฝึกอบรมให้เราจัดทำแบบมาตราข้าวเปลือกได้โดยประเทศญี่ปุ่น ทำให้เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกยี่ห้อจากประเทศญี่ปุ่นถือสัดส่วนครองตลาดมากกว่า 90% งานนี้ญี่ปุ่นกำไรเห็นๆ ครับท่าน ขายเครื่องได้เยอะแถมรัฐรับรองด้วย ฉลาดจริงเลยพี่ยุ่น เครื่องวัดความชื้นจากเยอรมันเข้ามาสู้ไม่ได้ครับแพ้ทางด้านราคาครับ แต่ที่กังวลใจมากอีกข้อหนึ่งครับ คือ ชั่งตวงวัดส่วนกลางเป็นหน่วยงานหลัก 95% ในการจัดเตรียมแบบมาตราเครื่องวัดความชื้นข้าวครับ (ขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ)

มุมมองอีกด้านหนึ่งคือพลวัตรของสังคมไทยและสังคมโลก เรื่องแรกเราต้องคำนึงว่าเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆผลิตภายใต้เทคโนโลยีที่ชาวโลกเขาเชื่อถือหรือไม่ (ไม่เอาไม้ชี้ศพในป่าช้าน่ะ) เทคโนโลยีที่มีความเสถียรหรือไม่ สำหรับเราจะดูว่าเครื่องชั่งตวงวัดใดนำหลักการธรรมชาติมาใช้หรือไม่เพราะหากนำหลักการธรรมมาใช้แล้วเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ มักจะเป็นเทคโนโลยีที่เสถียร การเข้าถึงเทคโนโลยีไม่ยุ่งยากเพราะผู้ใช้ต้องใช้เป็นซ่อมแซมได้ บุคลากรที่ทำงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายส่วนใหญ่ของแต่ละประเทศจะมีคุณลักษณะที่คล้ายกันข้อหนึ่งครับคือ ดื่ม ออ ไม่ใช่ แต่มักจะเป็นคนหัวอนุรักษ์ต้องคบดูใจกันนานๆ จึงจะเชื่อใจและวางใจครับ ประเด็นต่อมาคือการเข้าถึงเครื่องชั่งตวงวัดนั้นโดยประชาชนพลเมืองของสังคมนั้นๆง่าย เหมือนการเข้าถึงยา เหมือนการเข้าถึงทุนเพื่อใช้ในการลงทุน เหมือนการเข้าถึงสวรรค์ชั้นดุสิตนะจ๊ะ หากเข้าถึงยากโดยมีให้ใช้งานด้วยจำนวนจำกัด หรือเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกต้องถูกจับไปอยู่ในห้องแอร์ปรับอากาศ, ปิดกระจกติดฟิล์มมืด ชาวนาเข้าไปดูไม่ได้เหม็นสาบคนจน พื้นห้องสกปรกด้วยรองเท้าชาวนาสกปรก ไอ้อย่างนี้นะเลิกกันไปเลย ประเด็นสุดท้าย

คือเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่มีข้อกำหนดที่ยุติธรรมร่วมกันทุกฝ่ายและบัญญัติไว้ในกฎหมาย โดยไม่ให้มีการแก้ไขได้ง่ายมากเกินไปเพื่อป้องกันการลุแก่อำนาจเปลี่ยนแปลงแก้ไข หรือกำหนดคุณสมบัติเครื่องชั่งตวงวัดที่ให้คุณและให้โทษแก่ฝ่ายหนึ่งฝ่ายใด....นะจ๊ะ

เครื่องวัดความชื้นข้าวเดิมทีมีอยู่ในท้องตลาดหลายรูปแบบแต่หลักๆ คือเครื่องที่ใช้หลักการความต้านทาน (Resistance) จัดเก็บตัวอย่างข้าวเพื่อทำการวัดจำนวนเล็กน้อยประมาณ 10-30 เมล็ดแล้วใช้เกลียวบดอัดข้าวเปลือกให้ละเอียดจนสุดเกลียว เครื่องวัดประเภทนี้มีช่วงใช้งานประมาณ 14 – 21% ที่ให้ผลน่าเชื่อถือหลังจากนั้นมันจะให้ผลการวัดประเภทวิ่งเข้าป่าข้างทางครับ เครื่องวัดชนิดนี้จึงเหมาะกับการใช้งานเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวสารหรือการควบคุมคุณภาพจัดเก็บไม่เหมาะสมกับการใช้เพื่อรับซื้อขายข้าวเปลือกอย่างเด็ดขาด และอีกเครื่องหนึ่งที่ใช้หลักการทำงานแบบประจุไฟฟ้า (Capacitance) จะใช้ปริมาณตัวอย่างข้าวเปลือกมากกว่าแบบแรกหลายเท่าตัวแต่จะเป็นปริมาณที่คงที่ทุกครั้งเพื่อความแม่นยำการวัด โดยตักตัวอย่างแล้วใส่ให้อยู่ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นเพื่อวัดค่า Dielectric ของข้าวเปลือก เครื่องวัดแบบนี้ให้ผลการวัดที่ดีได้ถึง 25 % แต่หลังจากนั้นตั้งแต่ 25% -30% ในความเห็นส่วนตัวพอยอมรับได้แต่ไม่สนิทใจ แต่ช่วงที่สำคัญตั้งแต่ 30% จนถึง 35% ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงการวัดได้ของเครื่องวัดความชื้นข้าวจะเป็นเรื่องของคณิตศาสตร์ล้วนๆ ครับหรือที่เรียก Mathematical Model ล้วนๆ (ตัวแปรที่สำคัญ เช่น ค่าน้ำหนักข้าวเปลือก, ค่าความหนาแน่นข้าวเปลือกระหว่างแผ่นโลหะ, ค่าอุณหภูมิข้าวเปลือก, ค่า Dielectric ของข้าวเปลือก และค่า Capacitance มาตรฐานที่อยู่ภายในตัวเครื่อง เป็นต้น) เพราะอะไรหรือครับ เพราะผู้ผลิตเองเขาก็ไม่สามารถสร้างแบบมาตราข้าวเปลือกให้ถึงค่าความชื้นสูงกว่า 30 % ได้นั่นเองครับ เอากับประเทศผู้เจริญแล้วซิครับนึกว่าเขามีธรรมาภิบาลกันหรือคับ (เขาทำธุรกิจครับไม่ได้ทำการกุศลครับ) เหตุที่ทราบเพราะเราก็สงสัยเหมือนกันว่าข้าวเปลือกความชื้น 35 % ที่วัดได้ในประเทศไทยมันเป็นข้าวเปลือกหรือข้าวต้มกันแน่อันนี้สงสัยจริงๆ ครับ แต่ไม่รู้ทำไมจึงต้อง

ประกาศรับจำนำข้าวเปลือกที่มีค่าความชื้นเกิน 30 % ไม่เข้าใจจริงๆ ครับ ยกเลิกเถอะครับ.....มันวังเวงใจมากครับ แถมเป็นการทำลายจิตสำนึกการผลิตข้าวของประเทศไทยเปล่าๆ นอกเสียจากน้ำท่วมแล้วเก็บข้าวไม่ทันอย่างนี้รับได้ 100% ไม่ว่ากัน

มีเรื่องเล่านอกรอบให้ฟัง.....ในวันหนึ่งได้มีโอกาสเข้าไปร่วมเสนอร่างแผนแม่บทข้าวแห่งชาติมีตัวแทนทั้งภาคเอกชนระดับนายกฯ เชียวนะท่านและภาครัฐผู้เชี่ยวชาญข้าวก็มี เราเสนอให้มีหัวข้อหนึ่งคือ **พัฒนาเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในการซื้อขายข้าวของประเทศ** ปรากฏว่าเค้าบอกว่ามันเป็น .....(ความจำมันสั้นครับ) แล้วขอปรับเป็นส่งเสริมการใช้เครื่องชั่งตวงวัดในการซื้อขายข้าวของประเทศ เรายศเล็กบั้งน้อย เสียงน้อยสู้ไม่ได้ ก็เถียงอยู่ในใจว่าไม่ต้องส่งเสริมให้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดในการซื้อขายข้าวภายในประเทศหรอก ลองไม่ใช้เครื่องชั่งตวงวัดในการตีมูลค่าซื้อขายข้าวดูซิครับ...ก็แค่นั้น ถามว่าทำไมจึงต้องเสนอให้พัฒนาเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในการซื้อขายข้าวของประเทศ เหตุผลแรกคือชั่งตวงวัดมีงบประมาณน้อยในการดำเนินการจัดการ (80-100 ล้านบาทต่อปีทั้งประเทศ) เหตุผลข้อที่สองคือเครื่องวัดความชื้นข้าวที่มีใช้ในปัจจุบันมากกว่า 90 % เป็นของประเทศญี่ปุ่น ส่วนที่เหลือเป็นของคนไทยแต่ไม่มีขีดความสามารถในการแข่งขันได้ พูดง่ายๆ ผู้ผลิตไทยสู้ผู้ผลิตญี่ปุ่นไม่ได้ทั้งทางเทคนิค, เงินทุนและการจัดการ หากขอให้เจ้าของคนไทยไปจับคู่กับเอกชนคนไทยรายอื่นเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ได้รับคำตอบว่าเป็นเรื่องของสิทธิบัตร และฯลฯ ผลตามมานั้นหรือครับ เราจะ**เกิดสภาพความไม่เสถียรภาพของการมีเครื่องชั่งตวงวัดเพื่อใช้ตีมูลค่าสินค้าข้าวเปลือกของประเทศ** (ขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ) เป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกผูกขาดโดย 1 ยี่ห้อไปเสียแล้ว (แต่ พรบ. แข่งขันทางการค้า ยังกำลังตั้งไข่อยู่ครับ) หากไม่ได้รับการสนับสนุนการวิจัยให้มีผู้เล่นหน้าใหม่ของคนไทยเข้ามาหรือสนับสนุนการผลิตเครื่องชั่งตวงวัดที่มีผลต่อเศรษฐกิจและสังคมที่รุนแรงด้วยกองทุนรวมเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร หรือกองทุนจากคณะกรรมการนโยบายข้าวแห่งชาติ (กขช.) ที่ต้องดูแลตั้งแต่ต้นจนจบ

วงจรข้าว มีทั้งผลิตและการตลาด แต่ทำไมไม่คิดว่าตอนผลิตข้าวใช้เงินลงทุนไป 100 บาทแต่เมื่อได้ผลผลิตข้าวแล้วเอาไปขายมันควรได้ 150 บาทแต่มันได้ 130 บาทหรือพอเอาไปขายระบบตลาดบอกว่ามันได้ 90 บาทแต่ขายได้ 80 บาท ตรงนี้คิดกันบ้างหรือเปล่าครับ **ตรงนี้ที่ว่าคือเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ตีมูลค่าสินค้าและบริการจ๊ยละครับท่านเจ้านาย** เอาแบบมันๆว่า “Rice Lost Control” กันดีกำเงินมันตกหล่นในจุดที่ไม่มีใครให้ความสำคัญนอกจากต้องการหาแพะรับบาปนั้นไป (ชั่งตวงวัดดันเป็นแพะไปเสียทุกครั้งซิครับเพราะดันก่อตั้งองค์กรตั้งแต่ พ.ศ. 2466 โน้น) แต่พอเสนอให้พัฒนาเครื่องชั่งตวงวัดดันตกกระป๋อง แต่พอมีนักร้อง (เพลง) ว่า ผมโดนโกงเครื่องชั่ง ผมโดนโกงเครื่องวัดความชื้นข้าว ผมมีเครื่องวัดความชื้นข้าววัดได้ค่าไม่ตรงกันแล้วจะเชื่อเครื่องไหน และ ฯลฯ ทันทีครับ ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดก็จะออกมาเต้นฟ้อนรำ ชั่งตวงวัดไม่กำกับดูแลให้ใกล้ชิด ชั่งตวงวัดไม่รู้จักไปตรวจเครื่องชั่งตวงวัดก่อน ระหว่าง และหลังฤดูรับซื้อ ฯลฯ ครับชั่งตวงวัดไม่มีกำลังคน งบประมาณและเครื่องมืออุปกรณ์ที่เพียงพอครับ มันจะวนกลับมาทำไมไม่ Out Sources ต่อครับ มันจวนะกลับมาทำไมไม่ใช้เทคโนโลยีเพื่อลดกำลังคนต่อครับ มันจะวนกลับมาไม่รู้จักบริหารจัดการที่ดีต่อครับ มันจะวนกลับมาไปเรียกรับเงินทองต่อครับ ฯลฯ หรือแม้แต่เอาเรื่องที่เกิดขึ้นในสมัยอากงอาเตี๋ยก็จะกลับมาให้กังวลในสมัยลูกต่อครับ...5555 แต่หากมีสติยั้งคิดซักนิด คิดเป็นเชิงระบบตัวเลข ว่าภายใต้การใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่มีเป็นจำนวนหลักล้านเครื่องภายในประเทศหากมีเรื่องร้องเรียนหลัก 10 เรื่อง มันอยู่ในช่วงพิสัยความเสี่ยงการบริหารจัดการได้หรือไม่ อย่าบอกว่า ปล่อยคนผิด 100 คนดีกว่าขังคนถูก 1 คนนะครับ เพราะเราจะพูดคุยในคนละเรื่องเดียวกัน (ขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ)

นอกจากนี้ชั่งตวงวัดเราเข้าใจสภาพปัญหาของประเทศได้ดีครับ (แต่อาจรู้สู้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดไม่ได้?) เพราะเราทราบว่าเครื่องชั่งตวงวัดที่อยู่ในมือผู้ประกอบธุรกิจหรือประชาชนมีจำนวนมหาศาล (เมื่อเทียบสัดส่วนจำนวนเครื่องชั่งตวงวัดต่อจำนวนพนักงานเจ้าหน้าที่) และเครื่องชั่งตวงวัดจำนวนหลาย

ชนิดที่ไม่สามารถให้เจ้าของ หรือผู้ครอบครอง**ขับมาส่ง**ให้เจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดตรวจสอบความเที่ยงได้ เช่นเดียวกับที่มักนำชั่งตวงวัดศักดิ์ศรีระดับกองไปเปรียบเทียบศักดิ์ศรีระดับกรมขนส่งทางบกเพราะลักษณะของเนื้องานแตกต่างกันครับ คนสามารถขับรถยนต์ของตัวเองหรือของเจ้านายไปให้สถานที่ตรวจสภาพรถยนต์ก่อนต่อทะเบียนประจำปีได้ แต่เจ้าของหรือผู้ครอบครองเครื่องชั่งตวงวัดไม่สามารถนำเครื่องชั่งตวงวัดบางชนิด (แต่เป็นชนิดที่สร้างความเสียหายและผลกระทบต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศอย่างรุนแรง) มาให้เจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดทำการตรวจสอบความเที่ยงได้ครับ หรือว่าไม่จริงครับก็ลองให้ยกระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Flowmeter System) ประจำสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง Oil, LPG และ CNG ดูซิครับ หรือเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่ใช้ตีมูลค่าการซื้อขายข้าวเปลือก มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ มันจะยิ่งกว่า SuperMan เสียอีกครับ ซึ่งหากท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ว่าชั่งตวงวัดควร Out Sources ให้มาทำงานแทนชั่งตวงวัดแล้วชั่งตวงวัดควบคุม ถามจริงๆ เถอะครับมีการศึกษาถึง “Economic Scale” และความเสี่ยงการทำธุรกิจ การรับผิดชอบทางเพ่ง ระดับใดจึงจะดึงดูดเอกชนให้ทำงานในหน้าที่ Out Sources และจะทำงานในกลุ่มเครื่องชั่งตวงวัดชนิดใด อยากรู้เหมือนกันครับ

การยอมให้ผู้ประกอบการเอกชนสามารถตรวจสภาพรถยนต์ก่อนต่อทะเบียนแทนกรมขนส่งทางบกนั้นมีใครเคยถามหรือไม่ว่าคุณภาพของมลพิษในกรุงเทพมหานครดีขึ้นหรือไม่เพราะนี่jคือ KPI ค่าหนึ่งของงานตรวจสภาพรถยนต์นะครับ พูดแต่เรื่องลดกำลังคนและลดขั้นตอนแต่เราต้องพูดที่สุดของปลายอุโมงค์บ้างซิครับ และถามต่อนะครับว่างานตรวจสอบมิเตอร์รถแท็กซี่ (เป็นงานหนึ่งที่ชั่งตวงวัดสูญเสียไป และซักวันหนึ่งหากเราสามารถตัดสินใจอนาคตเราเองได้ งานนี้ต้องทวงคืนกลับมายังชั่งตวงวัด) ได้มีการ Out Sources กันหรือไม่ ....คำตอบคือว่าไม่มีการ Out Sources ครับ เพราะถ้ามีการ Out Sources มันคงยุ่งมากเนื่องจากเจ้าของเครื่องแท็กซี่มิเตอร์ต้องทำตัว Signal Simulator (ยอมรับจริงๆ ว่าไม่ทราบเรียกชื่อถูกหรือเปล่า) เพื่อใช้ตรวจมิเตอร์ยี่ห้อใครยี่ห้อมัน หรืออาจ

ถึงกับรุ่นใครรุ่นมันย่อยลงไปอีก ให้กับกรมการขนส่งทางบก เมื่อรถแท็กซี่มาตรวจกรมฯ ก็จะจดขนาดยางรถยนต์แล้วให้เจ้าของรถแท็กซี่ดึงเฉพาะตัวมิเตอร์เข้าไปเสียบกับตัวจำลองสัญญาณ (Signal Simulators) ของแต่ละยี่ห้อของใครของมัน ดังนั้นหากให้เอกชนรายใดรายหนึ่งรับไปกระทำแทนกรมฯ เราคิดว่าพวกเอกชนรายอื่นคงไม่ทำตัว Signal Simulators ส่งไปให้เอกชนรายนั้นหรอกครับเพราะกังวลการแข่งขันทางการค้า ซึ่งต้อง Free และ Fair ฮ่ะ งานลักษณะนี้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์คิดว่าน่า Out Source หรือไม่? (ขอให้ท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ชั่งตวงวัดนับหนึ่ง ในเรื่องนี้ไว้ในใจก่อนครับ)

หากจะให้มี Out Sources เพื่อให้เอกชนทำหน้าที่แทนชั่งตวงวัดในการตรวจสอบความเที่ยงเครื่องชั่งตวงวัดที่ตนเองไม่ได้ผลิตและไม่ได้ซ่อม หลักสำคัญคือ “No body work for FREE!” เราต้องแก้ไขกฎหมายอีกแล้วครับ เพื่อกำหนดเพดานราคาเพราะไม่เช่นนั้นก็จะเกิดปัญหาเช่นเดียวกับโรงพยาบาลเอกชน ซึ่งเท่าที่ทราบไม่เห็นมีใครที่รับเป็นเจ้าภาพและใช้อำนาจกระทำการต่อโรงพยาบาลเอกชนในเรื่องราคาค่ารักษาพยาบาลได้เลย แต่ได้ยินแว่วๆ ว่ามันมีสินค้าทดแทนถ้าไม่มีตังก็เข้าโรงพยาบาลหลวงก็แล้วกัน สาธุ ต่อจากนั้นต้องใช้เวลาสร้าง Branding ของเอกชนเอง เมื่อเอกชนออกไปตรวจสอบความเที่ยงเครื่องชั่งตวงวัดประเภทติดตรึงกับที่ซึ่งอยู่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ชั่งตวงวัดจะไปทำการตรวจสอบการทำงานของ Out Sources ได้หรือไม่ มันก็จะเกิดปัญหาซ้อนอยู่ในปัญหาต่อครับ มันแก้ปัญหาไม่จบ

เราก็ไม่ใช่ค้านเสียไปทุกเรื่อง เราก็ยอมรับหลักการเปลี่ยนแปลงของโลก เราก็ยอมรับการ Out Source เช่นกันแต่เราต้องรอบคอบให้สังคมควบคุมตรวจสอบพลวัตรได้ด้วย ดังนั้นการจะมอบหมายให้เอกชนทำงานแทนชั่งตวงวัดมันมีมุมคิดมากมาย การ Out Sources ให้เอกชนทำหน้าที่แทนชั่งตวงวัดในการตรวจสอบความเที่ยงนั้น หากเราตั้งมาตรฐานเพื่อประกันขีดความสามารถและมาตรฐานปฏิบัติงานว่าเอกชนที่สามารถทำงานแทนชั่งตวงวัดได้ต้องได้การรับรอง

มาตรฐานในระดับหน่วยตรวจ ISO 17020 จาก สมอ. รับรองครับเราจะมีเอกชนที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวได้น้อยมาก พวกที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก็จะเปลี่ยนอาชีพเป็นอาชีพนักร้อง (เพลง) และจะร้องเพลงให้เราฟังจนเบื่อแทบอาเจียนครับ การ Out Source ในปัจจุบันชั่งตวงวัดก็ดำเนินการผ่านช่องทาง มาตรา 41 ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 อยู่แล้วครับ ด้วยหวังว่าอย่างนี้ครับหากเอกชนทำไม่ดีให้กลไกการตลาดลงโทษเพราะเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่ตนเองผลิตและซ่อม ต่อจากนั้นใช้กฎหมายลงโทษหากกระทำไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ตาม ม. 41 ยึดยกเลิกใบอนุญาต แต่หากหลุดรอดไปจากนี้ก็ใช้กฎแห่งกรรมครับ (เอาทางพระเข้าขย่ม)

“กฎหมายชั่งตวงวัดยังไม่ครอบคลุมตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงควรมีการปรับปรุง” (อีกวลีหนึ่งของผู้รู้ผู้วิจารณ์) แน่นอนครับ ชั่งตวงวัดอยากปรับปรุงแทบขาดใจแต่เมื่อมันไม่สามารถกุมอำนาจและกำกับทิศทางและนโยบายชั่งตวงวัดของชาติได้เบ็ดเสร็จและเด็ดขาด แถมยังโดนหลักรัฐศาสตร์การปกครอง “Divide and Rule” ของสหราชอาณาจักรอังกฤษใช้ปกครองประเทศเมืองขึ้นอาณานิคมเข้าอย่างนี้มันพังๆอย่างซึมลึก เมื่อถึงเวลาที่ชาติต้องการเมื่อนั้นไม่มีนายทองดีเหลืออยู่รับใช้ชาติแล้วครับท่าน

เรามาต่อเรื่องเครื่องชั่งวัดอัตราส่วนร้อยละของแป้งในหัวมันที่เราใช้อยู่นะครับ มีบางสมัยผู้มีอำนาจสงสัยว่าทำไมช่วงการวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้งของเครื่องชั่งวัดอัตราส่วนร้อยละของแป้งในหัวมันจึงมีช่วงแคบจังแค่ 30 % เอาอย่างนี้ก็แล้วกันขยายช่วงการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งกันเลยดีมั๊ยเพราะเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังมันทะลุขึ้นที่วัดได้ของเครื่อง มันจะยากอะไรเทียบบัญญัติไตรยางศ์แบบ Linearity ได้ถึง 34% ผลปรากฏว่าได้เปอร์เซ็นต์แป้งเพิ่มขึ้นอย่างใจนึกแต่ลองถามดูจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ดูเถอะครับมันเป็นเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังหรือมัน Potato ครับ (ไม่ใช่ชื่อวงดนตรีน่ะน้า) ถามว่าอยากแก้ไข อยากปรับปรุง อยากวิจัย อยากทำให้มันถูกต้อง แต่มันไม่มีงบประมาณ มันไม่มีกำลังคนและเรา

ต้องใช้คนที่มีความรู้หลากหลาย ในงานนี้เราต้องการคนมีความรู้ทางด้านเคมีเพื่อหาเปอร์เซ็นต์แป้งมันมันคุยกันไม่เข้าใจ มันต้องใช้การตัดสินใจทางการเมืองและการยอมรับผิด แต่มันไม่เกิดอะไรขึ้น มันจึงต้องเป็นมัน Potato กันต่อไปครับ

Gewicht von 5kg/5,05kg*) Kartoffeln unter Wasser g	Stärke-werte %	Gewicht von 5kg/5,05kg*) Kartoffeln unter Wasser g	Stärke-werte %	Gewicht von 5kg/5,05kg*) Kartoffeln unter Wasser g	Stärke-werte %
290	10,0	425	16,7	560	23,8
295	10,2	430	17,0	565	24,1
300	10,5	435	17,2	570	24,3
305	10,7	440	17,5	575	24,6
310	11,0	445	17,7	580	24,9
315	11,2	450	18,0	585	25,2
320	11,5	455	18,2	590	25,4
325	11,7	460	18,5	595	25,7
330	11,9	465	18,7	600	26,0
335	12,2	470	19,0	605	26,3
340	12,4	475	19,3	610	26,6
345	12,7	480	19,5	615	26,8
350	12,9	485	19,9	620	27,1
355	13,2	490	20,1	625	27,4
360	13,4	495	20,4	630	27,7
365	13,7	500	20,6	635	28,0
370	13,9	505	20,9	640	28,2
375	14,2	510	21,1	645	28,5
380	14,4	515	21,4	650	28,8
385	14,7	520	21,7	655	29,1
390	14,9	525	21,9	660	29,4
395	15,2	530	22,2	665	29,6
400	15,4	535	22,5	670	29,9
405	15,7	540	22,8	675	30,2
410	15,9	545	23,0	680	30,5
415	16,2	550	23,3	685	30,8
420	16,4	555	23,5	690	31,1

ข้อมูล Arbeitsgemeinschaft Kartoffelforschung e.V. (สมาคมเพื่อการวิจัยมันฝรั่ง), รายงานหมายเลขที่ 17, พฤศจิกายน 2535 เมื่อนำหัวมัน Potato ชั่งในอากาศ 5.05 kg แล้วนำไปชั่งในน้ำ หากเหลือน้ำหนัก 290 g แสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์แป้ง 10 % และหากเหลือน้ำหนัก 690 g แสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์แป้ง 31.1 % (ตารางภาษาเยอรมัน)

แต่เอกสาร COMMISSION REGULATION (EC) No 97/95 of 17 January 1995 - ANNEX II กำหนดเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันฝรั่ง (Potato) ไว้แค่ช่วง 13 % - 23% ดังในรูปข้างล่าง

เรามาคุยเรื่องมันๆ กันต่อไปครับถือว่าจะบ่นหรือเล่าก็ว่าได้ ได้ทราบว่าในการประชุมคณะกรรมการนโยบายปาล์มน้ำมันแห่งชาติในสมัยนานมาแล้ว คงมีเรื่องราคารับซื้อเมล็ดปาล์มดิบและมีการถกกัน แต่ไม่ทราบว่าท่านใดแจ้งในที่ประชุมว่ามาเลเซียมีเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มน้ำมันเพื่อใช้ตีมูลค่า 17 % กี่บาท ..... เลยโดนผู้บังคับบัญชาให้ไปดูไปศึกษา สอบถามไปยังทูตพาณิชย์ไทยประจำมาเลเซียได้ให้ความกรุณาบอกว่าไม่มี ถามไปยังภาคตะวันออกก็ไม่มี ถามไปทางภาคใต้ก็ได้รับคำตอบว่าไม่มี ถามไปที่ศูนย์วิจัยปาล์มจังหวัดสุราษฎร์ธานีก็ไม่มีไม่เคยพบเครื่องที่ว่า รู้อย่างเดียวว่าการหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มน้ำมันต้องใช้วิธีการทางเคมี ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: ทะลายปาล์มน้ำมันตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 กำหนดให้วิธีวิเคราะห์ทะลายปาล์มน้ำมัน ในการหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันซึ่งสกัดจากผลปาล์มน้ำมันโดยไม่รวมเนื้อในเมล็ดปาล์ม ใช้วิธีวิเคราะห์ตาม American Oil Chemists Society (AOCS) Official Method Ac-3-44 โดยใช้หลักการ Solvent Extraction (Soxtec System) เริ่มขั้นตอนทำด้วยการหาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มดิบในตอนเช้าวันนี้ทราบผลเช้าวันพรุ่งนี้ครับ (ไม่ใช่เช้าชาติหน้านะครับ) ถามไปที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ทางภาคใต้ได้รับแจ้งว่ากำลังพัฒนาเลยประสานกลับไปสอบถามไปว่าน่าจับคู่พันธมิตรเอกชนเพื่อพัฒนา

Peso bajo agua de 5 050 g de patatas (en gramos)	Tenor en fécula de patatas (en porcentaje)	Cantidad de patatas necesarias para la fabricación de 1 000 kg de fécula (en kilogramos)	Precio mínimo a percibir por los productores para 1 000 kg de patatas (en ecus)	Prima a percibir por el fabricante de fécula para 1 000 kg de patatas (en ecus)	Pago compensatorio que debe percibir el productor por 1 000 kg de patatas (en ecus)
Vægt under vand af 5 050 g kartofler (g)	Kartoflernes stivelsesindhold (vægtprocent)	Kartoffelmængde, der medgår til fremstilling af 1 000 kg stivelse (kg)	Producentens mindstepris pr. 1 000 kg kartofler (ECU)	Præmie at betale kartoffelstivelsesfabrikanten pr. 1 000 kg kartofler (ECU)	Udligningsbeløb, som producenten modtager for 1 000 kg kartofler (ECU)
Unterwassergewicht von 5 050 g Kartoffeln (in Gramm)	Stärkegehalt der Kartoffeln (in Prozent)	Zur Erzeugung von 1 000 kg Kartoffelstärke nötige Kartoffelmenge (in Kilogramm)	Dem Erzeuger für 1 000 kg Kartoffeln zu zahlender Mindestpreis (in ECU)	Dem Stärkeerzeuger für 1 000 kg Kartoffeln zu zahlende Prämie (in ECU)	Dem Erzeuger für 1 000 kg Kartoffeln zu zahlende Ausgleichszahlung (in ECU)
Βάρος υπό το ύδωρ 5 050 g πατατών (σε γραμμάρια)	Περιεκτικότητα σε άμυλο των πατατών (%)	Ποσότητα πατατών απαραίτητη για παραγωγή 1 000 kg αμύλου (σε χιλιόγραμμα)	Ελάχιστη τιμή προς είσπραξη από τον παραγωγό για 1 000 kg πατατών (σε Ecu)	Πριμοδότηση προς πληρωμή στον παραγωγό για 1 000 kg πατατών (σε Ecu)	Εξισωτική πληρωμή που καταβάλλεται στον παραγωγό για 1 000 kg πατατών (σε Ecu)
Underwater weight of 5 050 g of potatoes (grams)	Starch content of potatoes (%)	Quantity of potatoes for the manufacture of 1 000 kg of starch (kg)	Minimum price to be paid to the potato producer per 1 000 kg of potatoes (ECU)	Premium to be paid to the starch producer per 1 000 kg of potatoes (ECU)	Compensatory payment to be paid to the producer per 1 000 kg potatoes (ECU)
Poids sous l'eau de 5 050 g de pommes de terre (en grammes)	Teneur en fécule de la pomme de terre (en pourcentage)	Quantité de pommes de terre nécessaire à la fabrication de 1 000 kg de fécule (en kilogrammes)	Prix minimal à percevoir par le producteur pour 1 000 kg de pommes de terre (en écus)	Prime à percevoir par le féculier pour 1 000 kg de pommes de terre (en écus)	Paiement compensatoire à percevoir par le producteur pour 1 000 kg de pommes de terre (en écus)
Peso sotto l'acqua di 5 050 g di patate (in grammi)	Tenore in fecola delle patate (in %)	Quantità di patate necessaria alla fabbricazione di 1 000 kg di fecola (in kg)	Prezzo minimo da percepire dal produttore per 1 000 kg di patate (in ecu)	Premio da percepire dal fabbricante di fecola per 1 000 kg di patate (in ecu)	Pagamento compensativo al produttore per 1 000 kg di patate (in ecu)
Onderwatergewicht van 5 050 g aardappelen (in g)	Zetmeelgehalte van de aardappelen (in %)	Hoeveelheid aardappelen benodigd voor de vervaardiging van 1 000 kg zetmeel (in kg)	Minimaal door de producent te ontvangen prijs per 1 000 kg aardappelen (in ecu)	Door de zetmeelproducent te ontvangen premie per 1 000 kg aardappelen (in ecu)	Aan de teler verschuldigd compensatiebedrag voor 1 000 kg aardappelen (in ecu)
Peso debaixo de água de 5 050 g de batata (em gramas)	Teor de fécula de batata (em percentagem)	Quantidade de batata necessária ao fabrico de 1 000 kg de fécula (em quilogramas)	Preço mínimo a cobrar pelos produtores para 1 000 kg de batata (em ecus)	Subsídio a cobrar pelo produtor de fécula por 1 000 kg de batata (em ecus)	Pagamento compensatório a cobrar pelo produtor relativamente a 1 000 kg de batata (em ecus)
5 050 g perunoita vedenalainen paino (grammoina)	Perunoiden tärkkelyspitoisuus (prosentteina)	1 000 tärkkelyskilon valmistukseen tarvittava perunamäärä (kilogrammoina)	Tuottajalle 1 000 kg:sta perunoita maksettava vähimmäishinta (ecuina)	Tärkkelyksentuottajalle 1 000 kg:sta perunoita maksettava palkkio (ecuina)	Tuottajalle 1 000 kg:sta perunoita maksettava tasausmaksu (ecuina)
Vikt under vatten av 5 050 g potatis (g)	Potatisens stärkelseinnehåll (%)	Potatiskvantitet för framställning av 1 000 kg stärkelse (kg)	Minimipris att betala till potatisproducenten för 1 000 kg potatis (ecu)	Bidrag att betala till stärkelseproducenten för 1 000 kg potatis (ecu)	Kompensationsbetalning till producenten för 1 000 kg potatis (ecu)
1	2	3	4	5	6
352	13,0	6 533	32,11	3,405	13,31
353	13,1	6 509	32,23	3,417	13,36
354	13,1	6 486	32,34	3,429	13,40
355	13,2	6 463	32,46	3,441	13,45
356	13,2	6 439	32,58	3,453	13,50
357	13,3	6 416	32,70	3,466	13,55
358	13,3	6 393	32,81	3,478	13,60
359	13,4	6 369	32,94	3,490	13,65
360	13,4	6 346	33,06	3,502	13,70
361	13,5	6 322	33,18	3,526	13,75
362	13,5	6 299	33,30	3,538	13,80
363	13,6	6 276	33,43	3,550	13,85

.....

1	2	3	4	5	6
532,4	22,3	4 112	51,02	5,410	21,14
533	22,4	4 111	51,03	5,410	21,15
534	22,4	4 108	51,07	5,422	21,16
534,2	22,4	4 108	51,07	5,422	21,16
535	22,5	4 103	51,13	5,422	21,19
536	22,5	4 098	51,19	5,434	21,22
537	22,6	4 093	51,25	5,434	21,24
537,8	22,6	4 089	51,30	5,446	21,26
538	22,7	4 088	51,32	5,446	21,27
539	22,7	4 083	51,38	5,446	21,29
539,6	22,7	4 080	51,42	5,458	21,31
540	22,8	4 078	51,44	5,458	21,32
541	22,8	4 076	51,47	5,458	21,33
541,4	22,8	4 075	51,48	5,458	21,33
542	22,9	4 072	51,52	5,470	21,35
543	22,9	4 066	51,59	5,470	21,38
543,2	22,9	4 066	51,59	5,470	21,38
544	23,0	4 061	51,66	5,482	21,41
545 and more	23,0	4 056	51,72	5,482	21,43'

เป็นเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มน้ำมันในเชิงพาณิชย์ได้รับคำตอบเรื่องสิทธิบัตรและไม่พร้อมเช่นเดียวกับเครื่องวัดความชื้นข้าว....จบข่าวครับ สอบถามว่าที่คณะกรรมการนโยบายปาล์มน้ำมันแห่งชาติมีกองทุนให้เพื่อการวิจัยพัฒนาใดๆ หรือไม่ คำตอบคือไม่มี....จบข่าวสั้นต่อครับ ส่วน “ให้ชั่งตวงวัดพัฒนาไปเองซิ ชั่งตวงวัดเก่งอยู่แล้ว” คำตอบคือ ชั่งตวงวัดไม่มีกำลังคน ในงานนี้เราต้องการคนมีความรู้ทางด้านไฟฟ้าและอิเลคทรอนิคส์เพราะเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, คนมีความรู้ทางเคมีเพราะต้องวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มตาม American Oil Chemists Society (AOCS) Official Method Ac-3-44 ซึ่งสังคมโลกเขายอมรับกัน และเราต้องการฐานข้อมูลปาล์มน้ำมันจากศูนย์วิจัยปาล์มฯ กรมวิชาการการเกษตร เครื่องชั่งตวงวัด 1 ชนิดมันใช้คนที่มีความรู้หลายสาขาและประสานงานหลายหน่วยงาน และที่สำคัญหลวงอย่าไปคิดประดิษฐ์เครื่องชั่งตวงวัดเองเลยครับ ปล่อยให้เอกชนดำเนินการไปเถอะแต่หลวงให้การสนับสนุนดีกว่า ไม่เช่นนั้นมันจะสร้างปัญหาซ้อนอยู่ในปัญหา ถ้าเอกชนสามารถทำได้และมองเห็นจุดคุ้มทุนทางเศรษฐกิจเขาก็ทำหากไม่คุ้มเขาก็ไม่ทำ เขาอาจ....จิ๊กตังเมีย....โป้ง.....รวย แทน

ก็มาถึงรอบเครื่องวัดความหวานของอ้อย ชั่งตวงวัดไม่สามารถทำสารเคมีที่เรียกว่า Certify Reference Material เพื่ออะไรหรือครับ ก็เพื่อเป็นแบบมาตราเพื่อใช้ตรวจสอบความเที่ยงของเครื่องวัดความหวานอ้อย (Brix Refractometer) แต่น่าภูมิใจภายใต้ความกดดันหน่วยงานของหลวงของประเทศสามารถทำเองได้และดูแลเครื่องวัดความหวานอ้อยได้แล้ว ชั่งตวงวัดอย่างผมเดินคอตกท้อแท้ครับเศร้าใจ เป็นหนึ่งเรื่องในหลายเรื่องที่ชั่งตวงวัดเราไม่สามารถช่วยอะไรใครได้แม้แต่ตัวเอง แต่ถ้าหากสามารถกำหนดชีวิตนโยบายชั่งตวงวัดของชาติได้ เครื่องชั่งตวงวัดนี้ก็ต้องกลับมาอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของชั่งตวงวัดแต่จะอยู่ในรูปแบบใดหรืออย่างไรก็ว่าไปอาจให้หน่วยงานรัฐที่ทำหน้าที่อยู่ในปัจจุบันยังคงดูแลต่อไปแต่ต้องอยู่ภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด แต่ก็ขอฝันเพราะนอนหลับอยู่ตกใจตื่นขึ้นมาก็ต้องท่องตามท่านผู้รู้และผู้วิจารณ์ว่า “ลดจำนวนคนนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้” “ถ่ายโอนงานให้องค์การปกครองท้องถิ่น” “ตั้ง ปปช ท้องถิ่น”...ฯลฯ

งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ภายใต้การบริหารของกระทรวงพาณิชย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ไม่ขอว่าร้ายใครเราก็หนึ่งในนั้นด้วยในปัจจุบัน) ไม่เพียง ไม่ขยับขยายงานไม่ทันความต้องการของกิจกรรมการค้า (Trade) ของประเทศมานานแล้ว แต่ยังไม่สามารถขยับขยายในด้านการใช้เครื่องชั่งตวงวัดเพื่อการบังคับใช้กฎหมาย (Official Controls), ด้านการใช้เครื่องชั่งตวงวัดเพื่อสุขภาพ (Health), ด้านการใช้เครื่องชั่งตวงวัดเพื่อความปลอดภัย (Safety) และด้านการใช้เครื่องชั่งตวงวัดเพื่อสิ่งแวดล้อม (Environment) ตามนิยามงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ของ OIML

“Legal Metrology is the entirety of the legislative, administrative and technical procedures established by, or by reference to public authorities, and implemented on their behalf

in order to specify and to ensure, in a regulatory or contractual manner, the appropriate quality and credibility of measurements related to official controls, trade, health, safety and the environment."

อาจจะเป็นเพราะไม่เข้าใจงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) จึงไม่เข้าใจว่าต้องบริหารงานกันอย่างไร หรืออาจอยู่กับชั่งตวงวัดเช่นเดียวกับการหายใจเข้าออกอยู่ทุกวันจึงไม่เห็นความสำคัญ แต่จะเห็นความสำคัญเมื่ออากาศเป็นพิษ ฉันใดก็ฉันนั้นเมื่อสำนักงานกลางชั่งตวงวัดซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบเพียงหน่วยงานเดียวในประเทศที่ดูแลงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายอ่อนแอจนยากพื้นฟูถึงตอนนั้นงานชั่งตวงวัดของราชอาณาจักรไทยก็จะไม่สามารถรักษาและคุ้มครองผลประโยชน์ของประชาชนคนไทยในสังคมโลกได้ .....เจอกันเมื่อชาติต้องการกระนั้นหรือผู้รู้และผู้วิจารณ์ (นับเรื่องไว้ในใจได้กี่เรื่องละท่าน.....)

จึงขอเรียนชี้แจงผู้รู้และผู้วิจารณ์ เพื่อกราบกรุณาเข้าใจ

Bernoulli Equation
Continuity Equation (conservation of mass)
Reynolds Number

เราจะไม่ลงลึกในเรื่องพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) เพียงแต่เหลือบมองแบบพอนำมาใช้ได้ส่วนใครอยากต้องการศึกษาให้ลึกขึ้นและเข้าใจมากขึ้นก็ยินดีด้วยครับ เอาเพียงเนื้อหาระดับแค่เหลือบมองคนเขียนก็ใจหวั่นๆอยู่เหมือนกันไม่รู้จะเหลือบมองหรือเหลือบไปเห็นนอนหลับกันแน่ เหตุที่ต้องพูดถึง Bernoulli Equation, Continuity Equation และ Reynold Number เพราะในงานชั่งตวงวัดที่เราต้องเกี่ยวข้องกับการไหลในระบบท่อซึ่งได้แก่ มาตรวัดปริมาตรของเหลวต่างๆ เช่น มาตรวัดตามสถานีบริการน้ำมัน มาตรวัดจ่ายน้ำมันแบบขายส่ง (Truck Loading) และมาตรวัดน้ำประปา เป็นต้น โดยแต่ละมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ใช้ในการตีมูลค่าการซื้อขายสินค้าและบริการจะมีหลักการทำงานที่ได้รับความเชื่อถือและยอมรับหลักๆ อยู่ด้วย 2 ชนิดคือ Positive Displacement Flowmeter และ Turbine Flowmeter แต่ต้องเข้าใจให้ดีว่าเราจะเกี่ยวข้องเฉพาะของเหลวซึ่งต้องเป็นของเหลวสถานะเดียวเท่านั้นและเป็นของเหลวที่ไม่มีการบีบอัดตัว (Incompressible Fluid) หรือถ้ามีถือว่ามีน้อยมาก อีกประเด็นที่อยากจะพูดกันไว้เสียก่อนก็คือ ขอบเขตของคำว่า “ของไหล (Fluid)” นั้นหมายถึงรวมกันทั้ง “ของเหลว (Liquid)” และ “ก๊าซ (Gas)” ที่อยู่ในรูปของ “ของไหลสถานะเดียว (Single Phase Fluid)” ต้องไม่อยู่ในรูปผสมกันระหว่างของเหลวและก๊าซซึ่งจะเรียกว่า “ของไหล 2 สถานะ (2-Phase Fluid)” แต่เพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานมาตรวัดปริมาตรของเหลวภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 (เดิม พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด

พ.ศ. 2466) ในที่นี้จึงใช้คำว่า “ของเหลว (Liquid)” เพียงอย่างเดียวก็แล้วกัน แต่ก็ไม่ได้เป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้กับมาตรวัดมวล เช่น Coriolis Mass Flowmeter ซึ่งก็ใช้ได้เช่นกัน พูดไปก็ ง ง ดี เริ่มกันเลย

ก. สมการแบร์นูลลี (Bernoulli’s Equation)

สมการแบร์นูลลีเป็นสมการที่สำคัญที่สุดสมการหนึ่งในการศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ของการไหลสำหรับของเหลวซึ่งไหลภายในท่อ แต่เหมือนโดยปกติทั่วไปการใช้สมการดังกล่าวก็ต้องมีขอบเขตข้อจำกัดไม่สามารถใช้ได้ครอบจักรวาลอันนี้ต้องรออัลเบิร์ต ไอน์สไตน์คนที่จะเกิดใหม่ต่อไปมาสานงานต่อเพื่อหาสมการครอบจักรวาล ข้อจำกัดการใช้สมการแบร์นูลลี คือ

- ใช้กับของเหลวยุบตัวไม่ได้ (Incompressible Liquid),
- ของเหลวในระบบท่อมีค่าความหนาแน่นคงที่
- ของเหลวไหลอย่างคงที่สม่ำเสมอ (Steady Flow),
- ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บนเส้นการไหล (Streamline) เดียวกันซึ่งเส้นการไหลนี้คือเส้นที่แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามการไหล เมื่อรูปแบบการไหลที่มีเส้นการไหลประกอบกันจำนวนมากนี้ เรียกว่า “สนามการไหล” (ดูรูปที่ 1)
- ไม่มีการสูญเสียพลังงาน ณ.ตำแหน่งใดๆภายในท่อขณะที่มีการไหลของของเหลวนั้น เช่น ไม่มีความเสียดทานระหว่างท่อกับของเหลว นั่นคือผลรวมของ Velocity Head, Pressure Head และ Elevation Head จะมีค่าคงที่ตลอดตามแนวเส้นทางการไหล (Stream Line) ภายในท่อ

ดังนั้นพลังงานที่จุดใดๆในระบบมีความสัมพันธ์ ณ.ระนาบอ้างอิงระนาบหนึ่งคือ

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z \qquad (1)$$

เมื่อ H = พลังงาน (Total Head) ของระบบ; N. m/N หรือ m

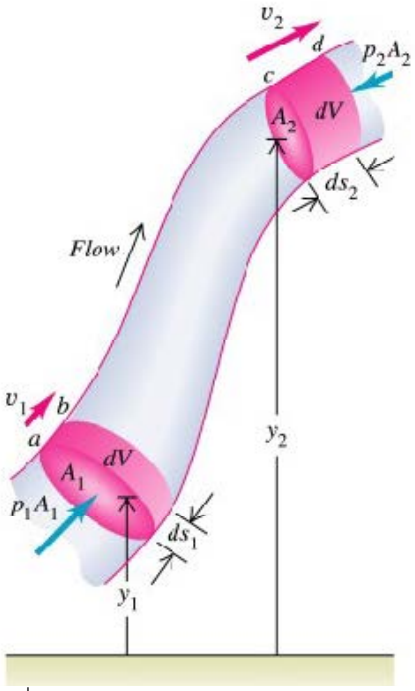
V = ความเร็วการไหลของเหลว; m/s

g = ความเร่งโน้มถ่วงของโลก; 9.807 m/s^2

P = ความดันของเหลวในระบบท่อ; N/m^2

γ = น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) ของของเหลว; N/m^3

Z = ระดับสูงกว่า (+) หรือต่ำกว่า (-) ระนาบที่เลือกไว้; m



รูปที่ 1 พลังงานที่จุดใดๆในระบบของเหลวภายในท่อตามสมการแบร์นูลลี

เรามาทำความรู้จักกับรูปแบบของพลังงานของของเหลวในระบบท่อที่จุดใดๆ ภายใต้สมการแบร์นูลลี คือ

1. Velocity Head คือพลังงานจลน์ (Kinematic Energy); K ในมวลของของเหลวที่ไหลอยู่

$$K = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{W}{g}\right)V^2 \quad (2)$$

หารตลอดด้วย W (N)

$$\frac{K}{W} = \frac{1}{2}\left(\frac{W}{g}\right)V^2\frac{1}{W} = \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

นั้นคือพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (kinetic energy per unit weight of liquid)

2. Pressure Head หรือ Flow Work ในของเหลวคือ P/γ นั้นคือของเหลวที่มีความดันและสามารถทำงานหรือให้งานออกมาได้ เช่น งานของการเคลื่อนที่ลูกสูบซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A เคลื่อนที่ด้วยช่วงชัก (Stroke) ยาว L ทำให้ปริมาณของเหลวที่ต้องการให้เคลื่อนลูกสูบเคลื่อนที่ได้ครบรอบหนึ่งรอบคือ γAL ดังนั้นงานจึงมีค่าเท่ากับแรงคูณระยะทางที่ลูกสูบเคลื่อนที่

$$\text{Work} = \text{Force} \times \text{Stroke} \quad (4)$$

$$= PA \times L$$

หารตลอดด้วย γAL (N)

$$\frac{\text{Work}}{\gamma AL} = \frac{PAL}{\gamma AL} = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad (5)$$

ดังนั้นงานต่อหน่วยน้ำหนัก (Work per Unit Weight) เท่ากับ P/γ เมื่อ $\gamma = \rho g$

3. Elevation Head คือ ระดับพลังงาน (Elevation Energy) หรือพลังงานศักย์ (Potential Energy) ภายในของเหลวซึ่งเป็นระยะในแนวตั้งฉากจากตำแหน่งระนาบระดับอ้างอิงถึงระนาบแนวราบระนาบหนึ่ง ดังนั้นของเหลวซึ่งอยู่เหนือระนาบระดับอ้างอิงจะมีค่าพลังงานศักย์เป็นบวกเพราะของเหลวดังกล่าวสามารถไหลตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยระยะ Z หรือในอีกนัยหนึ่งก็คือพลังงานที่เราต้องการในรูปของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) หรือ Vertical Head ที่มีค่าเท่ากับ Z หรืองานที่ยกน้ำหนักของเหลวที่มีน้ำหนักเท่ากับ W (N) ให้สูงขึ้นจากระนาบอ้างอิง Z (m.) จึงเท่ากับ

$$\text{Work} = WZ \tag{6}$$

หารตลอดด้วย W (N)

$$\frac{\text{Work}}{W} = \frac{WZ}{W} = Z \tag{7}$$

นั่นคืองานต่อหน่วยน้ำหนักของเหลวในการยกน้ำหนัก W ให้สูงเหนือกว่าระดับอ้างอิง Z มีค่าเท่ากับ Z

สมการ Bernoulli's Equation อาจพบเห็นอยู่ใน 2 รูปแบบคือ

ก. สมการ Bernoulli's Equation ในรูปของ Density Energy ในหน่วยของ **"พลังงานต่อน้ำหนัก"** โดยลดรูปอยู่ในหน่วย **"เมตร"** เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z \tag{8}$$

พิจารณาหน่วยของ "พลังงานต่อน้ำหนัก" ดังในก่อนหน้านี้ และลดรูปในหน่วยเป็น "เมตร" จากการวิเคราะห์หน่วยได้ว่า

$$\frac{P}{\gamma} \quad \Rightarrow \frac{Pa}{\frac{kg}{m^3}\frac{m}{s^2}} = \frac{N}{m^2}\frac{m^3}{kg}\frac{s^2}{m} = kg\frac{m}{s^2}\frac{1}{m^2}\frac{m^3}{kg}\frac{s^2}{m} = m$$

$$\frac{V^2}{2g} \quad \Rightarrow \frac{m^2}{s^2}\frac{s^2}{m} = m$$

$$Z \quad \Rightarrow m$$

ข. สมการ Bernoulli's Equation ในรูปของ Density Energy ในหน่วยของ **"พลังงานต่อปริมาตร"**

$$H = P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g Z \tag{9}$$

หรือ

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V_1^2 + \rho_1 g Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 V_2^2 + \rho_2 g Z_2 \qquad (10)$$

พิจารณาได้ดังนี้คือ

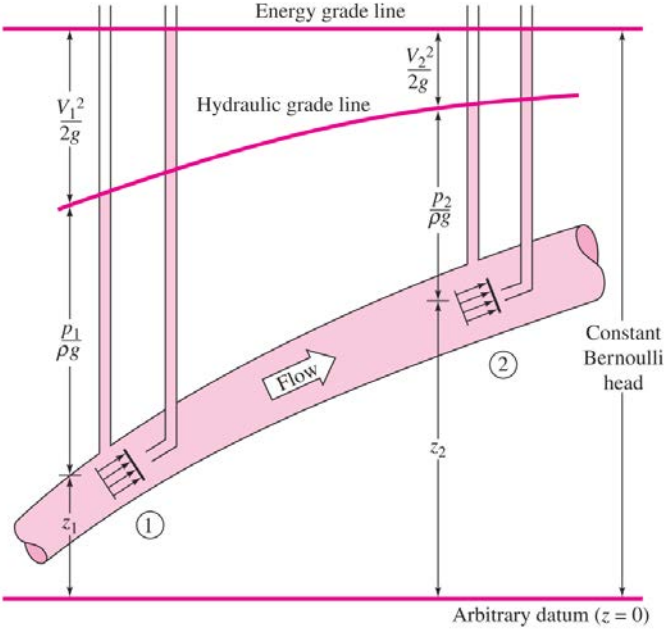
$$P \quad \Rightarrow Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{N \cdot m}{m^3} = \frac{J}{m^3}$$

$$\frac{1}{2}\rho V^2 \quad \Rightarrow \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \frac{kg}{m} \cdot \frac{1}{s^2} = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{m^3} = \frac{N \cdot m}{m^3} = \frac{J}{m^3}$$

$$\rho g Z \quad \Rightarrow \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{m}{m^3} = \frac{N \cdot m}{m^3} = \frac{J}{m^3}$$

เมื่อ

$$J = N \cdot m = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$$



รูปที่ 2 ระดับพลังงานของเหลว (Hydraulic and energy grade lines) ภายในท่อเมื่อเป็นการไหลที่มีแรงเสียดทาน

สรุปใจความสมการ Bernoulli's Equation ในสมการ (9) ได้ว่า ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่มีของเหลวไหลผ่านมีค่าคงที่เสมอ

จากสมการของแบร์นูลลี ถ้าระดับระนาบคงที่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง เมื่อของเหลวภายในท่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันของของเหลวภายในระบบท่อลดลง ในทางกลับกันเมื่อของเหลวภายในท่อมีความเร็วลดลงก็ส่งผลให้ความดันของของเหลวภายในระบบท่อเพิ่มขึ้น ข้อสรุปนี้เรียกว่า "หลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle)" แต่มีข้อแม้ว่าของเหลวนั้นต้องเป็นของเหลวในอุดมคติ (an Ideal Fluid)

ของเหลวในอุดมคติ (an Ideal Fluid) มีบุคลิกหน้าตาเป็นอย่างไร ก็คงมีหน้าตาดังต่อไปนี้ คือ

1. ของเหลวที่ไม่สามารถบีบอัดตัวได้ (Incompressible fluid) นั้นหมายถึง ในทุกๆส่วนของของเหลวมีความหนาแน่นคงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความดันที่มากระทำ

2. มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึง ความเร็วของทุกอนุภาค ณ ตำแหน่งบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกันในของเหลวมีค่าคงตัว (the velocity of the fluid at each point is constant in time.) หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือ ไม่มีความเสียดทานภายในเนื้อของเหลวขณะที่มีการไหลสม่ำเสมอ

3. เป็นการไหลโดยไม่หมุน (Irrotational flow) คือ ในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของเหลวจะไม่มีอนุภาคของของเหลวเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ เลย (the density is constant Irrotational)

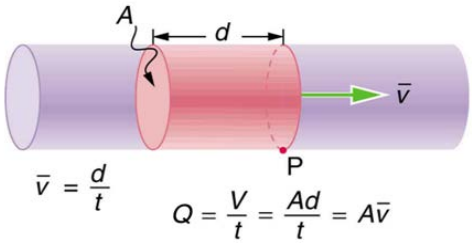
4. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (Nonviscous flow) ไม่มีแรงต้านใดๆภายในเนื้อของเหลวมากระทำต่ออนุภาคของเหลว (the flow is smooth, no turbulence Nonviscous)

ดูไปดูมามันซักลงรายละเอียด เอาเป็นว่าเรื่องสมการแบร์นูลลีพักไว้ก่อน เราจะมาดูเรื่องต่อไปกัน

ข. สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

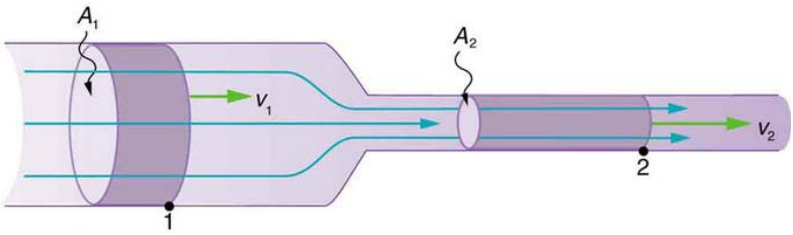
สมการความต่อเนื่องเป็นสมการที่ใช้ศึกษาการไหลของของเหลวภายในท่อ (ดูรูปที่ 3) โดยปกติแล้วในการหาอัตราการไหลของเหลวภายในท่อสามารถคำนวณด้วยสมการ

$$Q = A\bar{V} \tag{11}$$



รูปที่ 3 อัตราการไหลของเหลวภายในท่อ

ดังนั้นการไหลของของเหลวในท่อที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอไหลจากปลาย [1] ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A1 ไปยังปลาย [2] ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A2 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 สมการความต่อเนื่อง

เนื่องจากของเหลวไม่สามารถไหลผ่านผนังท่อซึ่งเป็นระบบปิดดังนั้นมวลของของเหลวที่ผ่านแต่ละส่วนของท่อในเวลาเดียวกันจึงมีค่าอัตราการไหลมวลเท่ากัน

$$\rho A v = \text{Constant} \quad (12)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของเหลว; kg/m^3

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อตั้งฉากกับเส้นการไหล (Streamline); m^2

v = ความเร็วของเหลว; m/s

จะได้ว่า

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (13)$$

แต่เนื่องจากเป็นของเหลวชนิดเดียวกันดังนั้น $\rho_1 = \rho_2$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (14)$$

นั้นคือ $$Av = \text{Constant} \quad (15)$$

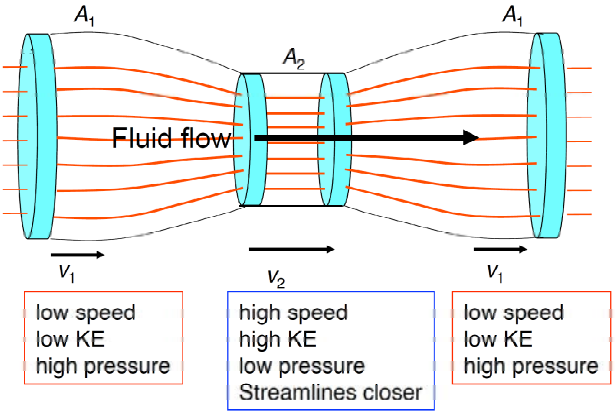
เราเรียกสมการ (15) ว่า สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) ซึ่งสรุปใจความว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของเหลวอุดมคติไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อการไหลจะมีค่าคงที่ นั่นคือ

$$Q_1 = Q_2 \quad (16)$$

เมื่อรู้หลักการทางทฤษฎีเป็นที่เรียบร้อยแล้วเราจะนำความรู้ความเข้าใจมาใช้งานกันในทางปฏิบัติซึ่งเอาเป็นเพียงหลักการและใช้วิเคราะห์ปัญหาในภาพรวม ไม่ต้องถึงกับคำนวณละเอียดกันให้ได้ตัวเลขกันเลย ซึ่งหากต้องทำการคำนวณกันลงรายละเอียดยังต้องศึกษาและใช้ข้อมูลเยอะๆ กว่านี้ อีกทั้งก็ไม่รู้จะทำไปทำไมเอาให้เจ้าของระบบเค้าคำนวณเอาเองก็แล้วกัน แต่หากใครจะศึกษาให้ลึกลงไปอีกก็ตามอัธยาศัย เรามาดูรูปที่ 5 จะเป็นบทสรุปที่เข้าท่าเข้าอู่ได้ดีทีเดียว

1. ของเหลวไหลผ่านท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D_1 (ขนาดใหญ่) ด้วยความเร็ว v_1 (ความเร็วต่ำ) และที่ระนาบเดียวกันวัดความดันได้ P_1 (ความดันสูง) เมื่อผ่านท่อข้อลดแล้วเข้าสู่ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D_2 (ขนาดเล็กลง) ทำให้ของเหลวไหลด้วยความเร็ว v_2 (ความเร็วสูงขึ้น) และที่ระนาบเดียวกันวัดความดันได้ P_2 (ความดันลดลง) ดูรูปที่ 6 อีกทั้งยังพบว่ามีเส้นการไหล (Streamline) ชิด

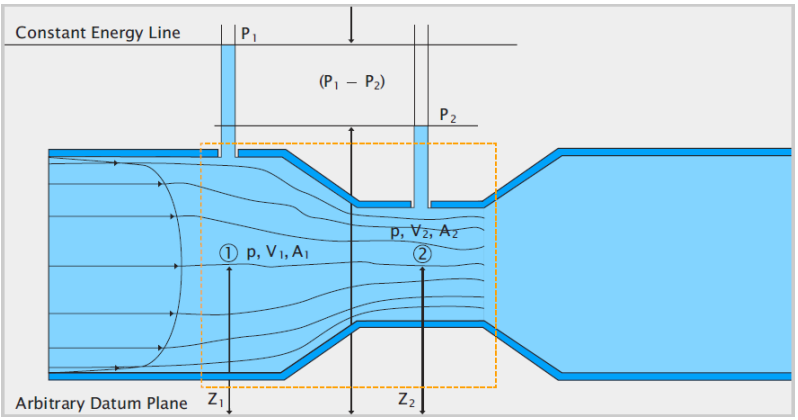
กันมากขึ้น จากนั้นเมื่อของเหลวไหลออกไปยังท่อข้อลดกลับด้านจนทำหน้าที่เป็นท่อข้อขยายเข้าสู่ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเดิมคือ D_1 จะพบว่าของเหลวจะไหลด้วยความเร็ว v_1 (ความเร็วต่ำ) และที่ระนาบเดียวกันวัดความดันได้ P_1 (ความดันสูง) เช่นเดิมอีกครั้งหนึ่ง ภายใต้ข้อสมมุติฐานว่าของเหลวเป็นของเหลวในอุดมคติ (Ideal Fluid) และใช้สมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation) อธิบายปรากฏการณ์นี้



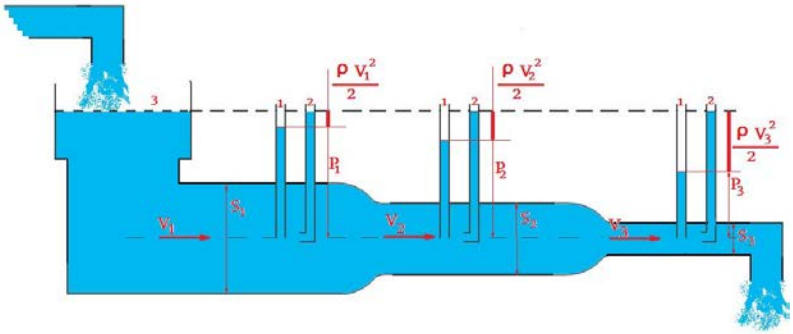
รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้และการอธิบายปรากฏการณ์ของเหลวภายในท่อ

2. เรายังพบว่าอัตราการไหลของเหลวภายในท่อ ตำแหน่งที่ 1 ณ ท่อก่อนผ่านท่อข้อลดไปยังท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงจากนั้นผ่านท่อขยายไปยังท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเดิมหรือแม้จะใหญ่กว่าเดิมเราจะพบว่าต้องมีอัตราการไหลทั้ง 3 ตำแหน่งเท่ากันด้วย ภายใต้ข้อสมมุติฐานว่าของเหลวเป็นของเหลวในอุดมคติ (Ideal Fluid) และใช้สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) ในกรณีที่ขนาดท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดลดหลั่นกันลงไปอัตราการไหลของแต่ละจุดที่ระนาบเดียวกันจะมีค่าอัตราการไหลเท่ากันด้วยเช่นกัน (เฉพาะในทางทฤษฎี) แต่ในทางปฏิบัติอาจแตกต่างกันบางขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่อขณะของเหลวไหลผ่านไปนั้นเอง และเทคนิคการลดขนาดท่อให้

เล็กลง (ลดพื้นที่หน้าตัด A เล็กลง) เมื่อเดินท่อในระยะทางไกล เช่น ในกรณีการเดินท่อประปาเพื่อจ่ายน้ำเข้าครัวเรือนที่อยู่อาศัย นั้นก็เพื่อต้องการให้น้ำไหลเร็วขึ้น (เพิ่ม V ให้สูงขึ้น) แต่ผลลัพธ์ก็ยังคงมีอัตราการไหลคงที่ตลอดความยาวท่อประปานั่นเอง (Q คงที่) แต่ในทางทฤษฎีเท่านั้น อย่าลืม (ดูรูปที่ 7)



รูปที่ 6 พิจารณาในเทอมของความดันภายในท่อ



รูปที่ 7 อัตราการไหลเท่ากันทั้ง 3 จุด (ที่ระนาบเดียวกัน)

ค. Reynolds Number

Reynolds Number เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหลภายในท่อว่ามีสถานะรูปแบบการไหลของเหลวเป็นอย่างไร เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย (non-dimensional) หาได้จากสมการดังนี้

$$\begin{aligned} Re_D &= \frac{\rho v D}{\mu} \\ &= \frac{vD}{\nu} \end{aligned} \qquad (17)$$

เมื่อ Re_D = Reynold's Number ของท่อ (Based on pipe diameter)

ρ = ความหนาแน่น, kg/m^3

v = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายในท่อ, m/s

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, m

μ = ความหนืดของของเหลว (Dynamic Viscosity or Absolute Viscosity), kg/m.s

ν = ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity) , m^2/s



Osborne Reynolds at the age of ~24 (ca. 1866).

รูปที่ 8 Osborne Reynolds (1883) เจ้าของความคิด แต่ผลงานที่ออกมาโดย Arnold Sommerfeld (1908)

Reynolds's number ถูกใช้กับของเหลวชนิด Newtonian Fluid เท่านั้น ได้แก่ น้ำ, ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสำเร็จรูป, น้ำมันเชื้อเพลิง, แก๊สทุกชนิด, ของเหลวหรือสารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low Molecular-Weight Liquids or Solution), สารละลายหรือ Polymeric Material ที่หลอมละลาย, พลาสติกเหลว (Melted Plastics) ลงลึกนิดนะถ้า งง ว่าอะไรเป็นของเหลวชนิด Newtonian Fluid ก็ค่อยๆ ศึกษากันไปแต่ในงานชั่งตวงวัดจนถึงบัดนี้เราก็เจอแต่ของเหลวที่เป็นชนิด Newtonian Fluid เท่านั้นกับงานมาตรวัดปริมาตรของเหลว

ความหมายทางฟิสิกส์ของ Reynolds Number มีดังนี้คือ เมื่อพิจารณาเศษส่วนจากสมการ (17) จะได้ว่า

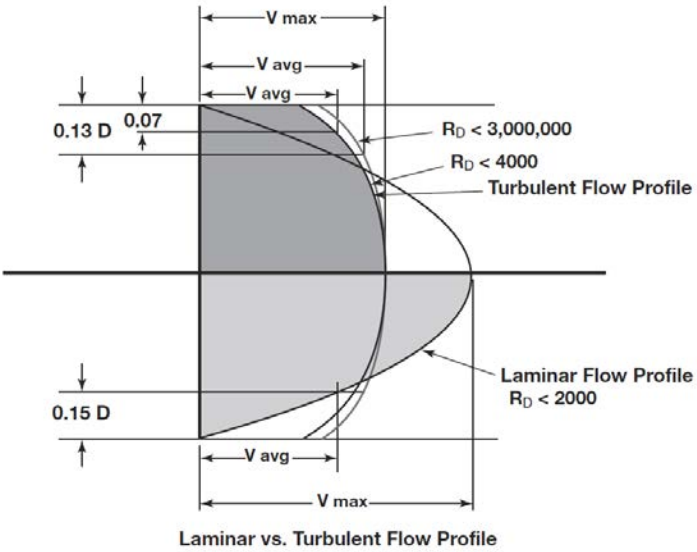
- **ค่าของเศษ**เป็นค่าต่อปริมาตรคูณความเร็วการไหล (v) นั้นจะหมายถึงโมเมนตัมต่อหน่วยปริมาตรของของเหลว ; $kg/m^3.m/s = (kg.m/s)/m^3$ (โมเมนตัมเชิงเส้น $M = mv$) เมื่อนำค่าโมเมนตัมต่อหน่วยปริมาตรของของเหลวคูณด้วยความยาว ในที่นี้เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจะได้ผลลัพธ์เป็นโมเมนตัมของโมเมนตัมต่อหน่วยปริมาตร (Moment of Momentum Per Unit Volume) จึงสรุปได้ว่าค่าเศษของ Reynolds Number จะแสดงถึงค่าแนวโน้มของปริมาตรหนึ่งหน่วยของของเหลวที่จะก่อให้เกิดแรงจลน์ (Dynamic Force) หรือแรงเฉื่อย (Inertia Force) ให้เรานึกถึงรถยนต์วิ่งเร็วๆ เหยียบคันเร่ง
- **ค่าของส่วน**ของ Reynolds Number เป็นค่าความหนืด (Viscosity) ของของเหลวในระบบท่อจะเป็นตัวบ่งบอกให้รู้ถึงแนวโน้มของปริมาตรหนึ่งหน่วยที่จะก่อให้เกิดแรงหนืดหรือแรงเสียดทาน (Viscous or Frictional Forces) คราวนี้ให้นึกถึงรถยนต์โดนเบรคหรือหน่วงๆ

จึงสรุปได้ว่า Reynolds Number เป็นค่าแสดงและบ่งบอกถึงสัดส่วนระหว่าง 2 ปริมาณคือ แรงจลน์กับแรงเสียดทานว่าในกรณีจำเพาะหนึ่งๆ แรงชนิดใดกระทำต่อระบบการไหลภายในท่อมีผลเด่นกว่า นั้นคือเมื่อค่า Reynolds

Number มีค่าสูงมากๆ แรงจลน์หรือแรงเฉื่อยจะเป็นตัวควบคุมการไหลทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นความดัน, ความเร็วการไหล, ความหนาแน่น และอื่นๆภายในระบบการไหล การไหลจะเป็นแบบ Turbulent Flow แต่หากว่าค่า Reynolds Number มีค่าต่ำมากๆ ปรากฏการณ์การไหล เช่น ความเร็วการไหล, การกระจายของเส้นการไหล (Streamline) แทบจะขึ้นอยู่กับแรงหนืด (Viscous Force) ทั้งหมด การไหลจะเป็นแบบ Laminar Flow

จากการทดลองการไหลภายในท่อเพื่อหา 3 สถานะของการไหลจะให้รูปแบบความเร็วของเหลว (Velocity Profile) ภายในท่อแตกต่างกันดังในรูปที่ 9 เป็นดังนี้

- การไหลแบบ Laminar Flow $\mathbf{Re_D \leq}$ 2,000
- การไหลแบบ Transient Flow $\mathbf{2{,}000 \leq Re_D \leq}$ 4,000 (Critical Zone)
- การไหลแบบ Turbulent Flow $\mathbf{Re_D >}$ 4,000

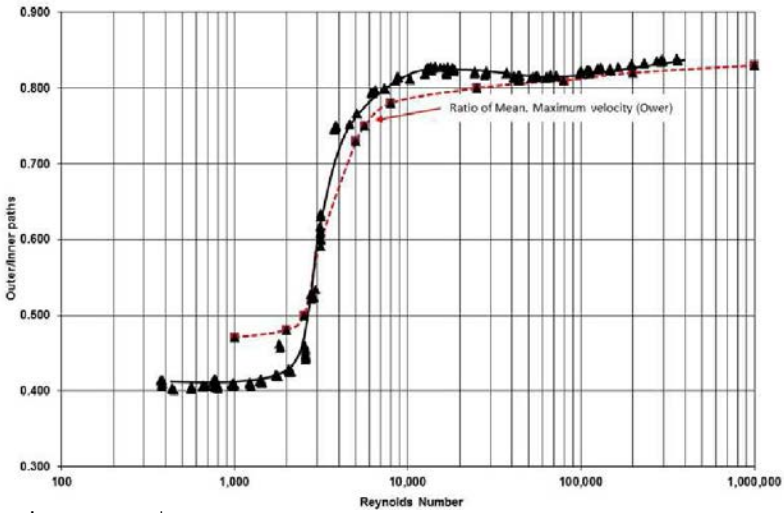


รูปที่ 9 รูปแบบความเร็วของเหลวภายในท่อเทียบกับค่า Reynolds Number

การเปลี่ยนการไหลจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเกิดขึ้นที่ค่า Re_D =2,320 เราเรียกสภาวะรูปแบบการไหลที่ค่า Reynolds Number นี้ว่า “สภาวะวิกฤต (Critical State)” ของเหลวจะไหลด้วยความเร็ววิกฤต (Critical Velocity) เปลี่ยนจากสภาวะการไหลแบบ Laminar Flow ไปเป็นรูปแบบการไหล Turbulent Flow (ของเหลวปั่นป่วนสูงขึ้น) คือ

$$V_{cr} = 2320\frac{\upsilon}{D} \tag{18}$$

แต่อย่างไรก็ตามเราอาจพบจากเอกสารหลายแห่งที่ระบุค่าความเร็ววิกฤตมีค่าแตกต่างกันออกไปจากค่า 2320 นี้ก็ไม่เป็นไรครับ ก็ศึกษาว่าทำไมเพราะอะไร แล้วยอมรับได้หรือไม่ หากมีเหตุผลรองรับได้ก็เปลี่ยนไปตามความรู้ใหม่ที่เข้ามา จากนั้นก็ปรับสมการ (18) ให้ใช้ตัวเลขที่ต่างจาก 2320 ให้เหมาะสมกันไป



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วน Flow Profile Velocity (บริเวณใกล้ผิวท่อเทียบกับใจกลางท่อ) เมื่อเทียบกับ Reynolds Number

จากรูปที่ 10 เราจะเห็นได้ว่าที่การไหลแบบ Laminar Flow และแบบ Turbulent Flow กราฟจะมีความชันน้อย นั้นหมายถึงรูปแบบความเร็วของของ

ไหลภายในท่อ (Flow Profile Velocity) ตลอดพื้นที่หน้าตัดท่อหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาเมื่อ Reynold Number เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะรูปแบบการไหลแบบ Turbulent Flow จะมีความชันของเส้นกราฟน้อยหรือมีความเสถียรทาง Fluid Mechanic สูงเช่นเดียวกับการไหลแบบ Laminar Flow อีกทั้งมีความแตกต่างระหว่างความเร็วการไหลบริเวณใจกลางท่อกับบริเวณผิวท่อใกล้เคียงกัน (สัดส่วนความเร็วมีค่าเข้าใกล้ 1) จึงเป็นรูปแบบการไหลที่เหมาะสำหรับการวัดอัตราการไหลนั้นเอง ในขณะที่การไหลแบบ Transient Flow เส้นกราฟมีความชันมากหรือความเร็วภายในท่อเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากจึงไม่เหมาะหากต้องทำการวัดอัตราการไหล

ง. ความยาวการไหลอยู่ตัว (Flow Stabilization Length)

1. ความยาวการไหลอยู่ตัวเมื่อให้ทางเข้าท่อเป็นการไหลแบบ Laminar Flow แต่จริงๆแล้วจะไม่เป็นการไหลแบบ Laminar Flow โดยสมบูรณ์ การไหลจะเป็นแบบ Laminar Flow สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อไหลผ่านท่อไปได้ระยะห่างระยะหนึ่งมีค่าเท่ากับ l ค่าระยะทางดังกล่าวหาได้จาก

$$l = 0.028 Re_D D \qquad \text{m.} \qquad (19)$$

เมื่อ l = ความยาวการไหลอยู่ตัว, m

Re_D = Reynolds Number ของท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, m

เช่นที่ Re_D = 2,000 ความยาวท่อที่ทำให้การไหลเกิดเป็นแบบ Laminar Flow สมบูรณ์คือ $l = 60D$

2. สำหรับการไหลแบบ Turbulent Flow สภาวะการไหลจะสมบูรณ์เมื่อของเหลวไหลผ่านท่อไปเป็นระยะทางมากกว่าหรือเท่ากับ

$$l = 10^5 \frac{D}{Re_D} \qquad \text{m.} \qquad (20)$$

เมื่อ $Re_D = 10^4$ จะได้ $l = 10D$

$Re_D = 10^5$ จะได้ $l = D$

$Re_D = 10^6$ จะได้ $l = 0.1D$

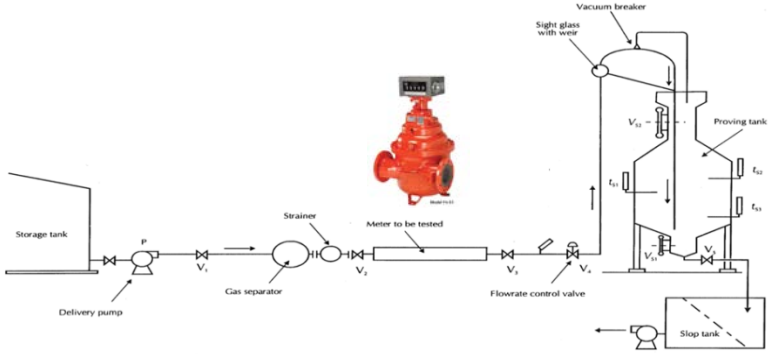
การนำไปใช้งานจากเรื่อง Reynolds Number และ ความยาวการไหลอยู่ตัว (Flow Stabilization Length) ก็นำไปใช้ในการหาระยะการติดตั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลว โดยเฉพาะมาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ที่เราต้องติดตั้งให้มีระยะหนีช่วงการไหลแบบ Transient Flow ต้องติดตั้งให้การไหลภายในท่อของของเหลวอยู่ในช่วงการไหลแบบ Turbulent Flow ($\mathbf{Re_D \geq 4{,}000}$) ตลอดช่วงระยะทำการวัด ไม่ใช่พอผ่านข้องอในระบบท่อมาได้นิดเดียวก็ติดตั้งมาตรวัดเทอร์ไบน์ทันทีอย่างนี้ วัดอะไรๆ มันก็ผิดแน่นอน

มาถึงตรงนี้หลายคนอาจมีคำถามมากมายเพราะไม่มีพื้นฐานทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ก็ค่อยๆศึกษากันไปครับ ส่วนคนที่อ่านแล้วเข้าใจก็ยินดีด้วย ส่วนจะถามว่าทำไมต้องมาสนใจว่าการไหลในท่อมันจะมีรูปแบบการไหลเป็น Laminar Flow หรือ Turbulent Flow สนใจกันไปทำไมช่างเขาติดตั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลวอย่างไรก็ไม่ต้องรู้อะไรเพียงแค่เอาถังตวงแบบมาตรามาแล้วปล่อยให้ของเหลวที่ผ่านการวัดด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวไหลลงถังตวงแบบมาตราหากได้ปริมาตรตามที่ระบุก็ถือว่าชั่งตวงวัดทำงานเสร็จ อย่างนี้มันไม่ใช่มืออาชีพครับ เพราะในการปฏิบัติงานภาคสนามอาจมีปัญหาหน้างานมากมายที่ต้องแก้ไขและตัดสินใจดังนั้นเหตุที่ต้องให้ความสนใจว่าการไหลในท่อขณะทำการวัดปริมาตรของเหลวด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลว ก็เพราะระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ถูกใช้เพื่อวัดซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Metering Unit) จะเป็นการส่งจ่ายผ่านระบบท่อเสียเป็นส่วนใหญ่ และเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ของของเหลวที่ไหลผ่านระบบท่อจะมีรูปแบบการไหลแบบ Turbulent Flow เหตุที่ส่วนใหญ่ไม่เป็นรูปแบบการไหล Laminar Flow นั้นเพราะหากส่งจ่ายซื้อขายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมให้การไหลภายในท่อมีรูปแบบการไหลเป็น Laminar Flow

บริษัทฯ คงหยุดกิจการ เจ๊งกันหมดครับเพราะใช้เวลานานๆๆๆๆๆ ในการส่งจ่ายหรือขายผลิตภัณฑ์ของเหลว ธุรกิจมันเร่งรีบครับ ทำธุรกิจต้องทำกำไร มันเลยต้องส่งจ่ายกันมากๆเยอะๆ เร็วๆ ไวๆ ความเร็วของเหลวภายในท่อจึงต้องเร็วๆ ความดันภายในท่อก็ต้องเยอะๆ ท่อก็ต้องหนาๆ ตามมาครับ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานการไหลของของเหลวภายในท่อก็เพิ่มขึ้นตามมา เสียงที่เกิดจากแรงเสียดทานของเหลวกับผนังภายในท่อก็จะดังหนวกหู ปั๊มที่สร้างแรงดันในระบบท่อเพื่อผลักดันของเหลวไปยังปลายทางก็ต้องตัวโตๆ แรงม้าเยอะๆ เพื่อขายกันทำกำไรเยอะๆ เอาเฉพาะสถานีบริการก๊าซ LPG ขายกันไปปีละเล็กๆน้อยๆ ประมาณ 50,000 – 60,000 ล้านบาทเองครับ..... ยังไม่รวมน้ำมันเชื้อเพลิงเติมรถยนต์ แต่หน่วยงานชั่งตวงวัดที่ทำหน้าที่กำกับดูแลงานด้านนี้มีงบประมาณประจำปียังไม่ถึง 0.001% ของการใช้เครื่องชั่งตวงวัดเพื่อตีมูลค่าการซื้อขายสินค้าและบริการ .....เพราะเราเก่งครับ (..อันนี้ไม่ค่อยแน่ใจ??????..)

การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) ด้วยถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank) สถานที่ Truck Loading

สำนักชั่งตวงวัดได้รับคำขอตรวจสอบความเที่ยงมาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) ชนิด PD Flowmeter ขนาด ∅ 4 นิ้ว จากบริษัท Third Party ซึ่งรับบริการสอบเทียบให้กับบริษัทน้ำมันบริษัทฯ หนึ่ง โดยใช้สถานที่จ่ายน้ำมันทางรถยนต์บรรทุกน้ำมัน (Truck Loading) ของคลังน้ำมันของบริษัทน้ำมันฯ เอง โดยใช้วิธีการสอบเทียบ Master Meter ด้วย Proving Tank (Volumetric Method) **พบว่าพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราไม่สอดคล้องกับอัตราการไหลสอบเทียบ Master Meter**



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการสอบเทียบ

ประเด็นการพิจารณา

จากการตั้งโจทย์ดังกล่าวเราจำเป็นต้องวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว พร้อมให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาที่พอยอมรับได้ต่อไป แยกย่อยเป็นประเด็น คือ

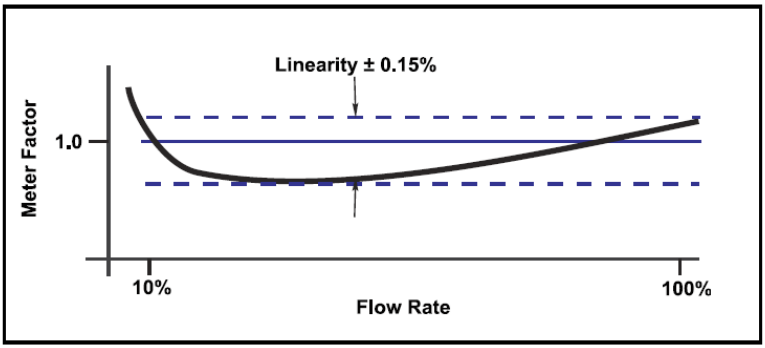
1. รูปแบบการสอบเทียบโดยวิธี “Volumetric Method” ณ Truck Loading
2. การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา ชนิด Positive Displacement Flowmeter ตัวเรือนเป็นแบบ 2 ชั้น (Double Cases) ดูรูปที่ 3 มีอัตราการไหลสูงสุด 2,250 l/min และอัตราการไหลต่ำสุด 450 l/min ยี่ห้อ Smith รุ่น (Model) LF4-S1
3. อัตราการไหลของมาตรวัดแบบมาตราขณะสอบเทียบ
4. แบบมาตราเป็น Proving Tank พิกัดกำลัง 3,000 ลิตร รองรับของเหลวที่ใช้ในการสอบเทียบเป็นไบโอดีเซล
5. รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตราขณะทำการสอบเทียบ
6. การนำมาตรวัดแบบมาตราไปใช้ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดที่ใช้ในการวัดซื้อขาย/ส่งจ่าย ที่ Truck Loading

ประเด็นที่ 1: รูปแบบการสอบเทียบโดยวิธี “Volumetric Method”

ต้องยอมรับถึงปัญหาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับงานชั่งตวงวัดของประเทศไทยเนื่องจากเราเป็นประเทศที่ไม่ได้ร่ำรวย เราจึงไม่สามารถจัดสร้างอาคารปฏิบัติการสำหรับสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา Master Meter ชนิด PD Flow meter หรือ Turbine Flowmeter โดยใช้ของเหลวตัวกลางสอบเทียบชนิดเดียวกับของเหลวที่มาตรวัดนำไปวัดปริมาณใช้งานจริง เนื่องจากต้องลงทุนทั้งงบประมาณและกำลังคนที่มีความรู้ความสามารถที่มีคุณภาพสูงระดับหนึ่ง ส่งผลให้การรับคำขอตรวจสอบความเที่ยง Master Meter ชนิด PD Flow meter ขนาด ∅ 4 นิ้ว จากบริษัท Third Party โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ประจำ Truck Loading ต้องยอมรับสภาพของการทำงานเพื่อแก้ปัญหาให้ลุล่วงและมีประสิทธิภาพประสิทธิผลได้ระดับหนึ่ง ทั้งนี้ภายใต้วิธีการสอบเทียบโดยวิธี “Volumetric Method” ในเบื้องต้นพอยอมรับได้

ประเด็นที่ 2: มาตรวัดแบบมาตรา

จากการศึกษาหาข้อมูลจาก Website ของ บริษัท FMC Technologies Co., LTD พบว่ามีคุณสมบัติของมาตรวัดน่าจะเพียงพอที่จะเป็นมาตรวัดแบบมาตราได้ เช่น ลักษณะตัวเรือนเป็นแบบ 2 ชั้น (Double case), มีค่า Linearity ±0.15%, ใช้งานกับของเหลวปิโตรเลียม, หลักการทำงานชนิด Positive Displacement Flow meter เป็นต้น

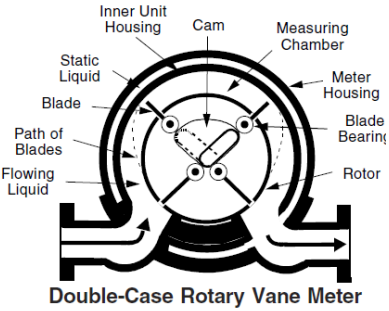


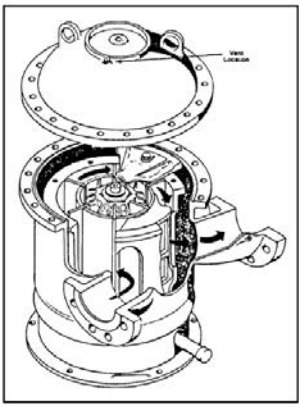
รูปที่ 2 พิจารณาค่า Linearity ของมาตรวัด

ลักษณะตัวเรือนเป็นแบบ 2 ชั้น (Double case) นั้นหมายถึง ห้องวัด (Measuring Chamber) บรรจุด้วยส่วนวัดปริมาตรของเหลว (Measuring Elements) ของมาตรวัดซึ่งมาตรวัดจะแยกห้องวัดโดยถูกล้อมรอบด้วยอีกห้องหนึ่ง เพื่อแยกส่วนวัดปริมาตรออกอย่างอิสระสมบูรณ์ เพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 อย่าง ด้วยกันคือ

- สมดุลของความดัน (Pressure Balance) เมื่อความดันกระทำต่อผนังของห้องวัดเกิดสมดุล การบิดเบี้ยวซึ่งเกิดจากความดัน (pressure-generated distortion) ของชิ้นส่วนภายในห้องวัดมีน้อยมาก ผลกระทบต่อช่องว่างวิกฤต (critical clearance) ภายในมาตรวัด ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำการวัดของมาตรวัดจึงแทบไม่มี

- การลดความเค้น (Stress Absorption) ในระบบท่อส่งจ่ายของเหลวจะมีความเค้น (stress) ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การขยายตัวของท่อเนื่องจากความร้อนจากแสงแดด เป็นต้น




Figure 2 – High Capacity Double Case Meter

รูปที่ 3 ตัวเรือนเป็นแบบ 2 ชั้น (Double case) ของมาตรวัด

เมื่อติดตั้งมาตรวัดเข้ากับระบบท่อดังกล่าวหากมาตรวัดมีตัวเรือนชนิด 2 ชั้น (Double Case) ตัวเรือนภายนอกสุดจะเป็นตัวรองรับและลดความเค้นซึ่งส่งผ่านมาจากระบบท่อไม่ให้ส่งผลไปยังตัวเรือนชั้นในซึ่งเป็นห้องวัดของส่วนวัดปริมาตร ด้วยเหตุนี้ช่องว่างวิกฤต (critical clearance) จึงยังคงมีค่าคงที่ไม่ว่าความดันภายในระบบท่อจะเปลี่ยนแปลงไป

ประเด็นที่ 3: อัตราการไหลของมาตรวัดแบบมาตราขณะสอบเทียบ

บริษัท Third Party ซึ่งทำการสอบเทียบให้กับบริษัทน้ำมันบริษัทฯ หนึ่ง ดำเนินการสอบเทียบที่อัตราการไหลตามบริษัทน้ำมันฯ ผู้ใช้งานกำหนดคือ ที่อัตราการไหล 450 l/min และ 2,100 l/min ถือว่ายอมรับได้ แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากในการสอบเทียบ (Calibration) มาตรวัดแบบมาตราควรกระทำที่อัตราการไหลตั้งแต่ Q_{min} (450 l/min) จนถึง Q_{max} (2,250 l/min) เช่นที่อัตราการไหล

$0.2Q_{max}$, $0.4Q_{max}$, $0.6Q_{max}$, $0.8Q_{max}$ และ Q_{max} เป็นต้น ภายใต้สภาวะการสอบเทียบใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานจริงเพื่อทำการตรวจสอบสมรรถนะของมาตรวัดว่ายังคงมีค่า Linearity ±0.15% หรือไม่ แต่จะเป็นที่ค่าอัตราการไหลใดต้องดูการใช้งานจริง ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องสอบเทียบที่อัตราการไหลต่ำสุด Q_{min} (450 l/min) และอัตราการไหลสูงสุด Q_{max} (2,250 l/min) หรือที่อัตราการไหลใกล้เคียงมากที่สุดของที่อัตราการไหลทั้ง 2 ที่กล่าวมาเป็นจุดบังคับ

การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรากระทำ ณ Truck Loading ซึ่งเป็นสถานที่ที่ติดตั้งมาตรวัดที่ใช้ในการส่งจ่ายซื้อขายที่ต้องการตรวจสอบให้คำรับรองจริงๆ นั้นหมายถึงการใช้ระบบท่อ ปั๊ม และอุปกรณ์ควบคุมเช่นเดียวกับที่ใช้จริงกับมาตรวัดที่ใช้ในการส่งจ่ายซื้อขายจึงอยู่ในสภาวะการสอบเทียบใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานจริง ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงานอื่นๆ อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แต่ต้องปรับจำนวนจุดทดสอบด้วยอัตราการไหลดังที่กล่าวมา

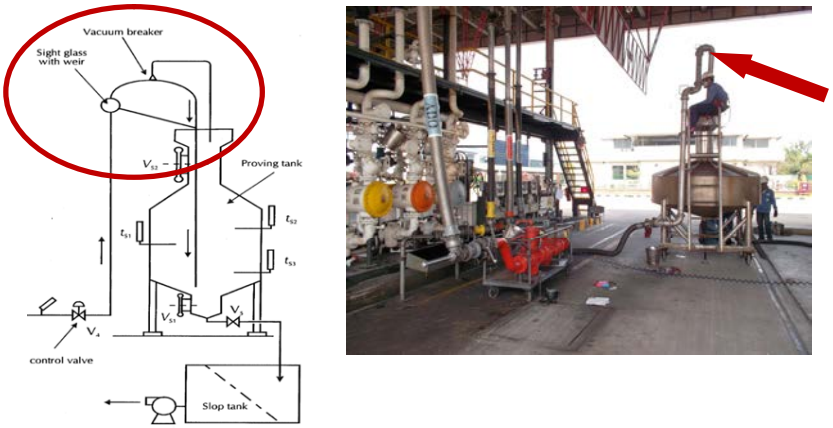
ประเด็นที่ 4: แบบมาตราเป็น Proving Tank พิกัดกำลัง 3,000 ลิตร

แบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบมาตราวัดแบบมาตรา เป็นถังตวงแบบมาตรา (Proving Tank) เราพิจารณาว่า

1. ใช้ Loading Arm ซึ่งติดตั้งถาวรประจำถังตวง เป็นตัวรับและส่งของเหลวจากปากถังตวงแบบมาตราด้านบนลงไปยังบริเวณก้นถังตวงแบบมาตรา ซึ่งมีข้อดีเสมือนเป็นการเติมแบบ Bottom Loading เนื่องจากปลายท่อของ Loading Arm จมอยู่ในของเหลว อีกทั้งมีจุดสูงสุดของ Loading Arm พอเสมือนเป็นจุดอ้างอิงสำหรับการเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการสอบเทียบในแต่ละรอบได้ดังรูปที่ 4

2. ของเหลวตัวกลางที่ใช้ในการสอบเทียบ พบว่าเป็นไบโอดีเซล (BO) ซึ่งจากการย้อนดูประวัติที่ผ่านมามีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C เท่ากับ 0.8408 kg/l ซึ่งค่าความหนาแน่นดังกล่าวเจ้าของสถานที่ให้ไว้ ส่วนในการยืนยันว่าค่าความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิ 15 °C ถูกต้องหรือไม่นั้น หากไม่ลืม

ค่อยคุยกันอีกทีหนึ่ง แต่ในอนาคตชั่งตวงวัดควรมีขีดความสามารถในการตรวจสอบและตรวจทานถึงค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการสอบเทียบ เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญในการหาค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรวัด เพราะความหนืดของของเหลวตัวกลางที่ใช้ในการสอบเทียบมีผลต่อ Meter Factor หรือ Meter Error ดังรูปที่ 5 ในกรณีมาตรวัดเป็นชนิด PD Meter



รูปที่ 4 จุดอ้างอิงสำหรับการเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการสอบเทียบในแต่ละรอบมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปลาย Loading Arm จุ่มอยู่ในน้ำมันและจะถูกยกขึ้นมาเมื่อสิ้นสุดแต่ละรอบการสอบเทียบ

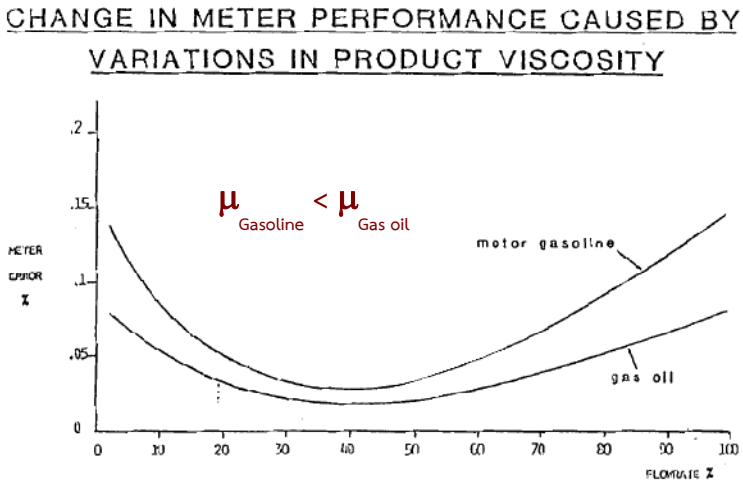
3. อุณหภูมิของเหลวซึ่งเป็นตัวกลางสอบเทียบ และเหมาะกับการใช้ถังตวงแบบมาตราต้องไม่เกิน 30 °C หรือ ใกล้เคียงอุณหภูมิแวดล้อมขณะนั้น

4. สถานะของเหลวตัวกลางที่ใช้ในการสอบเทียบยังคงเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศ เนื่องจากระบบถังตวงแบบมาตราเป็นระบบเปิดสู่บรรยากาศ

5. ถังตวงแบบมาตราเหมาะกับการใช้ของเหลวที่มีความหนืดไม่มากนัก เพราะหากมีค่าความหนืดสูงเกินไปจะมีปัญหาการระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตราไม่สมบูรณ์ และใช้ระยะเวลา Drain Time สูงเกินความเป็นจริง โดยมีเกณฑ์การพิจารณาขอบเขตค่าความหนืดที่เหมาะสม คือ

5.1. ความหนืดของเหลวมีค่าความหนืดจลน์ (Kinematics Viscosity) อยู่ระหว่าง 0-5 cSt (ดูตารางที่ 1) หรือ

5.2. ดัชนีความหนืดไม่เกินในตารางคุณสมบัติของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบถังตวงแบบมาตรา ในตารางที่ 2 (อ่านเพิ่มเติม **"นานาสาระชั่งตวงวัด"** จรินทร และ สาธิต, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์)



รูปที่ 5 กราฟสมรรถนะของมาตรวัด ชนิด PD Meter

6. ขนาดของเครื่องตวงแบบมาตรา (Capacity of Prover Tank) จากข้อกำหนด Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4—Proving Systems Section 4—Tank Provers, SECOND EDITION, MAY 1998 หัวข้อ 5.4 PROVER CAPACITY มีข้อความบ่งบอกถึงขนาดของเครื่องตวงแบบมาตรา ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณการส่งจ่ายด้วยเวลา 1 นาทีที่อัตราการไหลปกติ (normal operating flow rate) ของมาตรวัดของไหลที่ต้องการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง แต่เพื่อให้มั่นใจ ขนาดของเครื่องตวงแบบมาตราควรมีปริมาตรเท่ากับหรือมากกว่า 1-1.5 เท่าของปริมาตรที่ส่งจ่ายจริงผ่านมาตรวัดของ

ไหลที่ต้องการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองภายใน 1 นาที (*"The capacity of a tank prover shall not be less than the volume delivered in 1 minute at the normal operating flow rate through the meter to be proved. The capacity will preferably be 1 1/2 times the volume delivered in 1 minute."*)

ดังนั้นหากดำเนินการสอบเทียบที่อัตราการไหลตามบริษัทน้ำมันฯ กำหนดคือ ที่อัตราการไหล 450 l/min และ 2,100 l/min เมื่อเทียบกับ ขนาดถังตวงแบบมาตรา 3,000 ลิตร น่าจะเพียงพอ

ตารางที่ 1 ค่าความหนืด ของ Benzene, Kerosene, Diesel, Fresh Water, Sea Water, Distilled Water

	Kinematics Viscosity	**Specific Gravity**
Diesel	2.0 – 6.0 cSt. (T = 37.8 °C) or 3.2 – 3.7 cSt. (T = 40.0 °C)♣	0.82 - 0.95 (T = 15.6 °C) or 0.82 – 0.84 (T = 40.0 °C)
Kerosene	2.71 cSt. (T = 20.0 °C)	0.78-0.82 (T = 15.6 °C)
Benzene	0.744 cSt. (T = 20.0 °C)	0.885 (T = 15.6 °C)
Water; fresh	1.13 cSt. (T = 15.6 °C; 60 °F)	1.00 (T = 15.6 °C)
Water; sea	1.15 cSt.	1.03 (T = 15.6 °C)
Water; distilled	1.0038 cSt. (T = 20 °C; 68 °F)	1.00 (T = 15.6 °C)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเหลวที่ใช้ในการสอบเทียบถังตวงแบบมาตรา

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัด หรือ ถังตวงแบบมาตราที่เราต้องการสอบเทียบ %	ดัชนีความหนืด $\left[\frac{V}{\nu\sqrt{\nu}}\right]_{min}$ l.s/mm^2
0.3	0.85
0.5	0.18
1.0	0.023

♣ Diesel ภายในประเทศไทย ข้อมูลจากสำนักน้ำมันเชื้อเพลิง

7. ปริมาตรคอถังตวงแบบมาตราควรมีขนาดความจุไม่น้อยกว่า ±1.0 % ของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราเพื่อที่ถังตวงแบบมาตราสามารถบ่งบอกผลผิด หรือค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดที่ทำการสอบเทียบว่าอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ±0.5 % หรือ ±1.0 % ของปริมาตรทดสอบได้หรือไม่

ประเด็นที่ 5. รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา

เนื่องจากการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราด้วยถังตวงแบบมาตรานั้น จำเป็นต้องทำการเปิด-ปิดวาล์ว**ด้านทางออก**ของมาตรวัดแบบมาตรา ดังนั้นรูปแบบอัตราการไหลของมาตรวัดแบบมาตราขณะทำการสอบเทียบจึงมีความสำคัญและจำเป็นเพราะ

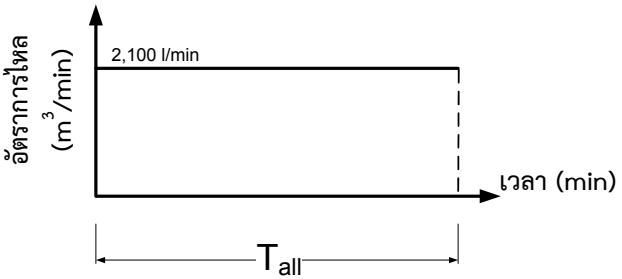
1. เป็นการรายงานผลสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราในรูปของค่า Meter Factor (MF) 1 ค่า ณ อัตราการไหลหนึ่ง ในขณะเดียวกันเราก็ควรทำการตรวจทานค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดแบบมาตราว่ายังคงอยู่ภายในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) อย่างน้อย 1/3 เท่าของมาตรวัดที่ใช้วัดซื้อขายซึ่งอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 หรือไม่ที่ค่า Meter Factor ที่รายงานด้วยเช่นกัน หากผลผิดที่เกิดจากค่า Meter Factor นั้นเกินกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดไว้ดังข้างต้นให้ทำการปรับมาตรวัดแบบมาตราจนมีค่า Meter Factor ที่ก่อให้เกิดผลผิดอยู่ในขอบเขตอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดตาม พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ด้วย

$$MF = \frac{V_{0P}}{V_{0MM}}$$

$$MPE = \frac{V_{0MM} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$$

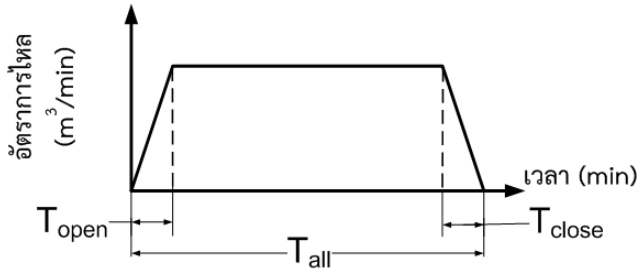
2. เมื่อรายงานผลสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราในรูปแบบของค่า Meter Factor 1 ค่า ณ อัตราการไหลหนึ่ง ดังนั้นมาตรวัดแบบมาตราต้องได้รับการสอบเทียบที่อัตราการไหลคงที่เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาทีตามประเด็นที่ 4 นั้นหมายถึงมาตรวัดแบบมาตราต้องทดสอบที่อัตราการไหลที่ 450 l/min เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที และที่อัตราการไหล 2,100 l/min เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที

ก่อนปิดวาล์วเข้าถังตวงแบบมาตรา ส่งผลให้ควรมีรูปแบบอัตราการไหลเมื่อเทียบกับเวลาตามทฤษฎีเป็นดังรูปที่ 6



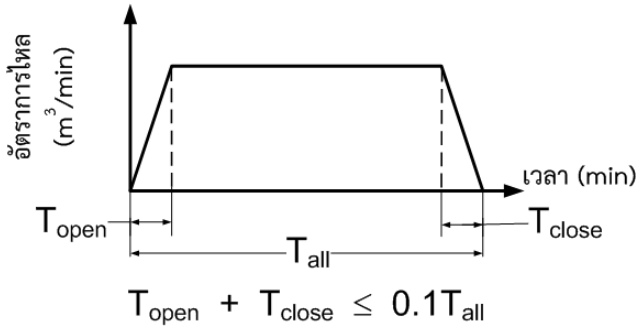
รูปที่ 6 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา (ทางทฤษฎี)

แต่ในทางปฏิบัติจริง การจัดให้มีรูปแบบการไหลดังกล่าวเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากต้องมีระยะเวลาที่เสียไปในการเปิด-ปิดวาล์วด้านทางออกมาตรวัดแบบมาตรา ดังนั้นจึงมีรูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาจึงควรเป็นดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา (ทางปฏิบัติ)

ด้วยเหตุนี้เพื่อให้ได้ผลการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราแม่นยำถูกต้อง การเบี่ยงเบนรูปแบบอัตราการไหลไปจากทฤษฎีจึงต้องพิจารณาและถือเป็น **ข้อจำกัดหนึ่ง**ในการสอบเทียบมาตรวัดด้วยถังตวงแบบมาตรานั่นคือผลรวมเวลาเปิดวาล์วและเวลาปิดวาล์วจึงไม่ควรน้อยกว่า 10 % ของเวลาสอบเทียบทั้งหมด (ดูรูปที่ 8)



รูปที่ 8 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา (ทางปฏิบัติ)

เหตุผลที่ต้องกำหนดให้เป็นรูปแบบอัตราการไหลของมาตรวัดแบบมาตรา ขณะทำการสอบเทียบเป็นดังกล่าว ก็เพื่อให้พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเทียบกับเวลาซึ่งหมายถึงปริมาตรที่ทำการสอบเทียบมาตรวัดหรือปริมาตรของเหลวที่มาตรวัดแบบมาตราแสดงผลการวัด มีปริมาตรใกล้เคียงกับทฤษฎี (ประมาณ 95%) และถูกต้องมากที่สุดในทางปฏิบัติ

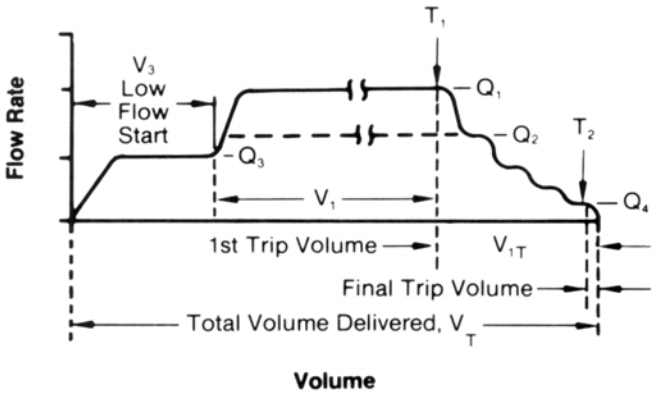
ส่วนในการหาค่า Meter Factor (MF) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาตรของแบบมาตราต่อปริมาตรที่วัดได้ของมาตรวัดที่สภาวะอ้างอิงเดียวกัน

$$MF = \frac{V_{0P}}{V_{0MM}}$$

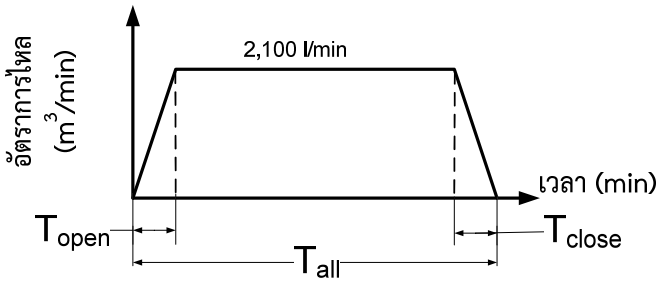
3. พบว่าผู้ทำการสอบเทียบกำหนดให้ Flow Computer ทำการส่งจ่ายของเหลวผ่านมาตรวัดแบบมาตราในรูปแบบเดียวกับที่ทำการ Set ไว้ในการส่งจ่ายของเหลวผ่านมาตรวัดซื้อขายจริงประจำ Truck Loading คือ เริ่มจากค่อยๆ เพิ่มอัตราการไหลจนถึง 450 l/min (Low Flow) ระยะเวลาหนึ่งจากนั้นเพิ่มอัตราการไหลเป็น 2,100 l/min จนถึงระยะเวลาหนึ่งแล้วทำการปิด Control Valve ที่ปริมาตร 3,000 ลิตร รูปแบบอัตราการไหลดังรูปที่ 9

พบว่ามาตรวัดแบบมาตราวิ่งที่อัตราการไหล 2,100 l/min **เกิน 1 นาทีจริง** แต่เมื่อทำการตรวจสอบโดยการจับเวลาทั้งหมดที่มาตรวัดแบบมาตราทำการ

วัดแล้วนำไปหารปริมาตรถังตวงแบบมาตราแล้วพบว่าอัตราการไหลต่ำกว่า 2,100 l/min ดังนั้นการรายงาน Meter Factor ที่อัตราการไหล 2,100 l/min จึงมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง จึงได้แจ้งให้เจ้าของสถานที่และบริษัทฯ ที่รับทำการสอบเทียบ ปรับรูปแบบการไหลให้อยู่ภายใต้เงื่อนไข ตามข้อ 2 ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดที่กำหนดไว้ใน Flow Computer ในการจ่ายน้ำมันทางรถยนต์บรรทุกน้ำมัน



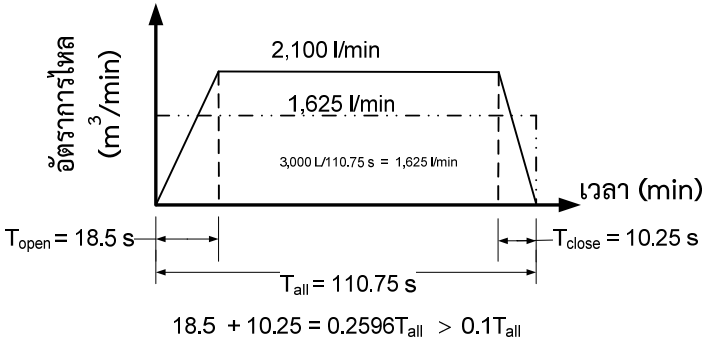
รูปที่ 10 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา (ทางปฏิบัติ)

พร้อมจับเวลาพบว่ามีค่าเฉลี่ยเวลาดังนี้

T_1 (Open)	18.5	วินาที
T_2 (2,100 l/min)	82	วินาที
T_3 (Close)	10.25	วินาที

เวลารวมทั้งหมด T_{all} = **110.75** วินาที เมื่อนำไปหารปริมาตรถังตวงแบบมาตรา 3,000 ลิตร พบว่าอัตราการไหลเฉลี่ยประมาณ 1,625 l/min ต่างจากค่าที่มาตรวัดแสดงไว้ที่อัตราการไหล 2,100 l/min อย่างมาก ส่งผลให้หากรายงานค่า Meter Factor ที่ 2,100 l/min จะไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงกลายเป็นรายงานค่า Meter Factor ของที่อัตราการไหล 1,625 l/min แทน (ดูรูปที่ 11)

4. จากข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เหตุถึงข้อจำกัดของการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราเทียบกับถังตวงแบบมาตรา ด้วยเหตุนี้วิธีการแก้ปัญหาจึงมีทางเลือกในเบื้องต้น 2 ทางคือ ลดอัตราการไหลสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราลง หากใช้ถังตวงแบบมาตราพิกัดกำลังเท่าเดิม หรือคงอัตราการไหลสอบเทียบไว้แต่เพิ่มขนาดพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา เพื่อยืดเวลาของมาตรวัดให้วัดที่อัตราการไหลที่ต้องการให้คงที่นานยิ่งขึ้นจนถึงระยะเวลาเปิด-ปิด วาล์วเมื่อเทียบเวลาทั้งหมดน้อยลง จนน้อยกว่าหรือเท่ากับ $0.1T_{all}$



รูปที่ 11 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตราชนิด PD Flowmeter ขนาด ∅ 4 นิ้ว

ประเด็นที่ 6. การนำมาตรวัดแบบมาตราไปใช้ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดที่ใช้ในการวัดซื้อขาย/ส่งจ่าย ที่ Truck Loading

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าการสอบเทียบ (Calibration) มาตรวัดแบบมาตราควรกระทำที่อัตราการไหลตั้งแต่ Q_{min} (450 l/min) จนถึง Q_{max} (2,250

l/min) และให้มีสภาวะการสอบเทียบใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานจริงเมื่อนำมาตรวัดแบบมาตราไปตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดที่ใช้ในการส่งจ่ายซื้อขาย และเมื่อตรวจสอบอัตราการไหลในการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราที่ 2,100 l/min คิดเป็น 93.33% เมื่อเทียบกับ Q_{max} (2,250 l/min) แต่ขณะเดียวกันเราต้องตรวจสอบการนำมาตรวัดแบบมาตราไปตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดส่งจ่ายซื้อขายที่ Truck Loading ที่อัตราการไหล 2,100 l/min คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ Q_{max} ของมาตรวัดส่งจ่ายซื้อขายที่ Truck Loading หากมีค่าสูงกว่า 80 % ต้องมีคำถามต่อไปว่าอัตราการไหลที่สูงนี้เหมาะสมกับการใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่อัตราการไหลสูงอย่างนี้ตลอดเวลาหรือไม่ เพราะโดยทั่วไปการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ควรอยู่ที่ประมาณ 70-80 % ของขีดความสามารถสูงสุดของเครื่องมืออุปกรณ์นั้นๆ เมื่อนึกถึงประสิทธิภาพการใช้งาน ความปลอดภัยการใช้งาน การยืดระยะเวลาการใช้งานให้คุ้มค่ากับเงินในการจัดซื้อมาตรวัด และฯลฯ เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปมาตรวัดที่ใช้ในการวัดซื้อขายของเหลวปิโตรเลียมทางรถยนต์ที่ Truck Loading มักจะเป็นมาตรวัดของเหลวชนิด Positive Displacement Meter ขนาด ∅ 4 นิ้ว ซึ่งมีอัตราการไหลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Positive Displacement Meter (Rangeability 10 : 1 to 20 : 1)

Nominal Diameter	Max. Flow Rate m^3/hr (l/min)	Min. Flow Rate m^3/hr (l/min)
∅ 8″	340 (5,667)	1 (16)
∅ 6″♣	227 (3,783)	1 (16)
∅ 4″♣	136 (2,266)	0.68 (10)
∅ 3″♣	96 (1,600) - 56.78 (950)	0.23 (3.8)
∅ 2″♣	-	-

Remark: Accuracy ±0.15%

Temp & Pressure Rating 100 °C, 10.5 barg.

ตารางที่ 4 Turbine Meter (Rangeability 10 : 1 to 15 : 1)

Nominal Diameter	Max. Flow Rate m^3/hr (l/min)	Min. Flow Rate m^3/hr (l/min)
∅ 8″	1,350 (22,500) – 1,100 (18,300)	135 (2,250) - 70 (1,166)
∅ 6″♣	667 (11,116) – 500 (8,333)	66.8 (1,113) – 50 (833)
∅ 4″♣	294 (4,900) – 240 (4,000)	29.4 (490) -20 (333)
∅ 3″♣	125 (2083)	10 (167)

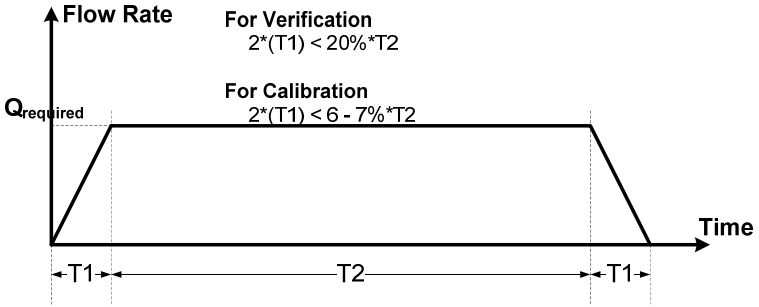
Remark:

- Accuracy : ±0.15%, ±0.25%
- Linearity : ±0.15%
- Temp. 0-60 °C
- Density Range 0.7 - 0.85 g/cc

สรุป

เพื่อให้การทำงานมีมาตรฐานเดียวกันและสอดคล้องกับมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เช่น มาตรฐาน API และคำนึงถึงข้อจำกัดการสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดด้วยถังตวงแบบมาตรา ควร

1. พิจารณาค่าความหนืดของเหลวที่ใช้สอบเทียบต้องไม่สูงจนเกินไป จนทำให้การระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตราต้องใช้เวลานาน
2. พิจารณาอัตราการไหลในการสอบเทียบมาตรวัดให้เหมาะสมกับพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา ไม่ควรทดสอบที่อัตราการไหลสูงเกินไปจนมีปริมาตรเกินกว่าพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตราสามารถรองรับได้และให้ผลการสอบเทียบที่น่าเชื่อถือ ดังเช่นกรณีนี้
3. มีรูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดที่ต้องการสอบเทียบ ดังในรูปที่ 8 และ/หรือ รูปที่ 12



รูปที่ 12 รูปแบบอัตราการไหลเทียบกับเวลาของมาตรวัดแบบมาตรา (ทางปฏิบัติ)

มาตรวัดมวลคอริออริสกับการไหลของเหลว ภายในท่อที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ

โดยหลักการแล้วมาตรวัดปริมาตรของเหลว, มาตรวัดมวลคอริออริส, มาตรวัดน้ำ และ ฯลฯ ในงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ได้ถูกออกแบบเพื่อทำการวัดปริมาณของไหลที่มีเพียงสถานะเดียวล้วนๆ ที่เรียกในภาษาประกิตว่า “Single Phase Fluid” นั้นคือหากเป็นของเหลวก็ของเหลวสถานะเดียว หากเป็นก๊าซก็เป็นก๊าซสถานะเดียว ต้องไม่มีส่วนผสมระหว่างกัน เช่น มาตรวัดปริมาตรของเหลวที่มีฟองอากาศหรือฟองก๊าซของของเหลวนั้นผสมอยู่ขณะทำการวัด ซึ่งการไหลผสมกันระหว่างของไหลทั้ง 2 ชนิดนั้นเราก็จะเรียกของไหลชนิดนี้รวมๆ กันว่า “Two-Phase Fluid” หากหนักเข้าไปอีกของไหลอาจผสมเพิ่มจากเดิมด้วยฝุ่น โคลนตม อนุภาคแขวนลอยเข้าไป คราวนี้ก็จะเรียกว่า “Three-Phase Fluid” ซึ่งยิ่งมีการผสมของของไหลหลายสถานะความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบมาตรวัดเพื่อทำการวัดปริมาณของไหลให้แม่นยำถูกต้องก็ยิ่งยุ่งยากซับซ้อนสูงขึ้นไป รอให้เก่งกว่านี้ค่อยว่ากัน

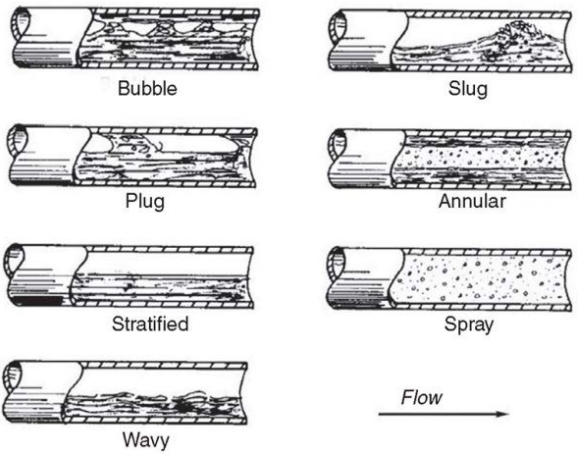
กลับมาที่มาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flow Meter) เพื่อที่เราจะได้เข้าใจการทำงานของมาตรวัดมวลชนิดนี้ซึ่งนับวันยิ่งมีผู้ใช้กันมากยิ่งขึ้น เราก็ยิ่งต้องเรียนรู้อยู่ตลอดเวลา ประเด็นที่จะกล่าวในบทนี้ก็คือ

- ผลของการเกิดฟองอากาศหรือฟองก๊าซในของเหลวภายในมาตรวัดมวลคอริออริสขณะทำการวัดจะเป็นอย่างไร และ
- เราจะจัดการกับปัญหาดังกล่าวอย่างไรเมื่อมาตรวัดมวลคอริออริสมีเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้น และเราได้อะไร (ในระดับหนึ่ง...)

ผลของการเกิดฟองอากาศหรือฟองก๊าซในของเหลวภายในมาตรวัดมวลคอริออริสขณะทำการวัด

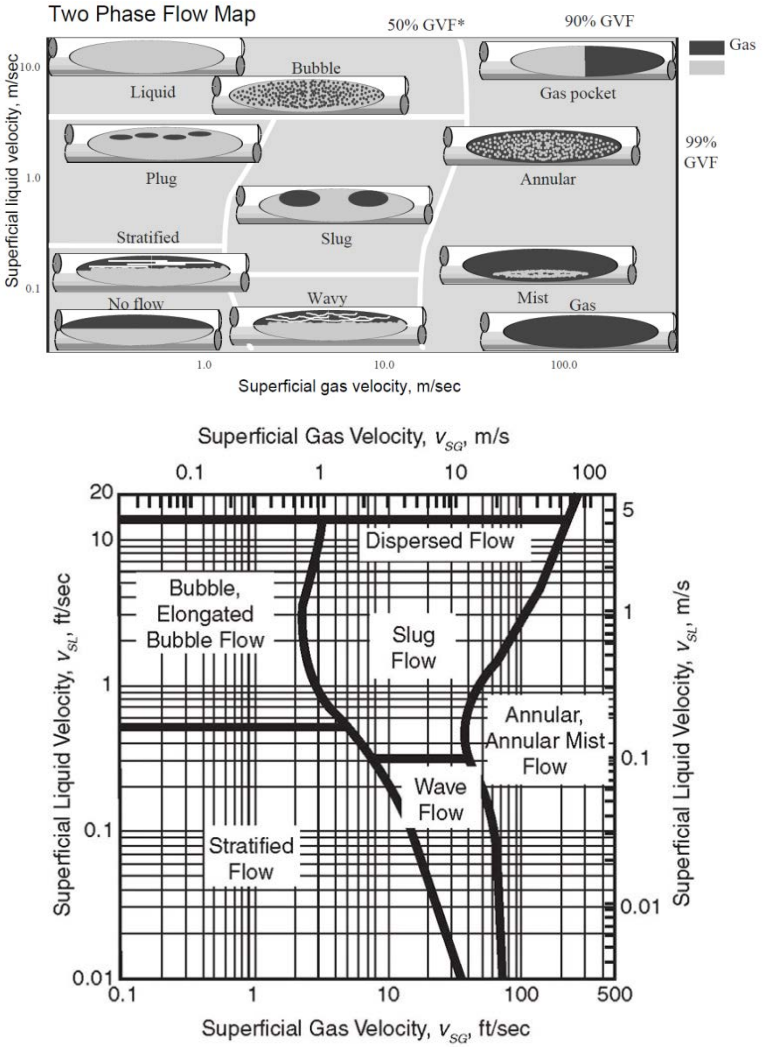
ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจกับคำศัพท์ที่เขาใช้งานกันก่อน และให้กลับไปอ่านหนังสือ “มารู้จักมาตรวัดคอริออริส Coriolis Mass Flowmeters” ของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด เพื่อปูพื้นฐานหลักการทำงานเบื้องต้น

สำหรับรูปแบบการเกิดการไหลแบบ Horizontal 2-Phase Flow ภายในท่อแนวระนาบจะเป็นดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ซึ่งการเป็นแยกแยะรูปแบบ Horizontal Flow Pattern ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณอากาศ (Gas) กับของเหลว (Liquid) กับความเร็วของอากาศ (Gas) กับของเหลว (Liquid) ดังกล่าวด้วย Superficial Velocity ส่วน Vertical 2-Phase Flow ดังในรูปที่ 3 (ยังไม่พูดถึง Incline 2-Phase Flow)



รูปที่ 1 รูปแบบการไหลแบบ 2-Phase ภายในท่อแนวระนาบ

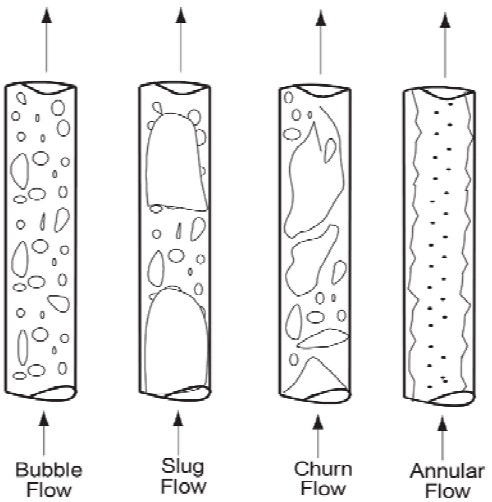
Superficial Velocity เป็นค่าอัตราการไหลจริงของของเหลวสถานะนั้นๆ เทียบกับอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อนั้นของของไหลพร้อมกันทุกสถานะรวมกัน เช่น Superficial Gas Velocity มีค่าเท่ากับ อัตราการไหลจริงของ Gas หารด้วยอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อนั้นของ Gas และ Liquid ทั้ง 2 สถานะ



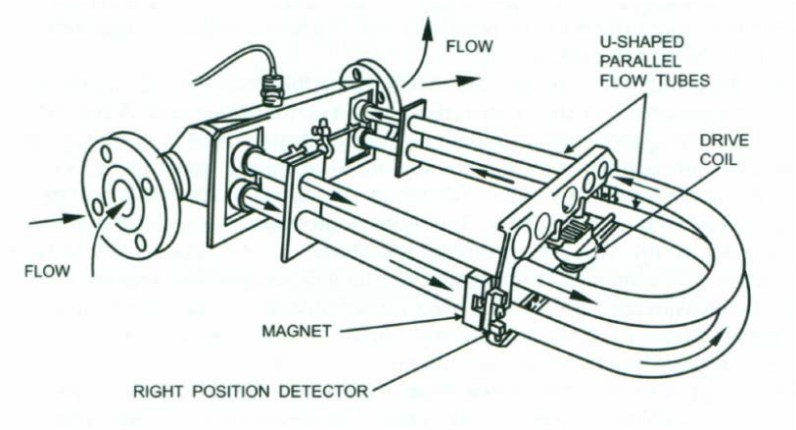
รูปที่ 2 Horizontal Flow Pattern Map (Mandhane 1974)

เพื่อให้ได้ผลวัดการไหลของมวลและค่าความหนาแน่นที่ถูกต้องแม่นยำ มาตรวัดมวลคอริออริสมีตัวกำเนิดสั่นสะเทือน (Drive Coil) ทำหน้าที่กระตุ้นให้ท่อวัด (Flow Tube Sensor หรือ Measuring Tubes หรือ Flow Tubes) สั่นด้วย

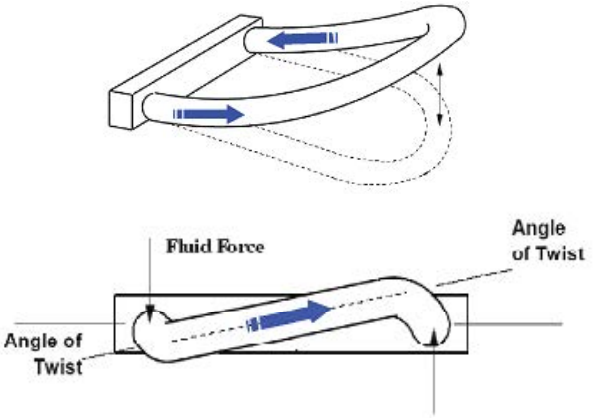
ความถี่ค่าหนึ่งโดยมีค่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) การสั่นคงที่ค่าหนึ่งเพื่อให้ท่อวัดเกิดการเคลื่อนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ซึ่งระยะเคลื่อนที่ดังกล่าวต้องมีค่ามากเพียงพอเพื่อผลิตสัญญาณที่ค่าละเอียดสูงพอ (High-resolution Signals) บนตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Flow Tube Sensor หรือเรียกอีกว่า sensor's pickoffs (PO) ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจากอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณ (Electric Transmitter หรือ Remote Flow Transmitter (RFT)) จะถูกจ่ายไปให้เพียงพอต่อการทำงานของตัวกำเนิดสั่นสะเทือน (Drive Coil) ที่จะกระตุ้นให้ท่อวัดสั่น โดยตัวอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณจะคอยตรวจสอบการทำงานภายหลังจากจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังตัวกำเนิดสั่นสะเทือน ได้จากสายสัญญาณที่เชื่อมมาจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ Sensor's Pickoffs (PO) (ดูรูปที่ 4, รูปที่ 5 และรูปที่ 6) ดังนั้นหากท่อวัดสั่นแล้วมีระยะเคลื่อนที่ลดน้อยลงหรือมากเกินไป ตัวอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณจะทำการเพิ่มหรือลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปเพื่อกระตุ้นตัวกำเนิดสั่นสะเทือนให้ทำหน้าที่รักษาระยะเคลื่อนที่ให้คงที่ตลอดเวลา การเพิ่มพลังงานไฟฟ้าหรือลดพลังงานไฟฟ้านี้เองจึงเป็นที่มาของคำว่า "**Drive Gain**"



รูปที่ 3 รูปแบบการไหลแบบ 2-Phase ภายในท่อแนวตั้ง

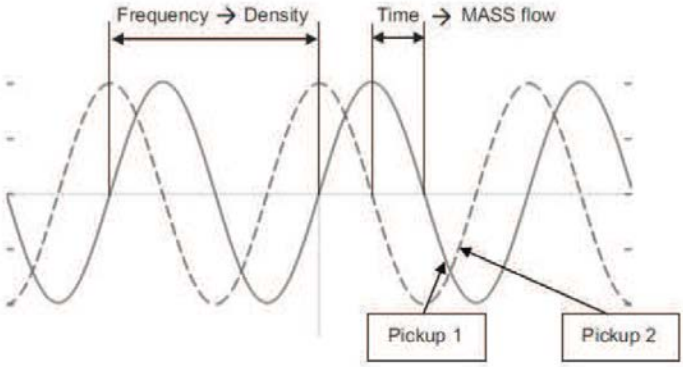


รูปที่ 4 โครงสร้างโดยทั่วไปของมาตรวัดมวลคอริออริส (Micro Motion, Inc.)



รูปที่ 5 หลักการทำงานของมาตรวัดมวลคอริออริส

“Drive Gain” หมายถึง ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานที่จ่ายออกไปจากอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณประจำมาตรวัด (Coriolis Transmitter หรือ Remote Flow Transmitter; RFT) เพื่อไปกระตุ้นตัววัด (Sensor) ในที่นี้ก็คือ “Flow Tube Sensor” หรือ “Measuring Tube” ผ่านตัวกำเนิดสั่นสะเทือนกับปริมาณพลังงานที่เกิดขึ้นและตรวจวัดได้ของตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Flow Tube Sensor หรือเรียกอีกว่า Sensor’s Pickoffs (PO)



รูปที่ 6 สัญญาณจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ Sensor's Pickoffs (PO)

ในสภาวะทำงานปกติค่า Drive Gain จะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อค่า Drive gain เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะที่อิ่มตัวหรือที่เรียกว่า "Saturated" นั้นหมายความว่าตัว Transmitter ประจำมาตรวัดฯ ได้ส่งพลังงานสูงสุดเท่าที่มีออกไปเพื่อไปกระตุ้นตัววัด

ค่า **Transmissivity Ratio (T_r)** หรือค่า **Drive Gain** จึงมีค่าเท่ากับ Pickoff Output หารด้วย Drive Input

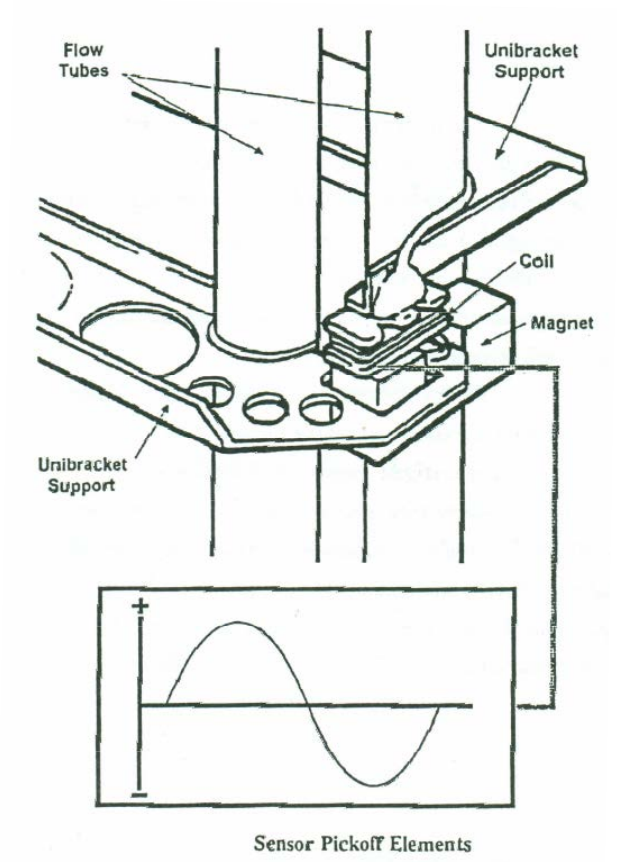
$$T_r = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} = \frac{V_{ac}\ \text{Pickoff Coil}}{V_{ac}\ \text{Drive Coil}}$$

ในสภาวะปกติคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำท่อวัดซึ่งสะท้อนออกมาในรูปของค่าความแข็ง (Stiffness) ของท่อวัด รูปร่างของท่อวัดและขนาดของท่อวัดจะเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานที่ต้องใช้โดยส่งไปยังตัวกำเนิดสั่นสะเทือนเพื่อทำให้ท่อวัดมีระยะสั่นเคลื่อนที่ด้วยระยะที่ต้องการ โดยทั่วไปท่อที่มีขนาดใหญ่ต้องการพลังงานกระตุ้นในการสั่นมากกว่าท่อวัดที่มีขนาดเล็กและท่อวัดที่มีรูปทรงเป็นท่อตรงต้องการพลังงานกระตุ้นให้สั่นมากกว่าท่อที่มีรูปร่างโค้งงอเนื่องจากรูปทรงท่อวัดแบบตรงจะมีค่าความแข็งของท่อวัดสูงกว่าท่อวัดที่มีรูปทรงโค้งงอ ด้วยเหตุนี้ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้กระตุ้นให้ท่อวัดสั่นสะเทือนให้มีระยะการเคลื่อนที่ตามที่ต้องการออกแบบไว้ในแต่ละชนิดจึงมีค่าแตกต่างกันออกไป



รูปที่ 7 ตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) และการติดตั้ง (Micro Motion Model 2700)

ดูรูปที่ 8 ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Flow Tube Sensor หรือเรียกอีกชื่อว่า Sensor's Pickoffs (PO) ที่ถูกติดตั้งบริเวณขาของท่อวัดทั้งสองบริเวณทั้งทางด้านเข้าและด้านออกของเหลวเพื่อทำการตรวจจับการเคลื่อนที่ของขาท่อวัดทั้ง 2 ท่อแต่ละด้าน ซึ่งตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่เป็น Electromagnetic และประกอบด้วย Electromagnetic จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย Magnet และ Coil โดยติดตั้ง Magnet เข้ากับท่อหนึ่งและติดตั้ง Coil กับอีกท่อหนึ่งในตำแหน่งตรงข้ามกัน ทั้ง Magnet และ Coil เคลื่อนที่สัมพันธ์กันเมื่อท่อวัดเกิดการบิดตัวเนื่องจากของเหลวไหลผ่านท่อวัดซึ่งถูกกระตุ้นให้สั่นด้วยความถี่ธรรมชาติคงที่ (No Flow) เมื่อ Coil เคลื่อนที่ไปด้านหน้าและหลังตัดผ่านสนามแม่เหล็กคงที่ (Uniform field of Magnet) ของ Magnet ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นภายใน Coil มีค่าในระดับ mV เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหนี่ยวขึ้นภายใน Coil เทียบกับคาบเวลา แล้วมองผ่านจาก Oscilloscope รูปร่างจะคล้ายกับ SINE WAVE ดังรูปที่ 8 ซึ่งสัญญาณจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่จะถูกส่งไปเปรียบเทียบในทางอิเล็คทรอนิคเพื่อหาค่าปริมาณการบิดตัวของท่อวัด (Coriolis Twist) แล้วแปลงเป็นอัตราการไหลมวลต่อไป



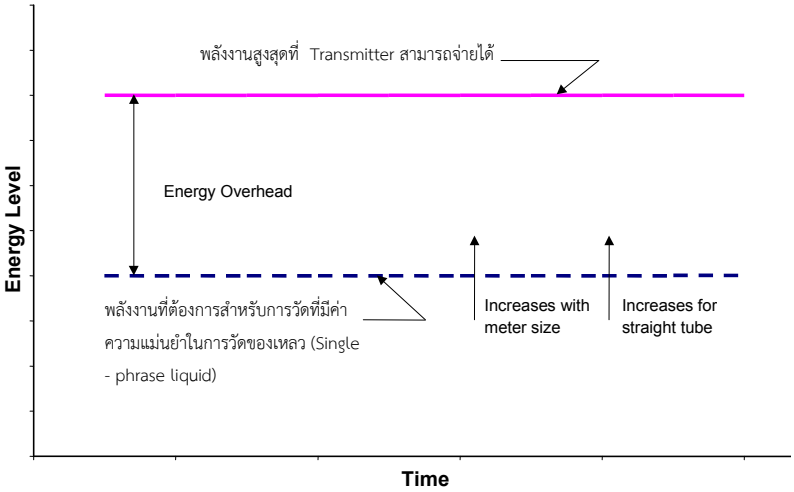
รูปที่ 8 การเหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นภายใน Coil เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นภายใน Coil เทียบกับคาบเวลา

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นภายใน Coil เทียบกับคาบเวลา จึงมีคำที่เกี่ยวข้องที่เรียกว่า “Amplitude”

“Amplitude” หมายถึง ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage) ถูกวัดได้จากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Flow Tube Sensor หรือเรียกอีกอย่างว่า Sensor’s Pickoffs (PO) มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะการ

เคลื่อนที่ของ Flow Tube ซึ่งเป็นค่าระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดกับจุดต่ำสุดของการเคลื่อนที่ของ Flow Tube ค่า Amplitude นี้บ่อยครั้งจะถูกอ้างว่าเป็นค่า PO Amplitude เช่น ในกรณีมาตรวัดมวลคอริออริสของ Micro Motion ซึ่งจะมี Sensor's Pickoffs (PO) จำนวน 2 ตัว ก็จะถูกเรียกเป็น LPO (Left-pickoff) และ RPO (Right-Pickoff)

ด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น กฎทางฟิสิกส์ ลักษณะท่อวัด ความหนาของผนังท่อวัด การเชื่อมประกอบท่อวัด การออกแบบระบบไฟฟ้าภายใต้ข้อจำกัดด้านความปลอดภัยของไฟฟ้า (Intrinsic Safety Requirements) และอื่นๆ จึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจากอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณเพื่อไปกระตุ้นท่อวัดให้มีการสั่นเพิ่มมากขึ้นจึงมีอยู่อย่างจำกัด ดูรูปที่ 9 ระดับพลังงานเส้นประเป็นระดับพลังงานที่มาตรวัดต้องการเพื่อให้ผลการวัดยังคงถูกต้องแม่นยำตามที่ได้รับการออกแบบไว้เมื่อมาตรวัดมวลคอริออริสทำการวัดของเหลวซึ่งมีสถานะของเหลวล้วน (Single-Phase Liquid) นั้นคือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจากอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณจะถูกจ่ายไปให้เพียงพอต่อการทำงานของตัวกำเนิดสั่นสะเทือน (Drive Coil) ที่จะกระตุ้นให้ท่อวัดสั่นเกิดการเคลื่อนที่ด้วยระยะแน่นอนค่าหนึ่ง ซึ่งระยะเคลื่อนที่ดังกล่าวมีค่ามากเพียงพอเพื่อผลิตสัญญาณที่ค่าละเอียดสูงพอบนตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของ Flow Tube Sensor ส่วนระดับพลังงานเส้นทึบเป็นระดับพลังงานสูงสุดที่อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณสามารถจ่ายออกมาได้ พลังงานส่วนต่างนี้เรียกว่า "Energy Overhead" โดยปกติพลังงานส่วนต่างนี้จะแสดงค่าเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานสูงสุดที่อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณสามารถจ่ายออกมาได้ต่อพลังงานที่มาตรวัดต้องการเพื่อให้ผลการวัดยังคงถูกต้องแม่นยำตามที่ได้รับการออกแบบไว้เมื่อมาตรวัดมวลคอริออริสทำการวัดของเหลวซึ่งมีสถานะของเหลวล้วน (Single-Phase Liquid) ทั้งนี้ค่า Energy Overhead ในแต่ละมาตรวัดมวลคอริออริสจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 9 ระดับพลังงานที่สามารถจ่ายออกมาได้ของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) เทียบกับเวลา

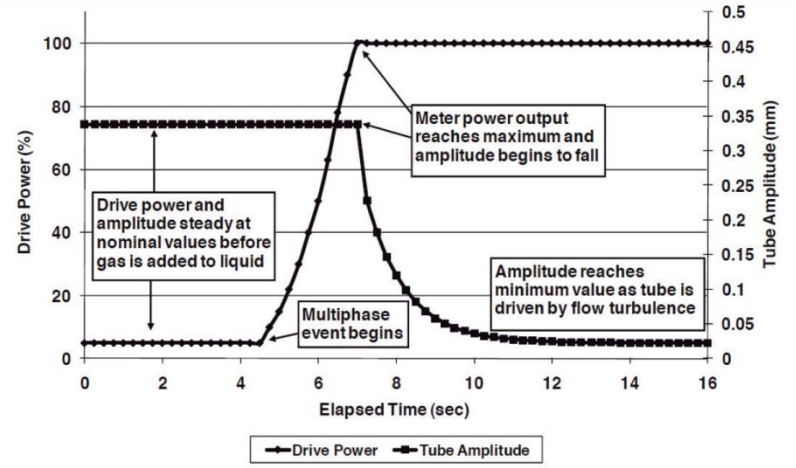
ก่อนจะกล่าวเนื้อหาต่อไปให้เราย้อนกลับมายังเรื่องการออกแบบระบบไฟฟ้าของมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งต้องออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) ที่เรียกว่า “ระบบ Intrinsic Safety” โดยระบบ Intrinsic Safety คือ หลักการที่ใช้ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการเป็นต้นเหตุของการระเบิดในสภาพแวดล้อมที่อันตราย ซึ่งมีการปะปนของก๊าซหรือฝุ่นผงไวไฟและมีโอกาสระเบิดได้ง่าย เช่น การเกิดประกายไฟหรือเกิดความร้อนสูงจากการทำงานจนเป็นเหตุจุดระเบิดส่วนผสมของก๊าซหรือฝุ่นไวไฟเหล่านั้น อุปกรณ์ไฟฟ้าระบบ Intrinsic Safety จึงต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งด้วยวิธีการที่ไม่ให้มีกำลังงานมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดการจุดประกายไฟหรือความร้อนที่จะเป็นสาเหตุให้ส่วนผสมของก๊าซหรือฝุ่นไวไฟเกิดระเบิดในพื้นที่อันตรายได้ แม้ในกรณีที่เกิดการผิดพลาดก็ตาม ด้วยเหตุนี้อุปกรณ์ที่เป็นระบบ Intrinsic Safety จะทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำและใช้พลังงานต่ำกว่า 1 วัตต์ ดังนั้นวิธีการ

ออกแบบดังกล่าวจึงเป็นวิธีการที่แตกต่างจากวิธีป้องกันการจุดระเบิดด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ในอุปกรณ์ Explosion Proof ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ประกายไฟจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแลบออกมาหรือเกิดความร้อนสูงจากการทำงานจนเป็นเหตุจุดระเบิดส่วนผสมของก๊าซหรือฝุ่นไวไฟหรือเมื่อมีการระเบิดก็ระเบิดอยู่ภายในตัวอุปกรณ์ Explosion Proof ถือว่าพอแค่นี้ก่อนในเบื้องต้น

สำหรับมาตรวัดมวลคอริออริสภายใต้ยี่ห้อ Emerson ในกรณี Legacy Transmitters ค่าพลังงานสูงสุดที่สามารถส่งไปกระตุ้นให้ Flow Tubes สั่นอยู่ที่ **14 Volts** ในขณะที่ Transmitter รุ่นใหม่ที่เรียกว่า MVD Transmitters นั้นจะคิดเป็นจำนวน % จะให้ค่าพลังงานสูงสุดเพื่อกระตุ้น Flow Tubes ให้สั่นที่ความถี่ธรรมชาติ (Resonance Frequency) อยู่ที่ 100.45% ดังนั้นในภาพรวมสำหรับมาตรวัดมวลคอริออริสยี้ห้อ Emerson พบว่าภายใต้ของไหล Single Phase ที่อยู่ภายในมาตรวัดคอริออริสโดยปกติแล้วจะใช้พลังงานไปกระตุ้น Flow Tubes อยู่ **ในค่าช่วง 2-5 Volts สำหรับ Legacy Transmitters** และ**ค่าน้อยกว่า 25% สำหรับ MVD Transmitters**

พบว่าเมื่อมีอากาศรั่วเข้าผสมกับของเหลวในระบบท่อ หรือของเหลวเองเกิดการระเหยกลายเป็นก๊าซ (ดูรูปที่ 11) อากาศหรือก๊าซดังกล่าวจะไปดูดซับพลังงานที่กระทำต่อท่อวัด ทำให้ท่อวัดสั่นน้อยลง เมื่ออุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณซึ่งคอยตรวจจับการเคลื่อนที่ของท่อวัดจากตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ Sensor's Pickoffs (PO) พบว่าท่อวัดสั่นแล้วมีระยะเคลื่อนที่ลดน้อยลง ตัวอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณจะทำการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปกระตุ้นตัวกำเนิดสั่นสะเทือนเพื่อรักษาระยะเคลื่อนที่ให้คงที่ตลอดเวลา (และในทางกลับกัน) แต่ต้องระลึกว่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจากอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นเมื่ออากาศรั่วเข้ามามากขึ้นหรือของเหลวเองกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า Drive gain สูงมากขึ้น (ตามนิยาม) เข้าสู่สภาวะที่เรียกว่า "อิ่มตัว (Saturated)" ดูรูปที่ 10 และหากอากาศรั่วเข้ามาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ท่อวัดก็ยิ่งต้องการพลังงานสูงขึ้นในการกระตุ้นให้ท่อวัดสั่นเพื่อรักษาระยะเคลื่อนที่ให้คงที่ (Amplitude คงที่)

จนกระทั่งอุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณไม่สามารถเพิ่มพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปกระตุ้นตัวกำเนิดสั่นสะเทือนเพื่อรักษาระยะเคลื่อนที่ให้คงที่ได้อีกต่อไป พลังงานที่ขาดหายไปในช่วงนี้เรียก “Energy Shortfall” (ดูรูปที่ 12) ทำให้ระยะเคลื่อนที่มีค่าลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่งผลให้มาตรวัดมวลคอริออริสให้ผลการวัดปริมาณและค่าความหนาแน่นแม่นยำลดลงจนไปถึงการให้ผลการวัดที่ไม่เสถียร



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Drive Power สูงขึ้นในขณะเดียวกันท่อวัดจะสั่นด้วย Amplitude น้อยลงเมื่อมีอากาศอยู่ในท่อวัดเนื่องจากอากาศจะไปดูดซับการสั่นของท่อวัดให้สั่นน้อยลง

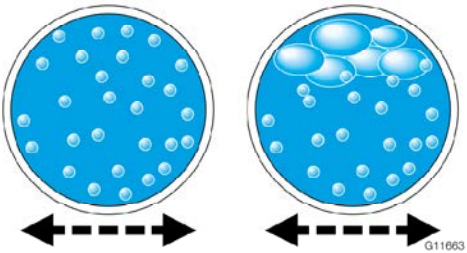
เรามาดูรูปที่ 13 กราฟหมายเลข 500 แสดงถึงการทำงานปกติของมาตรวัดมวลคอริออริสเมื่อของเหลวภายในท่อไม่มีฟองอากาศเข้าไป (Single Phase Liquid) นั่นหมายถึงท่อวัดสั่นโดยอิสระไม่ถูกหน่วงหรือถูกดูดซับพลังงานการสั่นด้วยฟองอากาศ การสั่นของท่อวัดจะสั่นที่ค่าความถี่ธรรมชาติการสั่น (Natural Frequency) หรือ Resonant Frequency อยู่ที่ความถี่เท่ากับ

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_s}{m}}$$

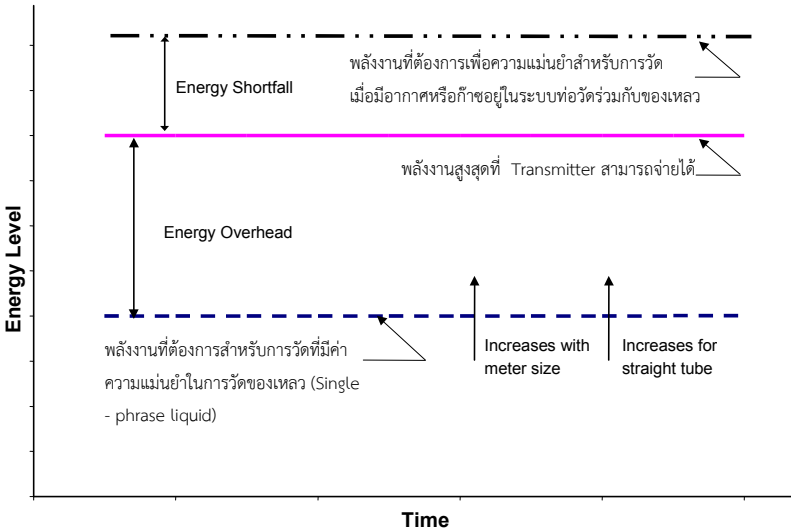
K_s = Spring Constant ของท่อวัด

m = มวลของระบบท่อวัดซึ่งเป็นผลรวมของมวลท่อวัดและมวลของเหลวภายในท่อวัดด้วย

f_n = ความถี่ธรรมชาติของท่อวัดขณะสั่นเมื่อมีของเหลวไหลผ่านท่อ



รูปที่ 11 รูปแบบอากาศที่เข้าไปหรือเกิดขึ้นในระบบท่อแบบ Gas Bubbles และ Slug Flow

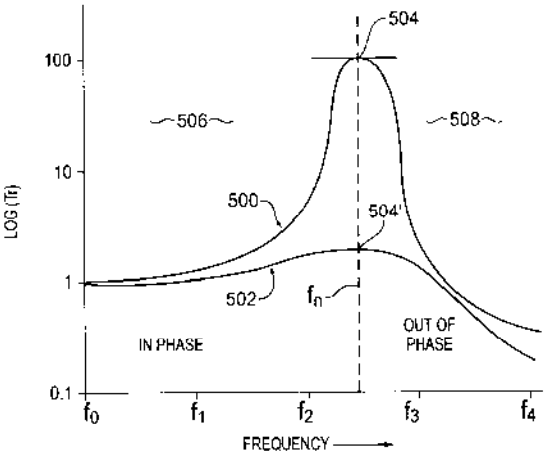


รูปที่ 12 ระดับพลังงานที่จ่ายได้ของตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) เทียบกับเวลา

โดยที่ความถี่ธรรมชาติดังกล่าวจะมีค่า Transmissivity หรือ Drive Gain สูงสุดของกราฟอยู่ที่ตำแหน่ง 504 ในรูปที่ 13 ดังนั้นเมื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของท่อวัดขณะสั่นเมื่อมีของเหลวไหลผ่านท่อจากสมการข้างบน การหาค่าความหนาแน่นของเหลวซึ่งไหลผ่านท่อวัดได้เท่ากับ

$$\rho = \frac{A}{f_n^2} - B$$

เมื่อค่าคงที่ A และ B เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จาการสอบเทียบของผู้ผลิต



รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Transmissivity กับ ความถี่ของการสั่นของท่อวัด เมื่อของเหลวภายในท่อวัดเป็นของเหลวล้วนกับของเหลวผสมอากาศหรือก๊าซ

สำหรับกราฟหมายเลข 502 ในรูปที่ 13 แสดงถึงการทำงานไม่ปกติของมาตรวัดมวลคอริออริสเมื่อของเหลวภายในท่อมีฟองอากาศเข้าไป (2 - Phase Liquid) นั้นหมายถึงท่อวัดจะสั่นไม่อิสระต่อไป แต่จะถูกหน่วงหรือดูดซับพลังงานการสั่นด้วยฟองอากาศ การสั่นของท่อวัดจะยังคงมีค่าความถี่ธรรมชาติ (f_n) ที่ความถี่เท่าเดิมแต่ที่ความถี่ดังกล่าวจะมีค่า Transmissivity หรือ Drive Gain สูงสุดของกราฟอยู่ที่ตำแหน่ง 504’ ซึ่งมีค่าสูงสุดต่ำลงจากเดิม การลดลงของ

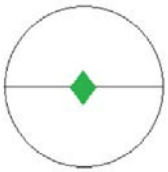
Amplitude ตำแหน่งสูงสุดของกราฟ Log (T_r) จากตำแหน่ง 504 เป็น 504' เนื่องจากฟองอากาศจึงทำให้ยากต่อการตรวจวัดค่าความถี่ธรรมชาติ (f_n) ส่งผลให้สมรรถนะและความเที่ยงตรงของมาตรวัดมวลคอริออริสลดลงตามไปด้วย การหาค่าความหนาแน่นของเหลวซึ่งไหลผ่านท่อวัดจึงเป็นค่ารวมของค่าความหนาแน่นของเหลวกับก๊าซ เหตุก็เป็นเช่นนี้แล

พื้นที่ทางทางซ้ายมือของความถี่ธรรมชาติ (f_n) ของทั้งกราฟหมายเลข 500 และ 502 เรียกว่าพื้นที่ 506 จะเป็นพื้นที่แสดงให้ทราบว่าท่อวัดจะมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกันแต่ความถี่ที่วัดได้จาก Pickoffs Coil ของแต่ละขาของท่อวัดจะมีการ "Drift" มากน้อยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลมวล ในทางกลับกัน พื้นที่ทางทางขวามือของความถี่ธรรมชาติ (f_n) ของทั้งกราฟหมายเลข 500 และ 502 เรียกว่าพื้นที่ 508 จะเป็นพื้นที่แสดงให้ทราบว่าท่อวัดจะมีการสั่นด้วยความถี่ต่างกัน (Out of Phase) เมื่อวัดจาก Pickoffs Coil ของแต่ละขาของท่อวัด ผลที่ได้ตามมาพบว่าได้ค่าความถี่ที่ไม่ถูกต้องแม่นยำส่งผลให้ค่าความหนาแน่นที่วัดได้มีความถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือลดลงตามมา ด้วยเหตุฉะนี้แลเช่นกัน

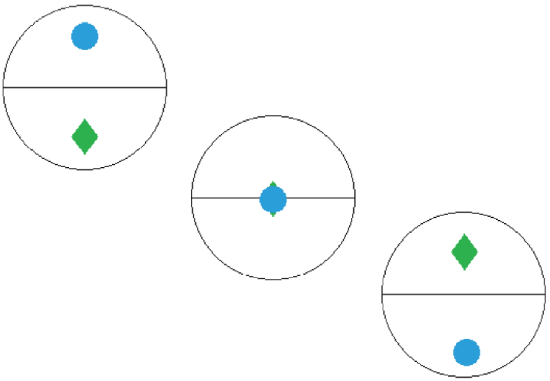
ปรากฏการณ์ Decoupling

เราอธิบายเหตุการณ์เมื่อมีอากาศรั่วเข้าผสมกับของเหลวในระบบท่อหรือของเหลวเองเกิดการระเหยกลายเป็นก๊าซ อากาศหรือก๊าซดังกล่าวจะไปดูดซับพลังงานที่กระทำต่อท่อวัด ทำให้ท่อวัดสั่นน้อยลงได้ว่า

เมื่อในระบบท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสเป็นของเหลวสถานะเดียว (Single-Phase Liquid) จุดศูนย์กลางของมวล (Center of Gravity) ของระบบท่อวัดและจุดศูนย์กลางมวลของของเหลวภายในท่อวัดอยู่ตำแหน่งเดียวกันและเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน จึงไม่เกิดผลกระทบต่อหลักการทำงานมาตรวัดมวลคอริออริส ดังในรูปที่ 14 เป็นภาพตัดท่อวัด โดยรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดเป็นตัวแทนของศูนย์กลางมวลของระบบท่อวัดและจุดศูนย์กลางของของเหลวภายในท่อวัดเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน



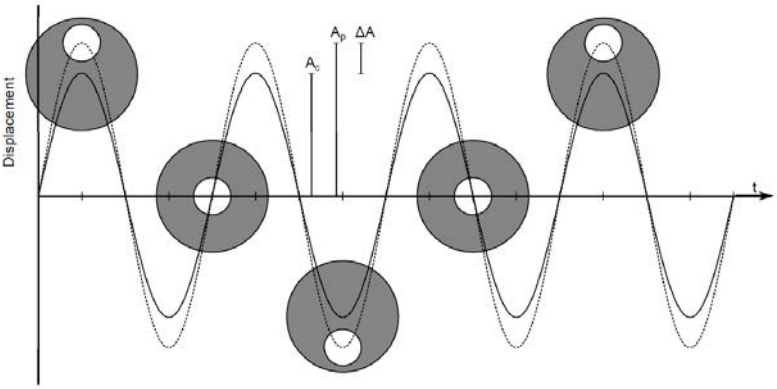
รูปที่ 14 พฤติกรรมของ Single-Phase Fluid ภายในท่อวัดของ มาตรวัดมวลคอริออริส



รูปที่ 15 พฤติกรรมของ Two-Phase Fluid ภายในท่อวัดซึ่งสั่นในแนวตั้ง

เมื่อของเหลวภายในระบบท่อวัดเปลี่ยนเป็นของเหลว 2 สถานะ (Two-Phase Flow) จุดศูนย์กลางของมวล (Center of Gravity) ของระบบท่อวัดจะเคลื่อนที่แยกออกจากจุดศูนย์กลางของของไหล 2 สถานะ (ของเหลว + ก๊าซ) ภายในท่อวัดห่างออกจากกันและกัน ในรูปที่ 15 ให้รูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดเป็นตัวแทนของศูนย์กลางมวลของระบบท่อวัดและให้รูปวงกลมแทนจุดศูนย์กลางของมวลผสมของของไหล 2 สถานะ ด้วยปริมาตรที่เท่ากันระหว่างของเหลวกับฟองก๊าซ ของเหลวกับฟองก๊าซจะมีความเร่งภายในท่อวัดที่แตกต่างกันเนื่องจากมีมวลที่ต่างกัน ฟองก๊าซซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางท่อวัดสั่นสูงกว่าของเหลวที่อยู่รอบตัวมันซึ่งนำไปสู่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ซึ่งกันและกันระหว่างของเหลวกับฟองก๊าซและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุด

ศูนย์กลางมวลผสม (Center of Gravity) ของของไหล 2 สถานะ (ดูรูปที่ 16) เมื่อท่อวัดถูกกระตุ้นให้สั่นด้วยตัวกำเนิดสั่นสะเทือน (Drive Coil) จุดศูนย์กลางของมวลของระบบท่อวัดกับจุดศูนย์กลางมวลผสมจะเคลื่อนที่ไปไม่พร้อมกัน ผลตามมาก็คือการดูดซับพลังงาน



รูปที่ 16 ภาพตัดของของเหลวและฟองก๊าซภายในท่อวัดสั่น ก๊าซซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวจึงมีความเร่งสูงกว่าจึงมีแอมพลิจูดของการสั่นสูงกว่าของเหลว

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงนำไปสู่ผลผิดของการวัดมวลและค่าความหนาแน่นของมาตรวัดมวลคอริออริสเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งศูนย์กลางมวล (Center of Gravity) ของของเหลว 2 สถานะภายในระบบท่อวัด ค่าผลผิดนี้เรียกว่า **“Decoupling Error”** พบว่าของเหลวที่มีค่าความหนืด (Viscosity) สูง หากเกิดการไหลแบบ 2 สถานะคือก๊าซซึ่งอยู่ร่วมกับของเหลวดังกล่าว ก๊าซจะเคลื่อนที่ได้น้อยส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางมวลผสม (Center of Gravity) ของของไหล 2 สถานะน้อย และจุดศูนย์กลางมวลของระบบท่อวัดกับจุดศูนย์กลางของมวลผสมจะเคลื่อนที่ไปไม่พร้อมกันน้อยส่งผลให้เกิด Decoupling Error น้อย นั้นคือผลผิดของการวัดมวลและค่าความหนาแน่นของมาตรวัดมวลคอ

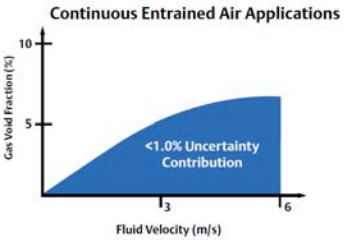
ริออริสจะมีค่าน้อย ในทางกลับกันของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า ก๊าซจะเคลื่อนที่ได้มากกว่าจนเกิด Decoupling Error มากกว่า

"Decoupling" จึงเป็นเรื่องของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างของไหลที่มีความหนาแน่นต่างกัน (ของเหลวกับฟองก๊าซ) เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับ "Phase Shift"

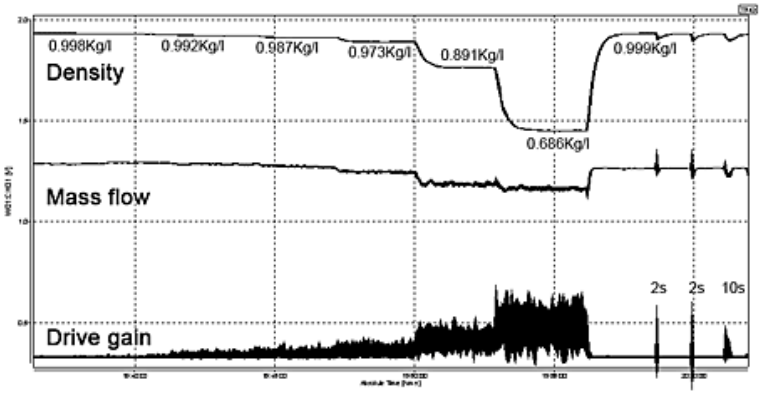
ในการทดสอบมาตรวัดมวลคอริออริส Micro Motion รุ่น ELITE ด้วยน้ำ พบว่าค่า Drive Gain เข้าสู่สภาวะอิ่มตัว (Saturated) เมื่อป้อนอากาศน้อยกว่า 2% by Volume หรือคิดง่ายๆว่ามีอากาศเกือบ 2 % โดยปริมาตรและปริมาตรที่เหลือประมาณ 98% เป็นน้ำ และยังคงให้ผลการวัดที่แม่นยำดีกว่า 1% หากพบว่า Pickoff Amplitude ของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก LPO และ RPO ยังมีค่าสูงกว่า 50 mV_{rms} หากพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก LPO และ RPO ยังมีค่าต่ำกว่า 50 mV_{rms} ให้ถือได้ว่าผลการวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสไม่น่าเชื่อถือ นั้นต้องพิสูจน์กันจริงๆ อีกทีหนึ่ง

ข้อมูลจาก Micro Motion White Paper (WP-00698) เรื่อง "Explain how two-Phase Flow affect mass flowmeters" ได้ให้แนวทางว่ามาตรวัดมวลคอริออริสของ Micro Motion ยังคงให้ความแม่นยำอยู่หากปริมาตรก๊าซอยู่ในของเหลวโดยเฉพาะน้ำแล้วไม่เกิน 5% by Volume (ดูรูปที่ 17) แต่อย่างไรก็ต้องพิสูจน์กันต่อไปเช่นกัน

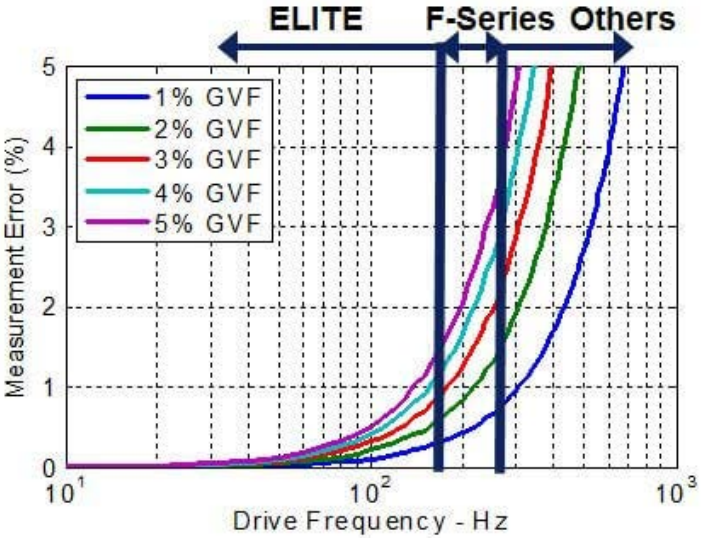
Product	Viscosity	Max. gas content
LPG	0.1 cp	0.5%
Water	1 cp	5%
Latex	5000 cp	50%



รูปที่ 17 %ปริมาตรของอากาศผสมในของเหลว ที่ยังคงให้ผลการวัดแม่นยำอยู่ ข้อมูลจาก Micro Motion White Paper (WP-00698)

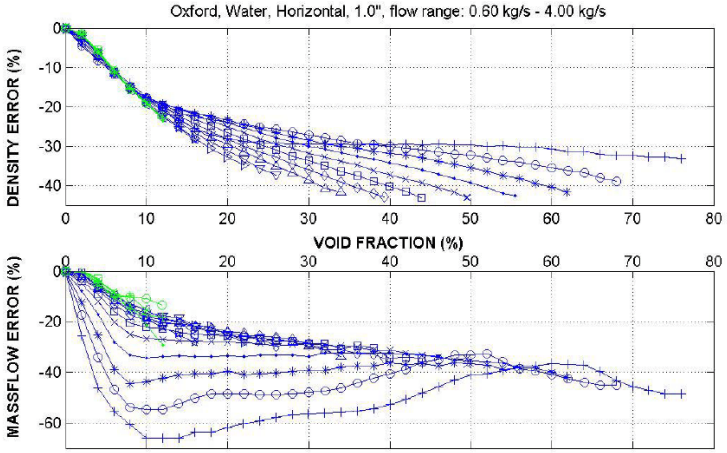


รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Drive Gain อัตราการไหลมวล (Mass Flow) และค่าความหนาแน่นของเหลวที่วัดได้ของมาตรวัดมวลคอริออริส

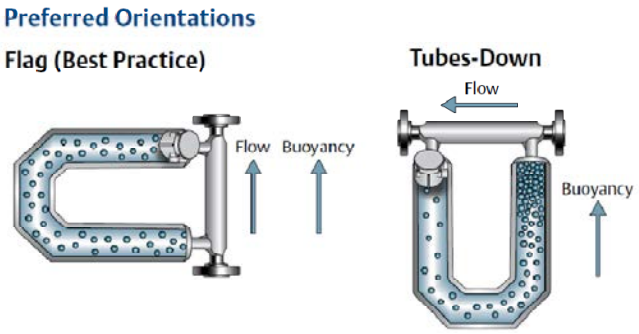


รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ Drive Frequency ของท่อวัดกับผลผิดการวัดของมาตรวัดคอริออริส ขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศผสมอยู่ในของเหลว (Gas Void Fraction; GVF) ขณะทำการวัด รุ่น ELITE ถือว่าได้รับผลกระทบน้อยที่สุดจาก GVF

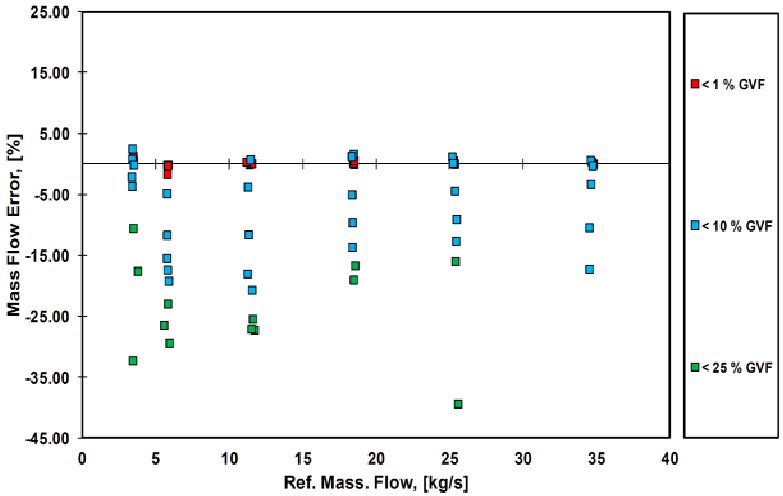
จากรูปที่ 20 ก็จะเห็นผลกระทบของสัดส่วนอากาศต่อของเหลวในระบบท่อ (% Void Fraction) ที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสในอีกรูปแบบ นอกจากนี้ขนาดของฟองอากาศที่ปนอยู่ในของเหลวในระบบท่อเองก็มีผลต่อความแม่นยำในการทำงานของ มาตรวัดมวลคอริออริสด้วยเช่นกัน นั่นคือหากฟองอากาศมีขนาดเล็กกว่าจะมีผลกระทบต่อการทำงานน้อยกว่าฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้การเพิ่มและรักษาความดันย้อนกลับ (Backpressure) ด้านทางออกของมาตรวัดมวลคอริออริสเองทำให้แนวโน้มก่อให้เกิดฟองอากาศลดขนาดลงหรือเล็กลงจนละลายไปกับของเหลว ดังนั้นเทคนิคการติดตั้งมาตรวัดมวลคอริออริสก็ช่วยให้มาตรวัดทำงานถูกต้องเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เช่นกัน ดังในรูปที่ 21 ในกรณีที่ฟองอากาศขนาดเล็กรวมตัวเป็นฟองใหญ่แล้วไหลผ่านมาตรวัดไป การไหลแบบนี้จะเรียกว่า “Slug flow”



รูปที่ 20 %ปริมาตรของอากาศผสมในของเหลว (% Void Fraction) ที่แตกต่างกันมีผลต่อความแม่นยำในการวัดปริมาณส่งจ่ายและค่าความหนาแน่นที่วัดได้ (Henry M, Duta M, Tombs M, Yeung H, Mattar W, “How a Coriolis Mass Flowmeter Can Operate in Two-Phase (Gas/ Liquid) Flow” ISA EXPO 2004 Technical Conference) (+ อัตราการไหลมวลสูง)



รูปที่ 21 ทิศทางการติดตั้ง มาตรวัดมวลคอริออริสเพื่อลดการสะสมของฟองอากาศ



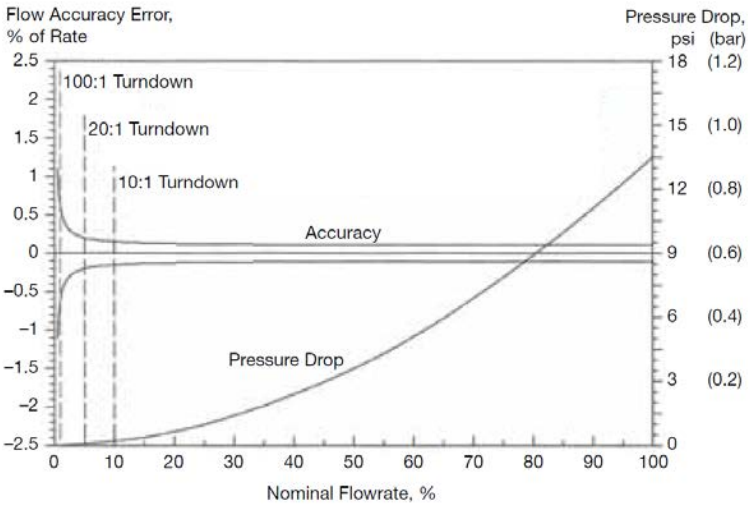
รูปที่ 22 %ปริมาตรของอากาศผสมในของเหลว (% Void Fraction) ที่แตกต่างกันมีผลต่อความ

แนวทางการเลือกขนาดและรูปร่างของท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริส

โดยปกติแล้วความเร็วของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดมวลคอริออริสด้วยความเร็วสูงจะช่วยไล่ให้ฟองอากาศออกไปจากระบบท่อได้รวดเร็วอยู่แล้วแต่ก็

นำมาซึ่งความดันตกคร่อมมาตรวัดมวลคอริออริสสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการเลือกขนาดมาตรวัดมวลคอริออริสจึงต้องประนีประนอมปัจจัย 2 ปัจจัยที่สำคัญ คือความเร็วของเหลวไหลผ่านมาตรวัดมวลคอริออริสกับความดันตกคร่อมมาตรวัดมวลคอริออริส โดยทั่วไปของการออกแบบระบบท่อสำหรับการส่งจ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและน้ำจะกำหนดให้ของเหลวมีความเร็วอยู่ในช่วง 6 - 10 ft/s ดังนั้นการใช้ความเร็วของเหลวเพื่อการลดหรือแก้ไขปัญหาการไหลของเหลว 2 สถานะ (2-Phase Fluid) จึงมีข้อแนะนำว่า

- น้ำหรือของเหลวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำ ควรออกแบบความเร็วของเหลวผ่านมาตรวัดมวลคอริออริสให้มีค่ามากกว่า 3 ft/s
- ของเหลวที่มีความหนืดสูงกว่าน้ำ ออกแบบความเร็วของเหลวผ่านมาตรวัดมวลคอริออริสควรมีค่ามากกว่า 1 ft/s เพราะของเหลวที่มีความหนืดสูงจำเป็นต้องลดความเร็วการไหลเนื่องจากหากมีความเร็วการไหลสูงจะเกิดความดันสูญเสียมากเกินไปแต่ถ้าลดความเร็วการไหลลงมากไปโอกาสที่จะไล่อากาศออกไปยิ่งน้อยลงซึ่งเราต้องเลือกเอาอย่างใดอย่างหนึ่ง



รูปที่ 23 Performance Curve และ Pressure Drop ของมาตรวัดมวลคอริออริส

เพื่อให้แน่ใจว่ามีความดันย้อนกลับด้านทางออกมาตรวัดมวลคอริออริส เพียงพอเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเป็นไอของของเหลวภายในมาตรวัดมวลคอริออริส (Cavitation) ดังนั้นต้องรักษาความดันด้านทางออกต้องไม่น้อยกว่า P_b

$$P_b \geq 2\Delta P + 1.25P_e$$

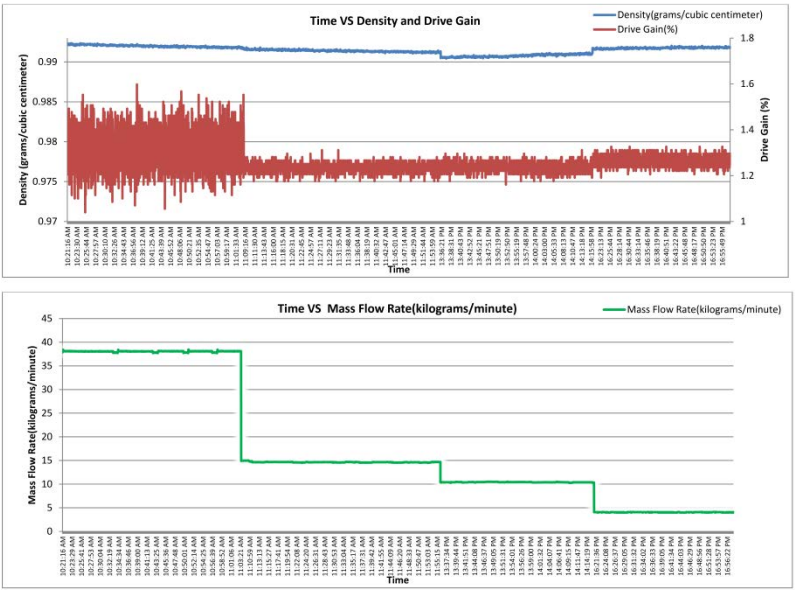
เมื่อ P_b = Minimum back pressure

ΔP = Pressure Drop ผ่าน มาตรวัดมวลคอริออริสที่อัตราการไหลสูงสุดที่ใช้งาน

P_e = ความดันสมดุลไอ (Equilibrium Vapor Pressure) ของของเหลวที่อุณหภูมิทำงาน

ยกตัวอย่างเช่น มาตรวัดมวลคอริออริสรุ่น CNG 050 มี Pressure Drop ผ่านมาตรวัดมวลเท่ากับ 14.7 psi และใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบ ในที่นี้เราให้ค่า P_e ของน้ำมีค่าน้อยมากอาจตัดทิ้งไปได้ ดังนั้นความดันด้านทางออกของมาตรวัดมวลดังกล่าวต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 29.4 psi หรือความดันด้านทางเข้ามาตรวัดมวลควรมีค่าไม่น้อยกว่า 29.4 + 14.7 = 44.1 psi หากมีค่าน้อยกว่านี้อาจเกิดไอของของเหลวภายในมาตรวัดมวลหรือที่เรียกว่า “Cavitation” โดยเฉพาะเมื่ออัตราการไหลมวลมีค่าสูง ผลที่ตามมาหลังจากเกิด Cavitation ภายในมาตรวัดมวลนั้นคือค่า Drive Gain ของมาตรวัดมวลจะเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 10% จนสังเกตได้ดังรูปที่ 24

นอกจากนี้มาตรวัดมวลคอริออริสที่มีขนาดเล็กมีความต้องการพลังงานในการกระตุ้นให้ท่อวัดสั่นน้อยกว่าท่อวัดที่มีขนาดใหญ่กว่า (1 ½ -3 นิ้ว) ดังนั้นมาตรวัดมวลคอริออริสขนาดเล็ก (1/4 ถึง 1 นิ้ว) จึงมีโอกาสที่อุปกรณ์ถ่ายถอดสัญญาณ (Transmitter) มีพลังงานเหลือเพียงพอมากกว่า ด้วยเหตุนี้มาตรวัดมวลคอริออริสขนาดเล็กจึงมีโอกาสที่มี Overhead Energy เหลือมากกว่าหรืออาจกล่าวได้ว่ามาตรวัดมวลคอริออริสขนาดเล็กควรได้รับเลือกใช้และให้ไปเผชิญกับการไหลแบบ 2 - Phase Fluid ได้ดีกว่า มาตรวัดมวลคอริออริสที่ใหญ่กว่านั่นเอง



รูปที่ 24 ที่อัตราการไหลทดสอบด้วยน้ำที่ 38.6 l/min ความเร็วการไหลของน้ำผ่านท่อวัดสูง ในขณะที่ความดันก่อนทางเข้าประมาณ 20 Psi ส่งผลให้เกิด Back Pressure ไม่เพียงพอทำให้เกิด Cavitation ภายในท่อวัดของมาตรวัดมวลส่งผลให้ได้ค่า Drive Gain เพิ่มสูงขึ้น และเปลี่ยนแปลงค่ามากผิดปกติเกิน 10% จากค่าเฉลี่ย

ท่อวัดที่มีรูปร่างตัว “U” จะเป็นรูปร่างที่ง่ายต่อการติดตั้งและลดโอกาสการเกิด Air Pockets ดักอยู่ภายในท่อวัดได้ดีกว่าท่อวัดที่รูปร่างแบบ “Ω” แต่ในขณะเดียวกันท่อวัดรูปร่างตัว “U” ปกติมีขนาดใหญ่กว่าซึ่งส่งผลให้มีความเร็วของเหลวไหลผ่านมาตรวัดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการไหลมวลที่ต้องการ ซึ่งอาจมีความเร็วการไหลที่ไม่เพียงพอจะไล่อากาศหรือก๊าซออกไปจากท่อวัด แต่เราสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการเพิ่ม Backpressure ด้านทางออกของมาตรวัดมวลคอริออริสให้สูงขึ้น เช่นติดตั้ง Control Valve เป็นต้น

ข้อสังเกตทางเทคนิค

เมื่อมีอากาศไหลเข้าระบบท่อ หากเป็นมาตรวัดมวลคอริออริสซึ่งมีท่อวัดลักษณะแบบโค้งงอ การรายงานผลค่าความหนาแน่นจะลดน้อยลงปกติ แต่ในทางกลับกันหากท่อวัดมีลักษณะเป็นท่อตรงมาตรวัดมวลคอริออริสจะรายงานค่าความหนาแน่นสูงกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออากาศหลุดเข้าไปในท่อวัดฟองอากาศดังกล่าวจะไปดูดซับการสั่นของท่อวัดทำให้ค่าความถี่ของการสั่นของท่อวัดลดลงส่งผลให้ระบบประมวลผลของมาตรวัดมวลคอริออริสเข้าใจและประมวลผลว่าของเหลว 2 สถานะนั้นมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นจากค่าความถี่การสั่นที่ลดลงนั่นเอง

สำหรับข้อสังเกตโดยทั่วไปเมื่อท่อวัดของมาตรวัดมวลคอริออริสทำงานภายใต้เงื่อนไขของเหลวในระบบท่อมีอากาศเข้ามาทำให้ระบบของเหลวเป็น 2-Phase Fluid เราสามารถตรวจสอบค่า Drive Gain ของมาตรวัดมวลคอริออริสว่ามีค่าสูงขึ้นหรือไม่ และหากยังคงยิ่งมีอากาศเข้าไปมากยิ่งขึ้นค่า Drive Gain จะเข้าสู่สภาวะ Saturated เร็วขึ้น ซึ่งเราดึงข้อมูลดังกล่าวได้จากTransmitter ประจำมาตรวัดมวลคอริออริส โดยปกติแล้วค่า Drive Gain ของมาตรวัดมวลคอริออริสแต่ละรุ่นแต่ละยี่ห้อมีค่าไม่เท่ากัน

แต่อย่างไรก็ตามไม่ใช่เป็นเพราะระบบของเหลวเป็น 2-Phase Fluid เพียงอย่างเดียวที่ทำให้ค่า Drive gain สูงหรือเปลี่ยนแปลง แต่ยังมีอีกหลายสาเหตุที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง Drive Gain เช่น

- ขนาดท่อวัด (Flow Tube หรือ Sensor) ท่อวัดที่มีขนาดใหญ่ต้องการค่า Drive Gain สูงเพื่อใช้พลังงานมากไปกระตุ้นให้ท่อสั่นด้วยความถี่ Resonance Frequency ตลอดเวลาที่อัตราการไหลมวลเปลี่ยนแปลง
- องค์ประกอบของไหลภายในท่อวัด (Fluid Composition) นั้นคือหากเป็นของไหลแบบ 2-Phase Flow มาตรวัดมวลคอริออริสต้องการ Drive Gain สูงขึ้น

- ความหนาแน่นของไหล (Fluid Density) ยิ่งของไหลมีความหนาแน่นสูง มาตรวัดมวลคอริออริสต้องการ Drive Gain สูงขึ้นเพราะมวลของระบบท่อวัดสูงขึ้น
- ความหนืด (Fluid Viscosity) ยิ่งของไหลมีค่าความหนืดสูง มาตรวัดมวลคอริออริสต้องการ Drive Gain สูงขึ้น
- อุณหภูมิท่อวัด (Coil Temperature) ท่อวัดยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ยิ่งเข้าใกล้อุณหภูมิสูงสุดในการออกแบบ มาตรวัดยิ่งมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ มาตรวัดมวลคอริออริสต้องการ Drive Gain สูงขึ้น

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น นั้นหมายถึงความเที่ยงของมาตรวัดมวลคอริออริสขึ้นอยู่กับค่า Reynolds Number นอกจากนี้อาจมีสาเหตุอื่นๆ ตัวอย่างดังในรูปที่ 25

Table 11-8 **Excessive drive gain causes and remedies**

Cause	Possible remedy
Excessive slug flow	See Section 11.17.
Plugged flow tube	Purge the flow tubes.
Cavitation or flashing	Increase inlet or back pressure at the sensor.
	If a pump is located upstream from the sensor, increase the distance between the pump and sensor.
Drive board or module failure, cracked flow tube, or sensor imbalance	Contact Micro Motion. See Section 1.8.
Mechanical binding at sensor	Ensure sensor is free to vibrate.
Open drive or left pickoff sensor coil	Contact Micro Motion. See Section 1.8.
Flow rate out of range	Ensure that flow rate is within sensor limits.
Incorrect sensor characterization	Verify characterization. See Section 4.2.

รูปที่ 25 ตัวอย่างการค้นหาสาเหตุเมื่อค่า Drive Gain สูงผิดปกติจากผู้ผลิต Micro Motion

เราได้อะไรจากบทนี้

หากเราใช้แบบมาตรามาตรวัดชนิดมาตรวัดมวลคอริออริสในการตรวจสอบตู้จ่าย LPG หากเราพบว่ามาตรวัดมวลคอริออริสมีค่า Drive Gain สูงขึ้นผิดปกติ เราก็สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อบอกกล่าวเจ้าของตู้ว่าระบบการจ่าย LPG นั้นรั่วหรือ Air Eliminator ประจำตู้จ่ายทำงานบกพร่องหรือเสีย ส่วนจะเจตนาหรือไม่ค่อย

สืบสวนต่อไป อีกทั้งเพื่อให้แน่ใจว่าเราขาย LPG ไม่ใช่ขาย.....อากาศ.....ครับ .....เจ้านาย....!!!! ซึ่งเราทำได้อยู่แล้วในรถยนต์โมบาย 3 ระบบ OIL CNG & LPG

การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

(Weighing test using substitution of standard weights)

เมื่อนานมาแล้วได้มีบทสนทนาในระหว่างการทำงานว่า “ทำไมไม่ตรวจเครื่องชั่งรถยนต์พิกัดกำลัง 50 ตัน ละ” จากนั้นก็ได้รับเหตุผลต่างๆ ในการรับฟังตกลงสามารถตรวจเครื่องชั่งรถยนต์พิกัดกำลัง 50 ตัน ทำได้แน่นอนครับ เรามาพิจารณาไปพร้อมๆ กันไปดังต่อไปนี้

การตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก

จากข้อกำหนดใน OIML R76-1, 8.3 การตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก (Initial verification) นั้นได้กำหนดแนวทางการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกไว้ ซึ่งจะมีเนื้อหาสาระแนวทางการทดสอบตาม OIML R76-1, 8.3.1 ความสอดคล้องของคุณสมบัติของเครื่อง (Conformity), 8.3.2 การตรวจสอบด้วยสายตาเบื้องต้น (Visual Inspection), 8.3.3 การทดสอบ (Tests) และ 8.3.4 การประทับตรา (Marking and Securing) โดยสาระสำคัญที่จะเน้นอยู่ใน 8.3.3 รายละเอียดดังนี้

8.3.3 การทดสอบ (Tests)

- ข้อกำหนด 3.5.1, 3.5.3.3 และ 3.5.3.4 สำหรับผลผิดของการแสดงค่า (Error of Indications) (ตามข้อกำหนด A.4.4 ถึงข้อกำหนด A.4.6 แต่ให้ทดสอบด้วยการวางน้ำหนัก 5 ครั้ง ถือว่าพอเพียง)
- ข้อกำหนด 4.5.2 และ 4.6.3 สำหรับความถูกต้องแม่นยำของส่วนตั้งศูนย์ และส่วนทดน้ำหนัก (Accuracy of Zero-Setting and Tare Devices) (ตามข้อกำหนด A.4.2.3 และข้อกำหนด A.4.6.2)

- ข้อกำหนด 3.6.1 สำหรับความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability) (ตามข้อกำหนด A.4.10 แต่ชั่งไม่เกิน 3 ครั้ง สำหรับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III และ IIII หรือ 6 ครั้ง สำหรับเครื่องชั่งชั้น I และ II)

- ข้อกำหนด 3.6.2 สำหรับการเยื้องศูนย์ (Eccentric Loading) (ตามข้อกำหนด A.4.7)

- ข้อกำหนด 3.8 สำหรับดิสคริมิเนชั่น (Discrimination) (ตามข้อกำหนด A.4.8) ไม่นำข้อกำหนดไปใช้งานกับเครื่องชั่งที่มีส่วนแสดงค่าแบบดิจิทัล

- ข้อกำหนด 4.18 ทดสอบการวางเอียง (Tilt) กรณีเครื่องชั่งแบบพกพา (Mobile instrument) (ตามข้อกำหนด A.5.1.3) และ

- ข้อกำหนด 6.1 ตรวจสอบหรือทดสอบความรู้สึก (Sensitivity) สำหรับเครื่องชั่งแสดงค่าเองไม่ได้ (Non-Self-Indicating Instruments) (ตามข้อกำหนด A.4.9)

เพื่อให้เป็นไปตามแนวทางข้อแนะนำดังกล่าวจึงได้กำหนดและสรุปขั้นตอนโดยภาพรวมของการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกหรือชั้นหลัง ไว้ดังนี้

1. จัดวางเครื่องชั่งในตำแหน่งที่มั่นคง สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ทำงานด้วยแหล่งพลังงานไฟฟ้าต้องเปิดเครื่องให้พร้อมรอรับการตรวจสอบให้คำรับรองอย่างน้อย ½ ชั่วโมง

2. ตรวจสอบเอกสาร หรือข้อบันทึกหมายเหตุ เอกสาร OIML R76-1 ว่ามีการทดสอบการชั่งเพิ่มเติม (Supplementary Tests) เพิ่มเติมหรือไม่ ในขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาความต้องการของหน่วยงานสำนักงานกลางชั่งตวงวัดว่ามีอยู่ในระดับใดหรือมีความพร้อมมากน้อยเพียงใด

3. ตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปด้วยสายตาและบันทึกว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติมีคุณสมบัติทางชั่งตวงวัด (Metrological Characteristics) ตามกฎกระทรวงฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546

4. ดำเนินการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability Test) การทดสอบนี้ถือว่าเป็นการทดสอบวางน้ำหนักทดสอบก่อนการทดสอบจริง (Pre-Load Test) หรือเพื่อเป็นการอุ่นเครื่องกลไกที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องชั่ง สำหรับในกรณีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติแบบกลไก ในระหว่างดำเนินการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำได้ให้ทำการตรวจสอบความเที่ยง (Accuracy) ของส่วนตั้งศูนย์ (Zero Setting Device) ของเครื่องชั่งไปด้วย ตามขั้นตอนที่ 6

แนวปฏิบัติที่ต้องพิจารณา (ก่อนหาข้อยุติ)

เท่าที่ทราบในบางประเทศที่ต้องการดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ แต่ยังคงอยู่บนพื้นฐานทางเทคนิคซึ่งส่วนตัวก็ยอมรับได้เช่นกัน สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีพิกัดกำลังสูงๆ เช่น 20,000 กก. ขึ้นไปกำหนดไว้ว่า **หากทำการทดสอบเครื่องชั่งในขั้นตอนการทดสอบความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability Test) และปรากฏว่าเครื่องชั่งมีผลผิดของความสามารถทำซ้ำได้สูงเกินกว่าที่กำหนดหรือพูดง่ายๆ ว่าไม่ผ่านการทดสอบแล้ว ถือว่ายุติการทดสอบอื่นๆ ที่จะตามมาเนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและจำเป็นสำหรับเครื่องชั่ง ดังนั้นเครื่องชั่งต้องผ่านขั้นตอนการทดสอบขั้นตอนนี้เสียก่อน**

5. ดำเนินการทดสอบการเยื้องศูนย์ (Eccentricity Test)

6. ดำเนินการทดสอบหาความเที่ยงของตำแหน่งศูนย์ (Checking Zero) ในกรณีของเครื่องชั่งอิเลคทรอนิคส์

7. กำหนดน้ำหนักทดสอบสำหรับการทดสอบการชั่ง (Weighing Test) ทั้งนี้ให้แน่ใจว่าสามารถครอบคลุมน้ำหนักทดสอบที่ค่าครึ่งหนึ่งของพิกัดกำลังสูงสุด (Max) ด้วย

8. การรวมเอาการทดสอบการชั่งเข้ากับการทดสอบดิสคริมิเนชั่น (Discrimination Test) เข้าด้วยกัน โดยดำเนินการทดสอบการชั่งหลังจากที่ได้กำหนดน้ำหนักทดสอบ ทั้งนี้ให้เลือกค่าน้ำหนักทดสอบค่าหนึ่งในค่าทั้งหมดที่

กำหนดน้ำหนักทดสอบเพื่อทำการทดสอบดิสคริมิเนชั่น ต่อจากนั้นก็ดำเนินการทดสอบการชั่งด้วยค่าน้ำหนักที่กำหนดไว้ในค่าถัดไป

9. ดำเนินการทดสอบหาความความเที่ยงของการตั้งค่าน้ำหนักทด (Accuracy of Tare Setting) ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งอิเลคทรอนิคส์

10. ดำเนินการทดสอบการชั่งการทดน้ำหนัก (Tare Weighing Test)

11. ดำเนินการทดสอบอื่นๆ ตามความเหมาะสม หรือตามที่จำเป็นในเครื่องชั่งที่มีคุณสมบัติต่างจากเครื่องชั่งโดยทั่วไป เช่น การทดสอบความมั่นคงของสมดุล (Test of the Stability of Equilibrium) ของเครื่องชั่งพิมพ์ราคาได้ (Price-Labeling Instrument)

การทดสอบการชั่ง (Weighing Test)

การทดสอบการชั่งในขั้นตอนที่ 7 ดังในข้างต้นนั้น ถือเป็นขั้นตอนที่ถูกใช้เพื่อหาสมรรถนะการชั่งของเครื่องชั่งที่ตำแหน่งภาระน้ำหนักที่แตกต่างกันในขณะที่เครื่องชั่งกำลังอยู่ภายใต้สภาวะการทดสอบด้วยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่ง ซึ่งก็เหมือนเครื่องชั่งตวงวัดทุกชนิดที่เราต้องหาสมรรถนะของเครื่องชั่งตวงวัด ดังนั้นต้องระลึกไว้ว่าการทดสอบการชั่งด้วยการวางหรือลดน้ำหนักทดสอบบนเครื่องชั่ง ต้องวางน้ำหนักทดสอบในลักษณะที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

หากเครื่องชั่งมีส่วนตั้งศูนย์อัตโนมัติหรือส่วนรักษาศูนย์ ส่วนดังกล่าวอาจยังคงทำงานอยู่ได้ระหว่างทำการทดสอบการชั่ง ยกเว้น การทดสอบในเรื่องอุณหภูมิ ผลผิดที่ตำแหน่งศูนย์ของเครื่องชั่งสามารถหาได้จาก OIML R76-1, ข้อกำหนด A.4.2.3.2 นอกจากนี้เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น จึงควรทำความเข้าใจในเนื้อหาเพิ่มเติมก่อนใน OIML R76-1, ข้อกำหนด A.4.4.1

เราจึงแบ่งวิธีการทดสอบการชั่งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกันคือ

1. การทดสอบการชั่งที่ไม่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing Test Without Using Substitution of Standard Weights) กับ

2. การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing Test Using Substitution of Standard Weights) ร่วมกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

ดังนั้นอุปกรณ์เครื่องมือที่สำคัญจึงเป็นตุ้มน้ำหนักทดสอบ หากเรามีตุ้มน้ำหนักทดสอบที่มีพิกัดกำลังครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง เราก็สามารถทำการทดสอบแบบที่ 1 ได้ไม่มีปัญหาใดๆแต่ถ้าหากไม่มีตุ้มน้ำหนักครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งล่ะ เราก็ต้องมีเทคนิคทำงานกันบ้างละ ซึ่งเทคนิคนี้ผมไม่ได้คิดเองหรอก รับรู้และเรียบเรียงมาบอกกล่าวกับท่านนี้แหละ

จึงมีหลักคิดการพิจารณาพิกัดกำลังตุ้มน้ำหนักโดยภาพรวมในการทดสอบการชั่งในส่วนของจำนวนตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Standard Weights) กับน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Substitution of Standard Weights) พิจารณาดังนี้คือ

1. จำนวนตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Standard Weights)

พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง (Max)	**จำนวนตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (kg) (แนะนำ)**
Max ≤ 1,000 kg	1,000 kg + addition tare♣ + 0.1e ถึง 10e
1,000 kg < Max ≤ 5,000 kg	1,000 kg หรือ 50% Max เลือกค่ามากกว่า + addition tare + 0.1e ถึง 10e
5,000 kg< Max	≥20% Max + addition tare + 0.1e ถึง 10e

หมายเหตุ ♣ ในกรณีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีส่วนทดน้ำหนัก

2. ปริมาณน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Substitution of Standard Weights) หากใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเมื่อทดสอบเครื่องชั่งที่มีพิกัดกำลังสูงสุดเกินกว่า 1 ตัน ยอมให้ใช้น้ำหนักอื่นๆที่มีค่าคงที่เพื่อแทนน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราได้แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability Error) ดังในตารางข้างล่างเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ผลผิดของการซ้ำได้กับพิกัดกำลังรวมต่ำสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ควรมี โดยน้ำหนักที่เหลือเป็นน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราได้

ทั้งนี้การหาผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability Error) หาได้โดยวางน้ำหนักทดสอบด้วยน้ำหนักประมาณ 50% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งบนส่วนรับน้ำหนัก 3 ครั้งติดต่อกัน

Repeatability Error	Standard Weights (when Max > 1,000 kg)
> 0.3e	1,000 kg หรือ 50% Max.
≤ 0.3e	35% Max.
≤ 0.2e	20% Max.

ก. การทดสอบการชั่งที่ไม่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing Test Without Using Substitution of Standard Weights)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 5 ช่วงการทดสอบ, L นั้นคือน้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกันเพื่อทดสอบอย่างน้อย 5 ค่า โดยขอบเขตในการเลือกค่าน้ำหนักทดสอบให้ครอบคลุมถึงน้ำหนักทดสอบต่อไปนี้

- น้ำหนักทดสอบต้องครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง โดยการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของค่าน้ำหนักทดสอบควรมีระยะแตกต่างกันอย่างใกล้เคียงกันให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ (Multi - Interval Instrument) ที่มีหลายช่วงการชั่งย่อย (Partial Weighing Ranges) ให้เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดด้วย
- ต้องไม่เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่เป็นจุดที่ค่าขั้นหมายมาตรา (Scale Interval) เปลี่ยน ให้เลือกตำแหน่งที่น้อยกว่าจุดดังกล่าว 5e แทน
- ค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งวิธีการเข้าสู่สมดุลของเครื่องชั่งเปลี่ยนไป
- ต้องไม่เลือกจุดน้ำหนักที่เท่ากับพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งหากเมื่อทำการชั่งน้ำหนักมากกว่าค่าพิกัดกำลังของเครื่องชั่งแล้วส่วนแสดงค่าไม่แสดงผลการชั่งใดๆ ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้ตำแหน่งน้ำหนักทดสอบให้มีค่าน้อยกว่าพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง 5e แทน

2. ทำการบันทึกค่าน้ำหนักทดสอบใน แถว L , บันทึกค่าน้ำหนักที่เครื่องชั่งแสดงค่า แถว I และทำการหาค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักทดสอบใส่ในแบบฟอร์มประเมินผล

3. ปรับให้เครื่องชั่งแสดงค่าศูนย์

4. วางน้ำหนักทดสอบลงบนส่วนรับน้ำหนักโดยเพิ่มขึ้นตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง ตามค่าน้ำหนักทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอน 1. โดยต้องตระหนักว่าให้วางน้ำหนักทดสอบในลักษณะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

5. ในแต่ละค่าน้ำหนักทดสอบที่วางลงไปนั้น ให้ทำการตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ ด้วยวิธีการทดสอบหาอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error Check) (ไปอ่านในหนังสือ “การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ” สำนักงานกลางชั่งตวงวัด) หรือทำการหาตำแหน่งค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบด้วยการหาตำแหน่งเปลี่ยนจุด (Changeover Point) ตำแหน่งถัดไป โดย

5.1 วางน้ำหนักเพิ่มเติม (Additional Weights) เท่ากับ 0.1e ลงบนส่วนรับน้ำหนัก และวางเพิ่มทีละชิ้นในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งส่วนแสดงค่าแสดงค่าผลการชั่งเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา ($I + e$)

5.2 บันทึกค่าน้ำหนักเพิ่มเติมทั้งหมดที่ใส่ลงไป เป็นค่า ΔL

5.3 เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบก่อนเครื่องชั่งปัดค่าน้ำหนักไปแสดงค่าที่ $I + e$ เรียกว่า P สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$P = I + \frac{1}{2}e - \Delta L$$

6. เอาน้ำหนักทดสอบออกจากส่วนรับน้ำหนักในลักษณะที่มีการลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอจาก พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องโดยให้มีค่าเท่ากับเมื่อครั้งที่เพิ่มน้ำหนักในขั้นตอนที่ 4

7. ในแต่ละค่าน้ำหนักทดสอบที่คงเหลือไว้นั้น ให้ทำการตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ ตามขั้นตอนที่ 5

8. ตรวจสอบผลผิดที่แต่ละค่าน้ำหนักทดสอบทั้งในขั้นตอนเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักว่ายังคงอยู่ในขอบเขตของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่ ถ้าอยู่ภายในขอบเขต ถือว่าผ่านการทดสอบการชั่ง

ตารางรายงานผลการทดสอบการชั่ง (Weighing Test)

Non-self-indicating instrument						Weighing Test E < MPE Pass
Load (L)		Indication (I)		Measure deviation (E = I – L)		MPE
II	III	↓	↑	↓	↑	
0	0					0.5e
Min	Min					
5000e	500e					
						1.0e
20000e	2000e					
						1.5e
MAX.	MAX.					

Self and Semi-self-indicating instrument										Weighing Test E < MPE Pass
Load (L)		Indication (I)		Additional load (ΔL)		Indication prior to rounding P = I+1/2 e - ΔL		Measure deviation (E = P – L)		MPE
II	III	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	
0	0									0.5e
Min	Min									
5000e	500e									
										1.0e
20000e	2000e									
										1.5e
MAX.	MAX.									

ข. การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing Test Using Substitution of Standard Weights)

เงื่อนไขก่อนที่ดำเนินการทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา นั้นก็คือ

เครื่องชั่งต้องผ่านการทดสอบการทำซ้ำได้ (Repeatability Test) นั่นคือมีผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability Error) ตามที่กำหนด ทั้งนี้อาจเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองสูงมากในการสอบเทียบเครื่องชั่งในลักษณะนี้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่มีพิกัดกำลังสูง 30 –60 ตัน และต้องใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราตั้งแต่ 10 –20 ตันต่อครั้ง

ข้อจำกัดของการใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา นั้นก็คือ ยากที่จะหาน้ำหนักทดสอบอื่นให้มีค่าตรงกันหรือเท่ากันกับชุดน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ดังนั้นจึงพออนุโลมให้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีน้ำหนัก**น้อยกว่า**น้ำหนักรวมสูงสุดของแบบมาตราที่มีอยู่ได้ 10% หรือ 1,000 kg ให้เลือกเอาค่าน้อยกว่า เช่นเรามีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทั้งหมด 10 ตัน (500 kg x 20 ตุ้ม) ดังนั้นน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีน้ำหนัก ได้ตั้งแต่ 9 ตัน ถึง 10 ตัน แต่ต้องระวังว่าต้องไม่ให้น้ำหนักทดสอบอื่นที่ใช้แทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักแบบมาตราสูงสุดเท่าที่มี เป็นต้น

สำหรับเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค ซึ่งอาจมีส่วนรักษาศูนย์ (Zero Tracking Device) ต้องวางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนักทุกครั้งเมื่อเอาตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนักเพื่อเอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

วิธีการตรวจสอบว่าเครื่องชั่งมีส่วนรักษาศูนย์หรือไม่ กระทำโดยวางน้ำหนักทดสอบคราวละน้อยๆ ประมาณเท่ากับ 0.2d จากนั้นเว้นระยะเวลาทิ้งห่างกันสักพักหนึ่งเพื่อให้ส่วนรักษาศูนย์ทำงานเป็นช่วงระยะเวลาประมาณ 2 วินาที

หรืออาจจะนานกว่านั้นตามความเหมาะสม จะเห็นได้ว่าเครื่องชั่งจะปรับตัวแสดงค่าศูนย์ ต่อจากนั้นวางน้ำหนักทดสอบอีก 0.2d ลงไปอีกและหากเครื่องชั่งยังคงปรับตัวแสดงค่าศูนย์อีกนั่นหมายถึงเครื่องชั่งดังกล่าวมีส่วนรักษาศูนย์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. หาค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ต้องใช้ตามข้อกำหนดไว้ข้างต้น และเตรียมการไว้ให้พร้อมปฏิบัติงาน

2. กำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 5 ช่วงการทดสอบ, L นั่นคือน้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกันเพื่อทดสอบอย่างน้อย 5 ค่า โดยขอบเขตในการเลือกค่าน้ำหนักทดสอบให้ครอบคลุมถึงน้ำหนักทดสอบต่อไปนี้

- น้ำหนักทดสอบต้องครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง โดยการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของค่าน้ำหนักทดสอบควรมีระยะแตกต่างกันอย่างใกล้เคียงกันให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ (Multi - Interval Instrument) ที่มีหลายช่วงการชั่งย่อย (Partial Weighing Ranges) ให้เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดด้วย
- ต้องไม่เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่เป็นจุดที่ค่าขั้นหมายมาตราเปลี่ยนให้เลือกตำแหน่งที่น้อยกว่าจุดดังกล่าว 5e แทน
- ค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งวิธีการเข้าสู่สมดุลของเครื่องชั่งเปลี่ยนไป
- ต้องไม่เลือกจุดน้ำหนักที่เท่ากับพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งหากเมื่อทำการชั่งน้ำหนักมากกว่าค่าพิกัดกำลังของเครื่องชั่งแล้วส่วนแสดงค่า

ไม่แสดงผลการชั่งใดๆ ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้ตำแหน่งน้ำหนักทดสอบให้มีค่าน้อยกว่าพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง 5e แทน

3. ทำการบันทึกค่าน้ำหนักทดสอบใน แถว L บันทึกค่าน้ำหนักที่เครื่องชั่งแสดงค่า แถว I และทำการหาค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักทดสอบใส่ในแบบฟอร์มประเมินผล

4. ปรับให้เครื่องชั่งแสดงค่าศูนย์

5. วางน้ำหนักทดสอบแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักโดยเพิ่มขึ้นตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง ตามค่าน้ำหนักทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอน 1. โดยต้องตระหนักว่าให้วางน้ำหนักทดสอบในลักษณะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

6. ในแต่ละค่าน้ำหนักทดสอบที่วางลงไปนั้น ให้ทำการตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ ด้วยวิธีการทดสอบหาอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error Check) ที่กล่าวไว้ข้างต้น หรือทำการหาตำแหน่งค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบ P ด้วยการหาตำแหน่งเปลี่ยนจุด (changeover point) ตำแหน่งถัดไป โดย

6.1 วางน้ำหนักเพิ่มเติม (Additional Weights) เท่ากับ 0.1e ลงบนส่วนรับน้ำหนัก และวางเพิ่มทีละชิ้นในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งส่วนแสดงค่าแสดงค่าผลการชั่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I + e) อย่างชัดเจน

6.2 บันทึกค่าน้ำหนักเพิ่มเติมทั้งหมดที่ใส่ลงไป เป็นค่า ΔL

6.3 เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบก่อนเครื่องชั่งปัดค่าน้ำหนักไปแสดงค่าที่ I + e เรียกว่า P สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$P = I + \frac{1}{2}e - \Delta L$$

ผลผิดของการแสดงผลการชั่งเท่ากับ

$$E = P - L$$

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

7. เมื่อค่าน้ำหนักทดสอบที่ตรงกับน้ำหนักสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีจากนั้นทำการคำนวณหาผลผิดการชั่ง (E) สำหรับเครื่องชั่งที่มีส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอลและไม่มีส่วนแสดงค่าได้ละเอียดกว่าปกติซึ่งมีค่าขั้นหมายมาตราน้อยกว่าขั้นหมายมาตราของส่วนแสดงค่าหลัก (ต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของ e) ให้ใช้ตำแหน่งเปลี่ยนจุด (Changeover Point) ในการหาค่าผลการแสดงค่าของเครื่องชั่งก่อนจะมีการปัดเศษ หรือตำแหน่งค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบ P วิธีการเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 6

8. เอาน้ำหนักทดสอบซึ่งเป็นน้ำหนักสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนัก แต่ต้องมั่นใจว่าได้วางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนัก ก่อนเอาตุ้มน้ำหนักทดสอบออกไปทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค ซึ่งมีส่วนรักษาศูนย์ไม่แสดงค่ากลับไปยังค่าศูนย์

9. เอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งคำนวณไว้ก่อนหน้านี้ในขั้นตอน 1 ขึ้นบนส่วนรับน้ำหนัก ทั้งนี้ค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องน้อยกว่าน้ำหนักรวมสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีอยู่ 10% หรือ 1,000 kg เลือกเอาค่าน้อยกว่า

10. คำนวณหาตำแหน่งค่าน้ำหนักที่แท้จริงหรือน้ำหนักที่เครื่องชั่งได้ของน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนักในขั้นตอนที่ 9 ทั้งนี้โดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าผลผิดการชั่งของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักรวมสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีอยู่มีค่าเท่ากับผลผิดการชั่งของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักของน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนักในขั้นตอนที่ 9 วิธีการคำนวณเป็นดังนี้

10.1 อ่านค่าน้ำหนัก เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา I_{sub}

10.2 จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 0.1e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนเครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I_{sub} + e) อย่างชัดเจน

10.3 น้ำหนักทดสอบที่เติมลงบนส่วนรับน้ำหนักของเครื่องชั่งและทำให้เครื่องชั่งแสดงค่า P_{sub} (ค่าจริงของน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดงค่า $(I_{sub} + e)$ ดังนั้นสามารถหาค่า P_{sub} ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$P_{sub} = I_{sub} + \frac{1}{2}e - \Delta L_{sub}$$

แต่

$$E_{sub} = P_{sub} - L_{sub}$$

ดังนั้นค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนักในขั้นตอนที่ 9 มีค่าเท่ากับ

$$L_{sub} = P_{sub} - E_{sub}$$

$$L_{sub} = I_{sub} + \frac{1}{2}e - \Delta L_{sub} - E_{sub}$$

จากสมมุติฐานซึ่งกล่าวไว้ดังข้างต้น ดังนั้น E_{sub} ในสมการข้างบนนี้จึงมีค่าเท่ากับ E ในขั้นตอนที่ 7 ส่วน ΔL_{sub} มีค่าน้อยมากพอสามารถตัดทิ้งได้จึงเหลือสมการ

$$E = E_{sub}$$

$$L_{sub} = P_{sub} - E_{sub} = I_{sub} + \frac{1}{2}e - E$$

11. ทดสอบการชั่งที่มีค่าน้ำหนักค่าถัดไป โดยวางน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักโดยรวมกับน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่วางไว้ในขั้นตอนที่ 9 ให้ได้ค่าน้ำหนักที่กำหนดค่าน้ำหนักทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 2

12. ตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ ตามขั้นตอนที่ 6

13. หากค่าน้ำหนักที่กำหนดค่าน้ำหนักทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอน 2 นั้นสูงมากกว่าผลรวมของน้ำหนักทดสอบแบบมาตรา กับน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ก็ต้องหาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้มีค่ามากกว่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้ม

น้ำหนักแบบมาตราในขั้นตอนที่ 9 จากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 7 จนถึงขั้นตอนที่ 12 ซ้ำ

14. เอาน้ำหนักทดสอบออกจากส่วนรับน้ำหนักในลักษณะที่มีการลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอจาก พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องโดยให้มีค่าเท่ากับเมื่อครั้งที่เพิ่มน้ำหนัก

15. ในแต่ละค่าน้ำหนักทดสอบที่คงเหลือไว้บนส่วนรับน้ำหนักนั้น ให้ทำการตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ

16. ตรวจสอบผลผิดที่แต่ละค่าน้ำหนักทดสอบทั้งในขั้นตอนเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักว่ายังคงอยู่ในขอบเขตของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่ ถ้าอยู่ภายในขอบเขต ถือว่าผ่านการทดสอบการชั่ง

ตัวอย่าง การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing test using substitution of standard weights)

การตรวจสอบให้คำรับรอง เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกชั้นความเที่ยง III

- เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกชั้นความเที่ยง III
- พิกัดกำลังสูงสุด Max 60,000 kg, e = 20 kg, n = 3000
- เครื่องชั่งทดสอบความสามารถทำซ้ำได้มีค่าเท่ากับ 0.2e จึงใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอย่างน้อย 20% Max.
- มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจำนวนทั้งหมด 16,000 kg (16000 kg/60000 kg= 0.26) ซึ่งเกินกว่า 20% Max.
- น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา เช่น รถยนต์บรรทุก หนักประมาณ 15,000 kg จำนวน 1 คัน
- น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา หนักประมาณ 30,000 kg จำนวน 1 คัน

ขั้นตอนการตรวจสอบให้คำรับรอง

1) พิจารณาอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุก จะได้ว่า

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)	
	ชั้น III	เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุก
± 0.5 e	ตั้งแต่ 0 ถึง 500 ($0 \leq m \leq 500$)	0 kg - 10,000 kg
± 1.0 e	มากกว่า 500 ถึง 2000 ($500 < m \leq 2000$)	10,000 kg – 40,000 kg
± 1.5 e	มากกว่า 2000 ถึง 10000 ($2000 < m \leq 10000$)	40,000 kg – 60,000 kg

2) กำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 5 น้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกัน โดยครอบคลุม

- น้ำหนักทดสอบที่พิกัดกำลังต่ำสุด Min. = 400 kg
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 1 เท่ากับ 10,000 kg
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 2 เท่ากับ 40,000 kg
- น้ำหนักทดสอบที่พิกัดกำลังสูงสุด Max. = 60,000 kg
- ค่าน้ำหนักทดสอบเพื่อให้ค่าการเพิ่มน้ำหนักทดสอบเพิ่มขึ้นในอัตราเพิ่มที่สม่ำเสมอตลอดช่วงตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดถึงพิกัดกำลังสูงสุด และน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีจึงกำหนดให้มีน้ำหนักทดสอบ ประมาณเท่ากับ 16,000 kg และ 30,000 kg

จึงสรุปลำดับน้ำหนักทดสอบคร่าวๆ คือ 400 kg , 10,000 kg, 16,000 kg, 30,000 kg 40,000 kg และ 60,000 kg

3) ทำการบันทึกค่าน้ำหนักทดสอบใน แถว L และทำการหาค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักทดสอบใส่ในแบบฟอร์มประเมินผล

4) ปรับให้เครื่องชั่งแสดงค่าศูนย์

5) วางน้ำหนักทดสอบแบบมาตรา 400 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนัก

6) อ่านค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ได้ 400 kg จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1 ใน 10 เท่าของ e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนเครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I + e) อย่างชัดเจน น้ำหนักที่ใส่ไปมีค่าเท่ากับ 2 kg ดังนั้นเครื่องชั่งแสดงค่า P (ค่าจริงของน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดงค่า I + e เท่ากับ

$$P = 400 + ½ (20) - 2 = 408 \text{ kg}$$

ผลผิดก่อนปัดค่า

$$E = P - L = 408 - 400 = 8 \text{ kg} < \text{MPE}$$

7) เอาน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนัก แต่ต้องมั่นใจว่าได้วางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนัก ก่อนเอาตุ้มน้ำหนักทดสอบออกไปทั้งหมด หรือวางตุ้มน้ำหนักเพิ่มลงไปจนได้ค่าน้ำหนักทดสอบที่ต้องการ

Self and Semi-self-indicating instrument									Weighing Test
Load (L) (kg)	Indication (I) (kg)		Additional load (ΔL) (kg)		Indication prior to rounding P = I + 1/2 e - ΔL		Measure deviation (E = P – L)		MPE (kg)
	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	
400	400		2		408		8		10
10,000	10000		2		10008		8		20

Self and Semi-self-indicating instrument							Weighing Test		
Load (L) (kg)	Indication (I) (kg)		Additional load (ΔL) (kg)		Indication prior to rounding P = I + 1/2 e - ΔL		Measure deviation (E = P – L)		MPE (kg)
	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	
16,000	16020		10		16020		20		20
L_{sub_1}= 15,570	15580						20		20
L_{sub_1} +16,000 = 31,570	31580		6		31584		14		20
L_{sub_2}= 30,976	30980						14		20
L_{sub_2} +9,000 = 39,976	40000		10		40000		24		30
L_{sub_1}+L_{sub_2} +13,000 = 59,546	59580		20		59570		24		30

Pass when $E < MPE$

Fail when $E > MPE$

8) ทำการทดสอบในขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 7 อีกครั้งด้วยน้ำหนักทดสอบแบบมาตราเท่ากับ 10,000 kg และ 16,000 kg

9) เอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ซึ่งในที่นี้จะเป็นรถยนต์บรรทุกดินหนักประมาณ 15,000 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนัก

10) คำนวณหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงหรือน้ำหนักที่เครื่องชั่งชั่งได้ของน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนัก

- อ่านค่า เครื่องชั่งแสดงค่า I_{sub_1} = 15,580 kg
- จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1 ใน 10 เท่าของ e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนเครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I + e) อย่างชัดเจน น้ำหนักทดสอบที่เติมลงบนส่วนรับน้ำหนักของเครื่องชั่งและทำให้เครื่องชั่งแสดงค่า P_{sub_1} (ค่าจริงของน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดงค่า (I_{sub_1} + e) มีค่าเท่ากับ

$$P_{sub\_1} = I_{sub\_1} + 1/2\ e - \Delta L_{sub\_1}$$

- ดังนั้นค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ

$$L_{sub\_1} = P_{sub\_1} - E_{sub\_1} = I_{sub\_1} + 1/2\ e - E_{sub\_1}$$

ทั้งนี้ให้ผลผิดที่น้ำหนักทดสอบ 16000 kg มีค่าเท่ากับที่น้ำหนักทดสอบด้วยน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

$$L_{sub\_1} = P_{sub\_1} - E_{sub\_1} = 15580 + 10 - 20 = 15570 \text{ kg}$$

11) วางน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีอยู่ 16,000 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนักเพิ่มเติมต่อจากน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (substitution load)

12) อ่านค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ได้ 31,580 kg จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1 ใน 10 เท่าของ e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนเครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I + e) อย่างชัดเจน น้ำหนักที่ใส่ไปมีค่าเท่ากับ 6 kg ดังนั้นเครื่องชั่งแสดงค่า P (ค่าจริงของน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดงค่า I + e เท่ากับ

$$P = 31{,}584 \text{ kg}$$

ผลผิดก่อนปัดค่า

$$E = P - L = 31{,}584 - 31{,}570 = 14 \text{ kg} < \text{MPE}$$

13) เอาน้ำหนักทดสอบทั้งหมดออกจากส่วนรับน้ำหนัก แต่ต้องมั่นใจว่าได้วางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนัก ก่อนเอาตุ้มน้ำหนักทดสอบออกไปทั้งหมด

14) เอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ตัวที่ 2 ซึ่งในที่นี้จะเป็นรถยนต์บรรทุกดินหนักประมาณ 30,000 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนัก

15) คำนวณหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงหรือน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้ของน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนัก

- อ่านค่า เครื่องชั่งแสดงค่า I_{sub_2} = 30,980 kg
- จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1 ใน 10 เท่าของ e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อย ๆ จนเครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ค่าขั้นหมายมาตรา (I + e) อย่างชัดเจน น้ำหนักทดสอบที่เติมลงบนส่วนรับน้ำหนักของเครื่องชั่งและทำให้เครื่องชั่งแสดงค่า P_{sub_2} (ค่าจริงของน้ำหนักที่เครื่องชั่งวัดได้) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดงค่า $(I_{sub\_2} + e)$

$$P_{sub\_2} = I_{sub\_2} + 1/2\ e - \Delta L_{sub\_2}$$

- ดังนั้นค่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ

$$L_{sub\_2} = P_{sub\_2} - E_{sub\_2} = I_{sub\_2} + 1/2\ e - E_{sub\_2}$$

ทั้งนี้ให้ผลผิดที่น้ำหนักทดสอบ 31,570 kg มีค่าเท่ากับที่น้ำหนักทดสอบด้วยน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

$$L_{sub\_2} = P_{sub\_2} - E_{sub\_2} = 30980 + 10 - 14 = 30{,}976 \text{ kg}$$

16) วางน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีอยู่ 16,000 kg โดยใส่ลงเพียง 9,000 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนักเพิ่มเติมต่อจาก น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Substitution Lload) ชุดที่ 2 จะได้น้ำหนักทดสอบเท่ากับ 30,976 + 9,000 = 39,976 kg

17) คำนวณหาผลผิดเหมือนขั้นตอนที่ 6

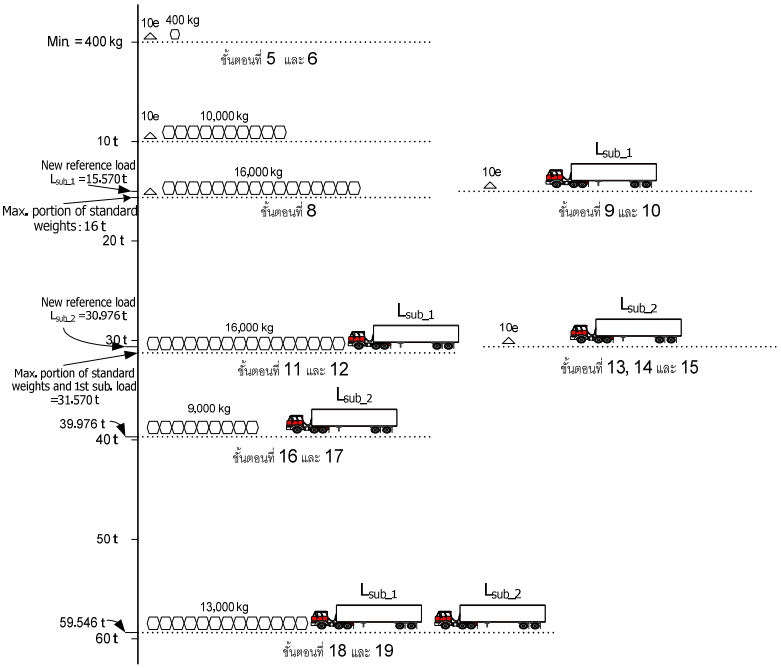
18) เพิ่มน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (substitution load) ชุดที่ 1ลงไป และเพิ่มตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอีก 4,000 kg จะได้น้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 39,976 + 15,570+4,000 = 59,546 kg

19) คำนวณหาผลผิดเหมือนขั้นตอนที่ 6

20) เอาน้ำหนักทดสอบออกจากส่วนรับน้ำหนักในลักษณะที่มีการลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอจาก พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องโดยให้มีค่าเท่ากับเมื่อครั้งที่เพิ่มน้ำหนัก ย้อนวิธีการเดิมกลับไป และหาผลผิดเครื่องชั่งตามที่ได้กล่าวมา

21) ตรวจสอบผลผิดที่แต่ละค่าน้ำหนักทดสอบทั้งในขั้นตอนเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักว่ายังคงอยู่ในขอบเขตของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่ ถ้าอยู่ภายในขอบเขต ถือว่าผ่านการทดสอบการชั่ง

Ans



ภาพแสดงตัวอย่าง
การชั่งที่ใช้น้ำหนักอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

การวัดปริมาตรก๊าซ LPG ที่จ่าย ณ สถานีบริการ เมื่ออุณหภูมิก๊าซ LPG และความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลง

สถานการณ์ปัจจุบัน การตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับซื้อขายปลีกตามสถานีบริการ LPG ซึ่งอยู่ภายใต้การกำกับดูแลตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 จัดมาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิดมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง 1.0 และยังไม่กำหนดอายุคำรับรองให้เป็นเช่นเดียวกับมาตรวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการ

ในการปฏิบัติงานได้ทำการสอบถามเจ้าหน้าที่พบว่ายังคงดำเนินด้วยวิธีการเดิม (หรือไม่ ?) ซึ่งกำหนดไว้อย่างน้อยก็เป็นไปตามประกาศกรมทะเบียนการค้า เรื่องการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดก๊าซ ลงวันที่ 18 ตุลาคม 2526 และอาจแตกต่างกันในบางพื้นที่ ซึ่งพอสรุปวิธีการตรวจสอบให้คำรับรองไว้ 2 รูปแบบอีก 1 รูปแบบเป็นแนวทางเสนอเสริมเพื่อเป็นข้อพิจารณาเป็นทางเลือกต่อไป

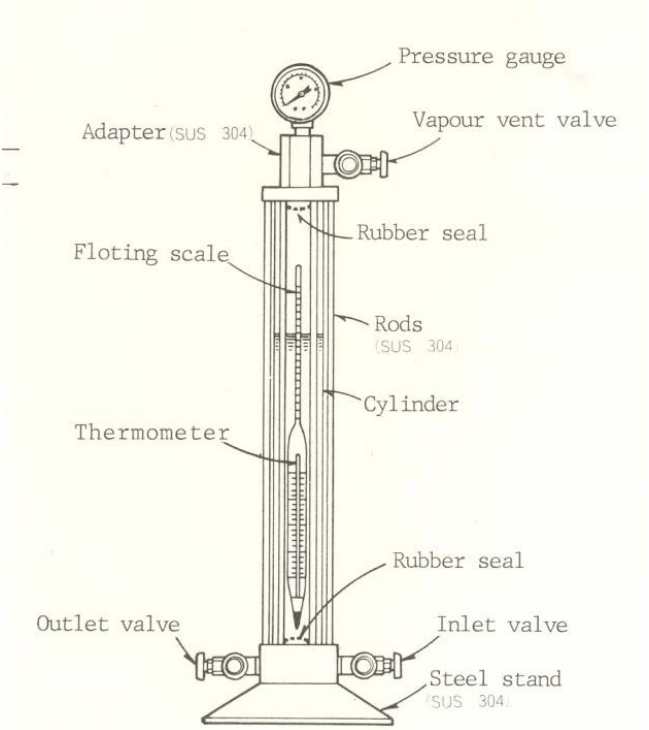
รูปแบบที่ 1 การตรวจสอบให้คำรับรองด้วยการคำนวณหาปริมาตรที่อุณหภูมิที่วัดได้ (Volume @ Observe Temperature)

ในการปฏิบัติงานของพนักงานเจ้าหน้าที่ในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับรถยนต์ตามสถานีบริการ ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมถังความดันเปล่าๆปริมาณ 15 กิโลกรัมเป็นอย่างน้อย ไว้เพื่อรองรับปริมาตรก๊าซ LPG ซึ่งจากผ่านมาตรวัดเข้ามาเก็บไว้ภายในถังความดัน
2. ทำการจ่ายก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ผ่านมาตรวัดเข้าถังความดัน
3. บันทึกค่าปริมาตรที่แสดงค่าบนมาตรวัดฯ

4. นำถังความดันบรรจุก๊าซ LPG ไปทำการชั่งโดยหักลบน้ำหนักถังความดันเปล่าก็จะได้น้ำหนักของเนื้อก๊าซ LPG

5. จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติของก๊าซ LPG คือค่าความถ่วงจำเพาะ LPG และอุณหภูมิก๊าซ LPG ด้วยเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG ซึ่งภายในบรรจุ Hydrometer พร้อมเครื่องวัดอุณหภูมิ ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 1 เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG ประกอบด้วย Hydrometer พร้อมเครื่องวัดอุณหภูมิและเกจวัดความดัน

5.1. ก่อนจะปล่อยก๊าซ LPG เข้าเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG ต้องทำการกำจัดอากาศภายในเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG โดยทำการเติมก๊าซ

LPG เข้าไปจำนวนเล็กน้อยแล้วปล่อยไล่ก๊าซออกไปทางวาล์วด้านบนเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG เพื่อให้ภายในเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG มีแต่เพียงก๊าซ LPG เท่านั้น

5.2. จากนั้นค่อยปล่อยก๊าซ LPG เข้ามาช้าๆ ต้องไม่ทำให้ความดันภายในเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG เปลี่ยนแปลงสูงและเร็วจนเกินไปซึ่งอาจทำให้เครื่องเสียหายได้

5.3. ทำการเติมก๊าซ LPG เข้าเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG จนกระทั่งสังเกตเห็น Hydrometer (ส่วนวัดความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ) ลอยตัวอยู่ภายในเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG อย่างอิสระ

5.4. อ่านค่าความถ่วงจำเพาะ (density @ observe liquid temperature; kg/l) พร้อมค่าอุณหภูมิ (°C) และอ่านค่าความดันไอบริเวณด้านบนเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG

6. นำค่าน้ำหนักของเนื้อก๊าซ LPG ที่ได้จากชั่งน้ำหนัก และค่าความถ่วงจำเพาะก๊าซ LPG (เปลี่ยนค่า ถ.พ. LPG เทียบกับน้ำจึงเป็นค่าความหนาแน่น LPG) เพื่อหาค่าปริมาตรก๊าซ LPG (ลิตร) ด้วยสูตร

$$V_t = \frac{W_{\text{observe temp.}}\ (\text{kg})}{\rho_t\ (\text{kg/l})} \qquad \text{ลิตร}$$

7. จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้างบนกับค่าที่มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวแสดงค่า เพื่อหาค่าผลผิดของมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวว่าอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่

ข้อคิดเห็น

- จากการคำนวณที่ได้จากสมการข้างบน เราได้ค่าปริมาตรก๊าซที่อุณหภูมิ ณ ขณะนั้นหรืออุณหภูมิของก๊าซเหลว LPG เพราะไม่มีการแปลงปริมาตรไปยังสภาวะอ้างอิงมาตรฐานที่ 15 °C หรือ 30 °C ด้วยเหตุนี้ค่าปริมาตรก๊าซที่คำนวณได้จึงเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของ

ก๊าซ LPG ในแต่ละครั้งหรือแต่ละวันที่ดำเนินการตรวจสอบแม้ก๊าซ LPG จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่าเดิมก็ตาม

- หากพิจารณาก๊าซ LPG ภายในถังบรรจุความดันที่ชั่งน้ำหนักนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ LPG ส่วนที่เป็นของเหลวและ LPG ส่วนที่เป็นไอก๊าซ ซึ่งในที่นี้เราตั้งสมมุติฐานให้ส่วนที่เป็นไอก๊าซมีปริมาตรน้อยและเมื่อแปลงเป็นน้ำหนักถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นของเหลว เราจึงพออนุโลมให้น้ำหนักเนื้อก๊าซ LPG ภายในถังบรรจุความดันที่ชั่งน้ำหนักเป็นส่วนที่เป็นของเหลว 100% เราจึงใช้สูตรหาปริมาตรได้ดังข้างบน

รูปแบบที่ 2 การตรวจสอบให้คำรับรองด้วยการคำนวณหาปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 15 °C (Volume @ Reference Temperature 15 °C)

จากการสอบถาม พบว่าบางสำนักงานสาขาชั่งตวงวัดเขตฯ ทำการปรับแก้ไขค่าปริมาตราก๊าซเหลว LPG ซึ่งคำนวณได้จากสมการข้างบนไปที่ค่าปริมาตรด้วยอุณหภูมิอ้างอิงที่ 15 °C ทั้งนี้มีวิธีการขั้นตอนการตรวจสอบเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5.4 เหมือนเดิมในรูปแบบที่ 1 จากนั้นต่อด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

5.5 ก่อนที่ทำการคำนวณในขั้นตอนที่ 6 ก็ให้นำค่าความถ่วงจำเพาะ (density @ observe liquid temperature; kg/l) พร้อมค่าอุณหภูมิ ที่อ่านได้ไปปรับเป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 °C เสียก่อนด้วยตาราง ASTM-IP Table 53 (Reduction of Observed Density to Density at 15 °C) โดยนำค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้กับอุณหภูมิของก๊าซที่วัดได้ไปเปิดตาราง Table 53 ก็จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 °C (Density @ 15 °C)

6. นำค่าน้ำหนักของเนื้อก๊าซ LPG ที่ได้จากชั่งน้ำหนักและค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 °C (Density @ 15 °C) เพื่อหาค่าปริมาตรก๊าซ LPG (ลิตร) ที่อุณหภูมิ 15 °C ด้วยสูตร

$$V_{15} = \frac{W_{observe\ temp.}\ (kg)}{\rho_{15}\ (kg/l)} \qquad \text{ลิตร}$$

การที่เราไม่ต้องปรับค่าน้ำหนักเนื้อก๊าซที่ชั่งน้ำหนักได้มายังที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง 15 °C ด้วยนั้นเนื่องจากหลักการที่ว่า น้ำหนักก๊าซ (เหลว) LPG จะมีค่าคงที่ แม้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

7. จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้างบน (V_{15}) กับค่าที่มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวแสดงค่าเพื่อหาค่าผลผิดของมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวว่าอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่

ข้อคิดเห็น แต่ก็ยังพบปัญหาต่อไปว่าเมื่อปรับมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ให้แสดงค่าปริมาตรก๊าซที่สภาวะอ้างอิง 15 °C หลังจากนั้นเมื่อมีการซื้อขายจริงที่สภาวะใช้งานจริง เราพบว่ามาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าที่สภาวะอ้างอิง 15 °C และอุณหภูมิของก๊าซเหลว LPG ก็สูงกว่า 15 °C ส่งผลให้ผลการวัดปริมาตรก๊าซให้เนื้อก๊าซมากกว่าที่เป็นจริง เพราะหากกำหนดให้เนื้อก๊าซ (น้ำหนักก๊าซ) มีค่าคงที่เท่ากันทุกอุณหภูมิแล้ว ที่อุณหภูมิสูงต้องให้ผลการวัดปริมาตรเป็นลิตรสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากก๊าซ LPG มีการขยายตัว ปัจจุบันเราพบว่ามาตรวัดก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามสถานีบริการไม่มีส่วนชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ (Temperature Compensator) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงค่าปริมาตร LPG ที่อุณหภูมิสภาวะอ้างอิงกลับไปยังอุณหภูมิขณะวัดจริงนั้นไม่สามารถทำได้ ทำให้วัตถุประสงค์ดีๆ ที่จะทำการหาค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงเพื่อเป็นมาตรฐานและบรรทัดฐานเดียวกันทั่วประเทศไม่ประสบผลในทางปฏิบัติจริง

รูปแบบที่ 3 การตรวจสอบให้คำรับรองด้วยการคำนวณหาปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 °C (Volume @ Reference Temperature 30 °C)

ก็ยังคงดำเนินการ โดยเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5.4 เหมือนเดิมในรูปแบบที่ 1 และตามด้วยขั้นตอนที่ 5.5 – 6 ในรูปแบบที่ 2 จากนั้นต่อไป

7. นำค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 °C (Density @ 15 °C) เปิดตาราง ASTM-IP Table 54 (Volume Reduction to 15 °C) โดยเลือกค่าอุณหภูมิก๊าซเหลว LPG เท่ากับ 30 °C เพื่อหา VRF ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.0 นำไปหารค่าปริมาตรก๊าซ LPG (ลิตร):ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง 15 °C ซึ่งคำนวณได้จาก

$$V_{15} = \frac{W_{\text{observe temp.}}\,(\text{kg})}{\rho_{15}\,(\text{kg/l})} \qquad \text{ลิตร}$$

ดังนั้นปริมาตรที่ 30 °C จึงเท่ากับ

$$V_{30} = \frac{V_{15}\,(\text{l})}{\text{Factor Reducing Volume to } 15°\text{C};(\text{Table 54})} \qquad \text{ลิตร}$$

พบว่าค่าปริมาตรก๊าซ LPG (ลิตร) ที่คำนวณได้ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง 30 °C จะมีปริมาตรสูงกว่าค่าปริมาตรก๊าซ LPG (ลิตร) ที่คำนวณได้ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง 15 °C

8. จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซที่ได้จากการคำนวณจากสมการข้างบนกับค่าที่มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวแสดงค่า เพื่อหาค่าผลผิดของมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวว่าอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่

ข้อคิดเห็น เมื่อปรับมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ไปเป็นปริมาตรก๊าซที่สภาวะอ้างอิง 30 °C แล้วแต่เมื่อมีการซื้อขายจริง เราพบว่ามาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ทำงานที่อุณหภูมิที่มีทั้งที่อุณหภูมิสูงกว่าและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสภาวะอ้างอิง 30 °C (โดยประมาณการอุณหภูมิที่วัดได้ใน

การใช้งานมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับรถยนต์ตามสถานีบริการ อยู่ในช่วง 25-32 °C จากการสอบถามเจ้าหน้าที่) ซึ่งเมื่อเป็นเช่นนี้ส่งผลให้ได้ค่าปริมาตรที่วัดได้มีทั้งมากกว่าและน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาตรก๊าซวัดได้ซึ่งมีอุณหภูมิ 30 °C ทำให้ผลการตรวจสอบฯโดยภาพรวมแล้วน่าจะดีกว่าที่ไปหาค่าปริมาตรอ้างอิงที่ 15 °C ตามรูปแบบที่ 2 ภายใต้การทำงานของมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่ไม่มีส่วนชดเชยค่าอุณหภูมิอัตโนมัติ อีกทั้งเป็นวิธีการที่ทำให้มีมาตรฐานเดียวกันทั่วประเทศเมื่อเทียบกับการหาค่าปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิใดๆ ที่ทำการตรวจสอบให้คำรับรอง โดยไม่มีการปรับค่าไปยังสภาวะอุณหภูมิใดๆ ตามรูปแบบที่ 1 ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละวันและแต่ละครั้งไม่เท่ากัน แม้โดยภาพรวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยดีกว่ารูปแบบที่ 2

การคำนวณทั้ง 3 รูปแบบ แสดงไว้ดังในรูปไดอะแกรม การคำนวณหาปริมาตรก๊าซ LPG สถานีบริการ (LPG-Retail Sale) แต่เนื่องจากในการซื้อขายคราวละจำนวนมากหรือการนำเข้า LPG จะคิดคำนวณภาษีสรรพสามิตโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของค่าน้ำหนัก ซึ่งพอสรุปได้ดังรูปไดอะแกรม การคำนวณหาน้ำหนักก๊าซ LPG (LPG-Whole Sale)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับรถยนต์ตามสถานีบริการ

จ่ายก๊าซผ่านมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวLPG สำหรับรถยนต์ลงสู่ถังบรรจุก๊าซ มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวแสดงปริมาตร 10 ลิตร จากนั้นนำถังบรรจุก๊าซไปชั่งน้ำหนักได้ 5.24 กิโลกรัม ขั้นตอนต่อไปทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซเหลว LPG ด้วยการจ่ายก๊าซ LPG ไล่อากาศภายในเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG ให้เรียบร้อย แล้วปล่อยก๊าซ LPG ผ่านมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับรถยนต์ เข้าเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG เพื่อวัดความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิก๊าซ (เหลว) LPG โดยอ่านค่าจาก

Hydrometer ได้เท่ากับ 0.52 kg/l ที่อุณหภูมิ 29.0 °C ให้คำนวณหาปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิ 29.0 °C

$$V_t = \frac{W_{observe\ temp.}\ (kg)}{\rho_t\ (kg/l)} = \frac{5.24}{0.52} = 10.08 \text{ ลิตร}$$

นำค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซที่วัดได้ กับอุณหภูมิของก๊าซที่วัดได้ไปเปิดตาราง ASTM-IP Table 53 จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซที่อุณหภูมิ 15 °C เท่ากับ 0.54 kg/l ดังนั้นคำนวณหาปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิ 15 °C

$$V_{15} = \frac{W_{observe\ temp.}\ (kg)}{\rho_{15}\ (kg/l)} = \frac{5.24}{0.54} = 9.7037 \text{ ลิตร}$$

ค่าความถ่วงจำเพาะหรือค่าความหนาแน่นของก๊าซที่อุณหภูมิ 15 °C เท่ากับ 0.54 ไปเปิดตาราง ASTM-IP Table 54 เพื่อหาค่า Factor Reducing Volume to 15 °C โดยใช้ค่าอุณหภูมิ 30 °C เราจะได้ค่า Factor Reducing Volume to 15 °C เท่ากับ 0.962 ดังนั้นคำนวณหาปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิ 30 °C จึงเท่ากับ

$$V_{30} = \frac{V_{15}}{\text{Factor for Reducing Volume to 15 °C ; Table 54}} = \frac{9.7037}{0.962}$$

$$= 10.087 \text{ ลิตร}$$

หรือเราสามารถใช้วิธีการคำนวณจากหนังสือ “การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร” สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, จรินทร, สาธิต

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG , NGL) เราสามารถหาค่า C_{tl} ได้จาก

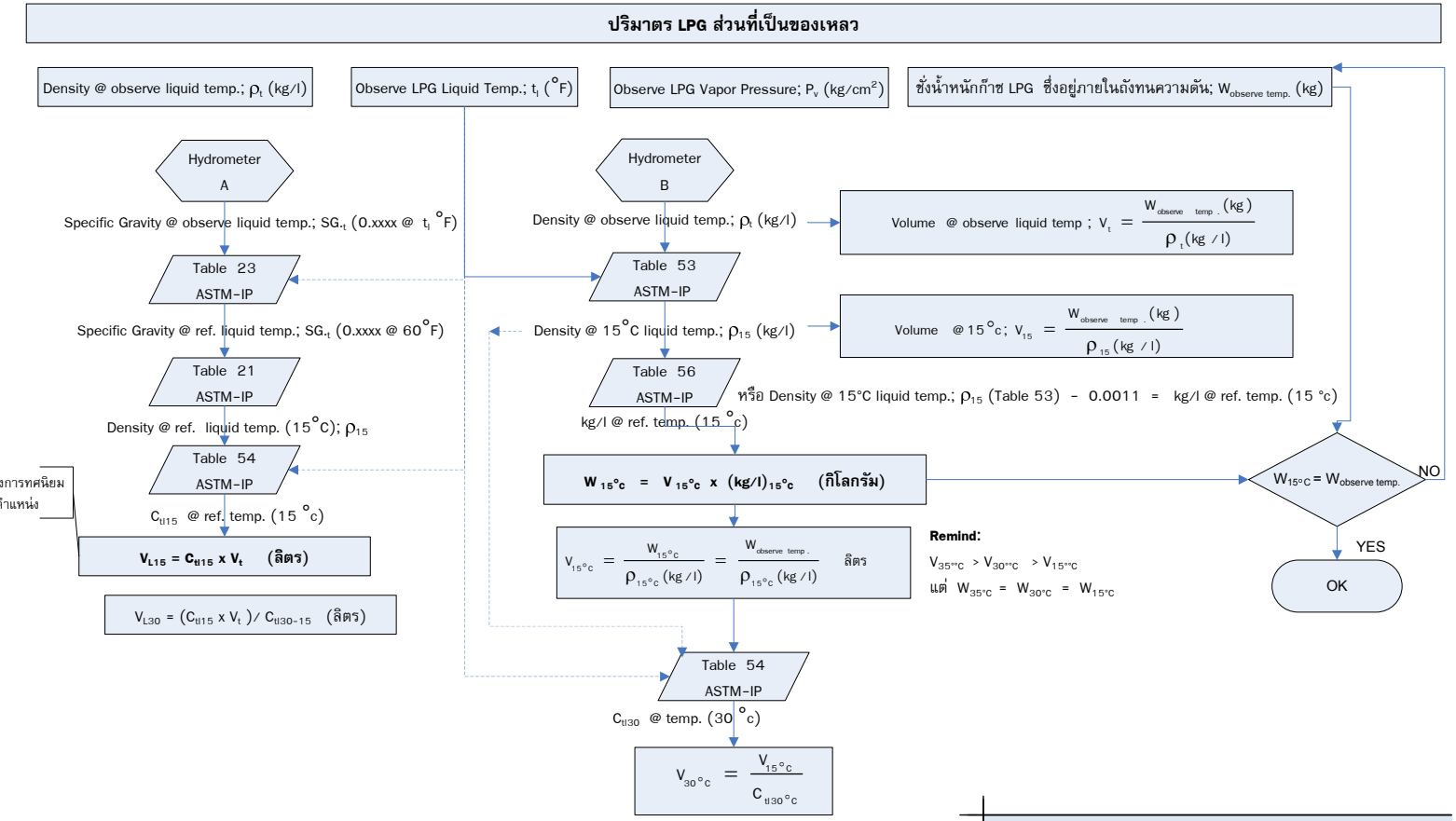
- จากตาราง **API 54** หรือ
- จากการคำนวณ C_{tl} จากสูตร (Anhang C DIN 51757 seite 19) โดยแก้ไขปริมาตรไปที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐาน 15 °C

$$C_{tl} = [1 + Q \times \Delta T + S\Delta T^2] - \frac{[P \times \Delta T + R\Delta T^2]}{\rho_{15}}$$

เมื่อ $\Delta T = T - 15$ °C

ชตว CBWM

การคำนวณหาปริมาตรก๊าซ LPG



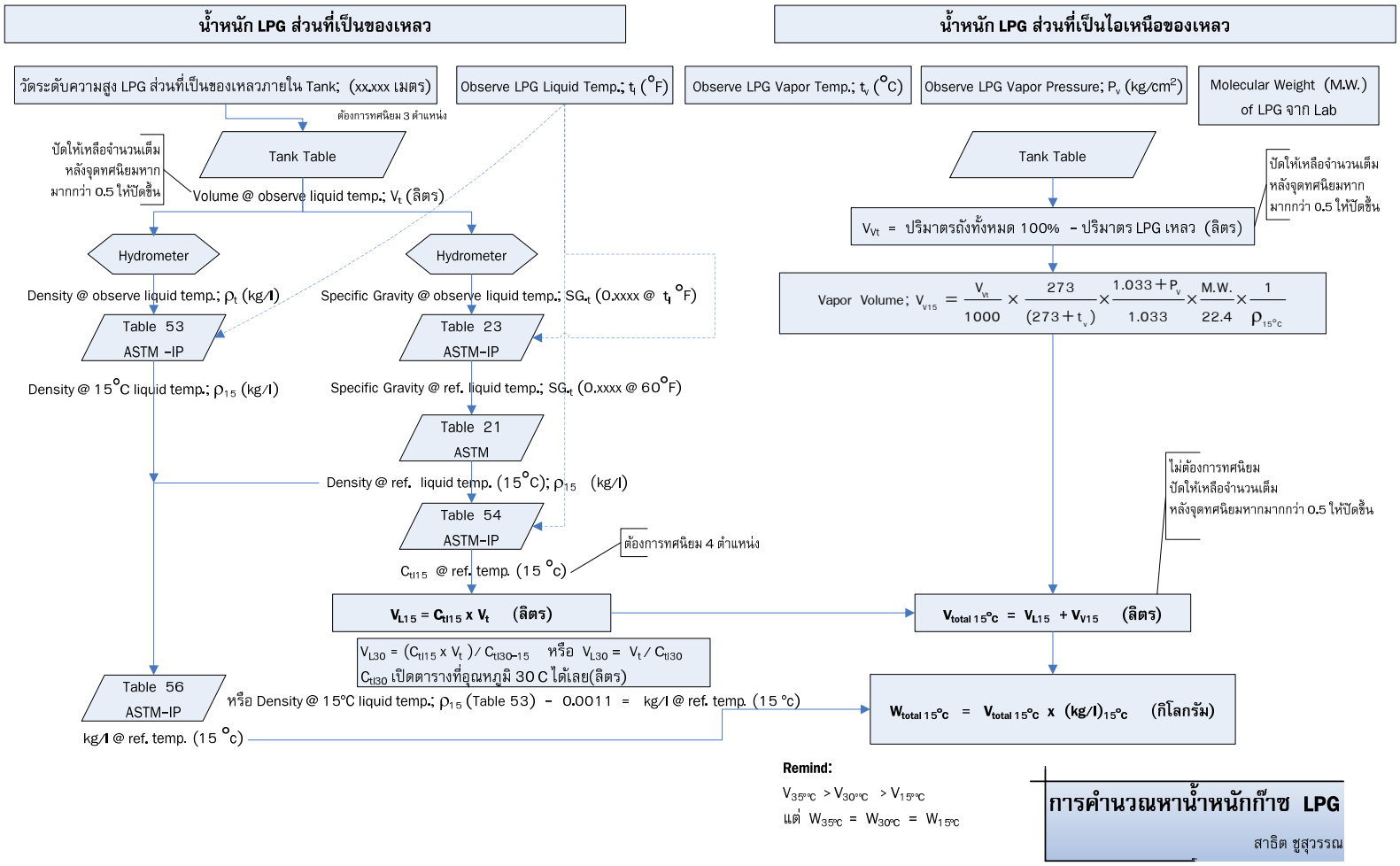
การคำนวณหาปริมาตรก๊าซ LPG สถานีบริการ

สาธิต ชูสุวรรณ

ชตว CBWM

การคำนวณหาน้ำหนักก๊าซ LPG

น้ำหนัก ก๊าซ LPG ทั้งหมด = น้ำหนักส่วนที่เป็นของเหลว + น้ำหนักส่วนที่เป็นไอเหนือของเหลว



ความหนาแน่น @ 15 °C (kg/m^3)	P x 10^3	Q x 10^6	R x 10^3	S x 10^6
500-600	4075	5050	27.5	45
601-620	2448.9	2340.9	1.589	1.947
621-640	2225.1	1980	1.588	1.946
641-650	1936.6	1529.1	1.588	1.946

เราสามารถแปลงปริมาณก๊าซ LPG ที่อุณหภูมิใดๆ มายังอุณหภูมิอ้างอิงที่ 15 °C ด้วยสมการ

$$V_{15} = V_T \times C_{tl15}$$

ในขณะเดียวกันหากต้องการแสดงปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 °C สามารถคำนวณได้โดย

$$V_{15} = V_{30} \times C_{tl\ 30-15}$$

$$V_{30} = \frac{V_{15}}{C_{tl\ 30-15}} = \frac{V_T \times C_{tl15}}{C_{tl\ 30-15}} = V_T \times C_{tl30}$$

เมื่อ $C_{tl\ 30} = \frac{C_{tl\ 15}}{C_{tl\ 30-15}}$

$$C_{tl15} = [1 + Q \times (T-15) + S \times (T-15)^2] - \frac{[P \times (T-15) + R(T-15)^2]}{\rho_{15}}$$

$$C_{tl30-15} = [1 + Q \times (15) + S \times (15)^2] - \frac{[P \times (15) + R(15)^2]}{\rho_{15}}$$

จากข้อมูลเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ LPG เพื่อวัดความถ่วงจำเพาะ LPG และอุณหภูมิก๊าซ (เหลว) LPG อ่านค่าจาก Hydrometer ได้เท่ากับ 0.52 kg/l ที่อุณหภูมิ 29.0 °C นำค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซที่วัดได้กับอุณหภูมิของก๊าซที่วัดได้ดังกล่าวไปเปิดตาราง ASTM-IP Table 53 จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซ

ที่อุณหภูมิ 15 °C เท่ากับ 0.54 kg/l หรือ 540 kg/m^3 ใช้ค่า P Q R และ S ในตารางข้างบนสำหรับค่าความหนาแน่นที่อยู่ในช่วง 500-600 kg/m^3

$$C_{tl15} = [1 + Q \times (T-15) + S \times (T-15)^2] - \frac{[P \times (T-15) + R(T-15)^2]}{\rho_{15}} = 0.96379$$

$$V_t = \frac{W_{observetemp}}{\rho_t} = \frac{5.24\,kg}{0.52\,kg/l} = 10.08 \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น $V_{15} = V_T \times C_{tl15} = 10.08 \times 0.96379 = 9.7150$ ลิตร

พิจารณา

$$C_{tl30-15} = [1 + Q \times (15) + S \times (15)^2] - \frac{[P \times (15) + R(15)^2]}{\rho_{15}} = 0.96112 \text{ ลิตร}$$

$$V_{30} = \frac{V_{15}}{C_{tl\ 30-15}} = \frac{V_T \times C_{tl15}}{C_{tl\ 30-15}} = \frac{10.08 \times 0.96379}{0.96112} = 10.108 \text{ ลิตร}$$

ค่าปริมาตรที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 10.108 ลิตร ส่วนค่าปริมาตรที่ได้จากการเปิดตารางมีค่าเท่ากับ 10.087 ลิตร มีค่าต่างกัน 0.21% ถือว่าน่ายอมรับได้

พิจารณามาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง 1.0 ดังนั้นอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ ±1%

	ปริมาตร LPG (ลิตร)	ผลผิดมาตรวัด (%)	ผลการตรวจสอบ (±1%)
มาตรวัดแสดงค่าปริมาตรที่อุณหภูมิ 29.0 °C	10.00		
คำนวณปริมาตรที่อุณหภูมิ 29.0 °C	10.08	-0.79	ผ่าน
คำนวณปริมาตรที่อุณหภูมิ 15.0 °C	9.7037	3.09	ไม่ผ่าน
คำนวณปริมาตรที่อุณหภูมิ 30.0 °C	10.087	-0.86	ผ่าน

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของก๊าซ (เหลว) LPG ที่ 30 °C และ 15 °C เท่ากับ 10.087 ลิตร และ 9.7037 ลิตร คิดเป็นสัดส่วนปริมาตราที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ 0.383 ลิตร/15 °C หรือ 0.026 ลิตร/ °C ***ANS***

Table 53

505-0,550 * Density Reduction to 15°C. ASTM—IP

50°C.

Observed temperature, °C.	Observed Density									
	0,505	0,510	0,515	0,520	0,525	0,530	0,535	0,540	0,545	0,550
	Corresponding Density 15°C.									
25,0	0,520	0,524	0,529	0,534	0,539	0,544	0,548	0,553	0,558	0,563
25,5	0,521	0,525	0,530	0,535	0,540	0,545	0,549	0,554	0,559	0,564
26,0	0,521	0,525	0,530	0,535	0,540	0,545	0,549	0,554	0,559	0,564
26,5	0,522	0,526	0,531	0,536	0,541	0,546	0,550	0,555	0,560	0,565
27,0	0,523	0,527	0,532	0,537	0,541	0,546	0,550	0,555	0,560	0,565
27,5	0,524	0,528	0,533	0,538	0,542	0,547	0,551	0,556	0,561	0,566
28,0	0,524	0,528	0,533	0,538	0,543	0,548	0,552	0,557	0,562	0,567
28,5	0,525	0,529	0,534	0,539	0,543	0,548	0,552	0,557	0,562	0,567
29,0	0,526	0,530	0,535	0,540	0,544	0,549	0,553	0,558	0,563	0,568
29,5	0,526	0,530	0,535	0,540	0,544	0,549	0,553	0,558	0,563	0,568
30,0	0,527	0,531	0,536	0,541	0,545	0,550	0,554	0,559	0,564	0,569
30,5	0,528	0,532	0,537	0,542	0,546	0,551	0,555	0,560	0,565	0,570
31,0	0,528	0,532	0,537	0,542	0,546	0,551	0,555	0,560	0,565	0,570
31,5	0,529	0,533	0,538	0,543	0,547	0,552	0,556	0,561	0,566	0,571
32,0	0,529	0,534	0,538	0,543	0,547	0,552	0,557	0,561	0,566	0,571
32,5	0,530	0,535	0,539	0,544	0,548	0,553	0,558	0,562	0,567	0,572
33,0	0,531	0,535	0,540	0,545	0,549	0,554	0,558	0,563	0,567	0,572
33,5	0,531	0,536	0,540	0,545	0,549	0,554	0,559	0,563	0,568	0,573
34,0	0,532	0,537	0,541	0,546	0,550	0,555	0,560	0,564	0,568	0,573
34,5	0,532	0,537	0,541	0,546	0,550	0,555	0,560	0,564	0,569	0,574
35,0	0,533	0,538	0,542	0,547	0,551	0,556	0,561	0,565	0,569	0,574
35,5	0,534	0,539	0,543	0,548	0,552	0,557	0,562	0,566	0,570	0,575
36,0	0,534	0,539	0,543	0,548	0,552	0,557	0,562	0,566	0,570	0,575
36,5	0,535	0,540	0,544	0,549	0,553	0,558	0,563	0,567	0,571	0,576
37,0	0,536	0,540	0,544	0,549	0,553	0,558	0,563	0,567	0,571	0,576
37,5	0,537	0,541	0,545	0,550	0,554	0,559	0,564	0,568	0,572	0,577
38,0	0,537	0,542	0,546	0,551	0,555	0,560	0,564	0,569	0,573	0,578
38,5	0,538	0,542	0,546	0,551	0,555	0,560	0,565	0,569	0,573	0,578
39,0	0,539	0,543	0,547	0,552	0,556	0,561	0,565	0,570	0,574	0,579
39,5	0,539	0,543	0,547	0,552	0,556	0,561	0,566	0,570	0,574	0,579
40,0	0,540	0,544	0,548	0,553	0,557	0,562	0,566	0,571	0,575	0,580
40,5	0,541	0,545	0,549	0,554	0,558	0,563	0,567	0,572	0,576	0,581
41,0	0,541	0,545	0,549	0,554	0,558	0,563	0,567	0,572	0,576	0,581
41,5	0,542	0,546	0,550	0,555	0,559	0,564	0,568	0,573	0,577	0,582
42,0	0,542	0,546	0,550	0,555	0,559	0,564	0,568	0,573	0,577	0,582
42,5	0,543	0,547	0,551	0,556	0,560	0,565	0,569	0,574	0,578	0,583
43,0	0,544	0,548	0,552	0,557	0,561	0,565	0,570	0,574	0,579	0,583
43,5	0,544	0,548	0,552	0,557	0,561	0,566	0,570	0,575	0,579	0,584
44,0	0,545	0,549	0,553	0,558	0,562	0,566	0,571	0,575	0,580	0,584
44,5	0,545	0,549	0,553	0,558	0,562	0,567	0,571	0,576	0,580	0,585
45,0	0,546	0,550	0,554	0,559	0,563	0,567	0,572	0,576	0,581	0,585
45,5	0,547	0,551	0,555	0,560	0,564	0,568	0,573	0,577	0,582	0,586
46,0	0,547	0,551	0,555	0,560	0,564	0,568	0,573	0,577	0,582	0,586
46,5	0,548	0,552	0,556	0,561	0,565	0,569	0,574	0,578	0,583	0,587
47,0	0,548	0,552	0,557	0,561	0,565	0,569	0,574	0,578	0,583	0,587
47,5	0,549	0,553	0,558	0,562	0,566	0,570	0,575	0,579	0,584	0,588
48,0	0,550	0,554	0,558	0,563	0,567	0,571	0,576	0,580	0,585	0,589
48,5	0,550	0,554	0,559	0,563	0,567	0,571	0,576	0,580	0,585	0,589
49,0	0,551	0,555	0,560	0,564	0,568	0,572	0,577	0,581	0,586	0,590
49,5	0,551	0,555	0,560	0,564	0,568	0,572	0,577	0,581	0,586	0,590
50,0	0,552	0,556	0,561	0,565	0,569	0,573	0,578	0,582	0,587	0,591

* See Introduction.

54

Table 54

ASTM—IP — Volume Reduction to 15°C. — 0,540–0,570

25–50°C.

Observed Temperature, °C.	* Density 15°C.													
	0,540		0,545		0,550		0,555		0,560		0,565		0,570	
	Factor for Reducing Volume to 15°C.													
25,0	0,975	1	0,976	1	0,977	0	0,977	1	0,978	0	0,978	1	0,979	
25,5	0,974	0	0,974	1	0,975	1	0,976	0	0,976	1	0,977	1	0,978	
26,0	0,972	1	0,973	1	0,974	1	0,975	0	0,975	1	0,976	1	0,977	
26,5	0,971	1	0,972	1	0,973	1	0,974	0	0,974	1	0,975	1	0,976	
27,0	0,970	1	0,971	1	0,972	1	0,973	0	0,973	1	0,974	1	0,975	
27,5	0,969	0	0,969	1	0,970	1	0,971	1	0,972	1	0,973	1	0,974	
28,0	0,967	1	0,968	1	0,969	1	0,970	1	0,971	1	0,972	0	0,972	
28,5	0,966	1	0,967	1	0,968	1	0,969	0	0,969	1	0,970	1	0,971	
29,0	0,965	1	0,966	1	0,967	1	0,968	0	0,968	1	0,969	1	0,970	
29,5	0,963	1	0,964	1	0,965	1	0,966	1	0,967	1	0,968	1	0,969	
30,0	0,962	1	0,963	1	0,964	1	0,965	1	0,966	1	0,967	1	0,968	
30,5	0,961	1	0,962	1	0,963	1	0,964	1	0,965	1	0,966	1	0,967	
31,0	0,960	1	0,961	1	0,962	1	0,963	1	0,964	1	0,965	1	0,966	
31,5	0,958	1	0,959	1	0,960	2	0,962	0	0,962	2	0,964	1	0,965	
32,0	0,957	1	0,958	1	0,959	1	0,960	1	0,961	1	0,962	1	0,963	
32,5	0,956	1	0,957	1	0,958	1	0,959	1	0,960	1	0,961	1	0,962	
33,0	0,954	2	0,956	1	0,957	1	0,958	1	0,959	1	0,960	1	0,961	
33,5	0,953	1	0,954	1	0,955	2	0,957	1	0,958	1	0,959	1	0,960	
34,0	0,952	1	0,953	1	0,954	2	0,956	1	0,957	1	0,958	1	0,959	
34,5	0,950	2	0,952	1	0,953	1	0,954	1	0,955	2	0,957	1	0,958	
35,0	0,949	1	0,950	2	0,952	1	0,953	1	0,954	2	0,956	1	0,957	
35,5	0,948	1	0,949	1	0,950	2	0,952	1	0,953	2	0,955	1	0,956	
36,0	0,946	2	0,948	1	0,949	2	0,951	1	0,952	2	0,954	1	0,955	
36,5	0,945	2	0,947	1	0,948	2	0,950	1	0,951	1	0,952	1	0,953	
37,0	0,943	2	0,945	2	0,947	1	0,948	2	0,950	1	0,951	1	0,952	
37,5	0,942	2	0,944	1	0,945	2	0,947	1	0,948	2	0,950	1	0,951	
38,0	0,941	2	0,943	1	0,944	2	0,946	1	0,947	2	0,949	1	0,950	
38,5	0,939	2	0,941	2	0,943	2	0,945	1	0,946	2	0,948	1	0,949	
39,0	0,938	2	0,940	2	0,942	1	0,943	2	0,945	2	0,947	1	0,948	
39,5	0,936	3	0,939	1	0,940	2	0,942	2	0,944	2	0,946	1	0,947	
40,0	0,935	2	0,937	2	0,939	2	0,941	2	0,943	1	0,944	2	0,946	
40,5	0,934	2	0,936	2	0,938	2	0,940	1	0,941	2	0,943	1	0,944	
41,0	0,932	3	0,935	1	0,936	2	0,938	2	0,940	2	0,942	1	0,943	
41,5	0,931	2	0,933	2	0,935	2	0,937	2	0,939	2	0,941	1	0,942	
42,0	0,929	3	0,932	2	0,934	2	0,936	2	0,938	2	0,940	1	0,941	
42,5	0,928	3	0,931	2	0,933	2	0,935	2	0,937	2	0,939	1	0,940	
43,0	0,927	2	0,929	2	0,931	2	0,933	2	0,935	2	0,937	2	0,939	
43,5	0,925	3	0,928	2	0,930	2	0,932	2	0,934	2	0,936	2	0,938	
44,0	0,924	3	0,927	2	0,929	2	0,931	2	0,933	2	0,935	2	0,936	
44,5	0,922	3	0,925	3	0,928	2	0,930	2	0,932	2	0,934	1	0,935	
45,0	0,921	3	0,924	2	0,926	2	0,928	3	0,931	1	0,932	2	0,934	
45,5	0,920	3	0,923	2	0,925	2	0,927	3	0,930	1	0,931	2	0,933	
46,0	0,918	3	0,921	3	0,924	2	0,926	2	0,928	2	0,930	2	0,932	
46,5	0,917	3	0,920	2	0,922	3	0,925	2	0,927	2	0,929	2	0,931	
47,0	0,915	3	0,918	3	0,921	2	0,923	3	0,926	2	0,928	2	0,930	
47,5	0,914	3	0,917	3	0,920	2	0,922	3	0,925	2	0,927	2	0,929	
48,0	0,913	3	0,916	2	0,918	3	0,921	2	0,923	3	0,926	1	0,927	
48,5	0,911	3	0,914	3	0,917	2	0,919	3	0,922	2	0,924	2	0,926	
49,0	0,910	3	0,913	3	0,916	2	0,918	3	0,921	2	0,923	2	0,925	
49,5	0,908	3	0,911	3	0,914	3	0,917	3	0,920	2	0,922	2	0,924	
50,0	0,907	3	0,910	3	0,913	2	0,915	4	0,919	2	0,921	2	0,923	

* See Introduction.

ความแตกต่างของปริมาตรก๊าซ LPG เมื่อ อุณหภูมิ และค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยน

จากข้อมูลการตรวจสอบต้นแบบของประเทศออสเตรเลีย เมื่อปี 2004 พอสรุปคุณสมบัติมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว โดยทั่วไปได้ว่า

Minimum measured quantity, V_{min}	2 L
Maximum flow rate (Q_{max})	40 L/min
Minimum flow rate (Q_{min})	8. L/min
Maximum operating pressure (P_{max})	2400 kPa
Minimum pressure (P_{min})	200 kPa above vapour pressure(#)
Nature of the liquids to be measured	LPG
Approved for LPG density range 510 kg/m^3 to 570 kg/m^3 (at 15 °C)	
Accuracy Class	1.0
Environmental Class	C
Volume conversion to 15 °C over a liquid temperature range of	-10°C to 50°C
Delivered volume is converted to	***15°C***

(#) Alternatively, the following wording may be used:

"LPG pressure (at the meter) is maintained at least 200 kPa above vapor pressure."

ทั้งนี้โดยได้กำหนดมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว ให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ดังต่อไปนี้

Maximum Permissible Errors at Verification/Certification

The maximum permissible errors applied during a verification test of the fuel dispenser using the liquid for which it is to be verified/certified, and from normal flow rate to the minimum flow rate specified in the Certificate of Approval or Technical Schedule are:

±0.6% for the calibration/adjustment of the meter; (*)

±1.0% for in-service inspection of the complete measuring system; and

±0.4% for the volume conversion for temperature device.

Other applicable maximum permissible errors are:

±0.50 °C for the temperature measuring device;

10 kg/m^3 for the density detection device;

±40 mL for deliveries equal to the minimum measured quantity; and

±1.0% for gas elimination for LPG.

(*) It is forbidden to adjust the calibration of the meter to give an error other than as close as practically to zero.

จากคุณสมบัติช่วงความความหนาแน่น LPG (Approved for LPG Density Range) ของการตรวจสอบต้นแบบจะเห็นได้ว่ามาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวต้องมีขีดความสามารถวัดก๊าซ (เหลว) LPG ได้ครอบคลุมช่วงความหนาแน่นในช่วง (เนื่องจากก๊าซ LPG จะเป็นส่วนผลสมระหว่างบิวเทนกับโปรแพนเป็นหลัก สัดส่วนการผสมของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่กำหนดดังนั้นน้ำหนักและค่าความหนาแน่นของ LPG จึงสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงที่กำหนดได้ดังกล่าว)

ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 15 °C 0.51 kg/l - 0.57 kg/l

หรือหากแปลงค่าความถ่วงจำเพาะที่ 15 °C ตั้งแต่ 0.51 kg/l - 0.57 kg/l กลับไปที่ค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้เทียบกับอุณหภูมิของก๊าซ (เหลว) LPG ที่วัดได้ในตาราง ASTM-IP Table 53 พอสรุปได้ว่า

อุณหภูมิของก๊าซที่วัดได้ °C	ค่าความถ่วงจำเพาะของ ก๊าซ (เหลว) LPG ที่วัดได้	
15	0.510	0.570
18.0 -19.5	0.505	0.565
20.0 – 23.5	0.505	0.560
24.0 – 27.5	0.505	0.555
28.0 – 31.0	0.505	0.550
31.5 -36.0	0.505	0.545

สำหรับประเทศไทยจาการสอบถามเจ้าหน้าที่พบว่าโอกาสน้อยมากที่วัดอุณหภูมิของก๊าซ (เหลว) LPG สูงเกินกว่า 30 °C ดังนั้นหากเราพิจารณาเพียง 3 ช่วง คือ 20.0 °C - 23.5 °C, 24.0 °C – 27.5 °C และ 28.0 °C – 31.0 °C ก็น่าจะครอบคลุมการทำงานสำหรับประเทศไทย

เพื่อการพิจารณาความแตกต่างของปริมาตรก๊าซ LPG เมื่อ อุณหภูมิและค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยน จึงดำเนินการสมมุตสภาวะเงื่อนไขการคำนวณ โดยการชั่งน้ำหนักก๊าซ (เหลว) LPG เมื่อ มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวจ่ายและอ่านปริมาตรได้ 10 ลิตร และคำนวณดังตัวอย่างข้างบนโดยมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวยังคงมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกิน ±1% ภายใต้เงื่อนไข

A. เปลี่ยนค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิคงที่ 5 จุด (มาตรวัดก๊าซปิโตรเลียมเหลวอยู่ภายใต้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด) เราสรุปผลได้ดังในตาราง

อุณหภูมิของก๊าซที่วัดได้ Observe Temp.	ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซ (เหลว) LPG ที่วัดได้	ปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิ 30 °C	ปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิที่วัดได้ (Observe Temp.; °C)
31	0.55	9.968	10.000
	0.54	9.945	9.963
	0.53	9.957	9.981
	0.52	9.950	9.981
	0.51	9.984	9.961
	Δl / ΔSG.	**-0.40**	**0.98**
27.5	0.555	9.968	9.910
	0.545	9.962	9.908
	0.53	10.057	10.000
	0.52	10.051	10.000
	0.51	10.030	9.961
	Δl / ΔSG.	**-1.38**	**-1.13**
23.50	0.56	10.059	9.911
	0.55	10.055	9.909
	0.54	10.125	9.926
	0.53	10.084	9.925
	0.52	10.099	9.923
	Δl / ΔSG.	**-1.01**	**-0.31**

สรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิคงที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อค่าความถ่วงจำเพาะ (kg/l) ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับที่อุณหภูมินั้นๆ แต่ที่เหมือนกันคือ ***ที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อความถ่วงจำเพาะลดลงปริมาตรที่วัดได้จะเพิ่มมากขึ้น***

ข้อสังเกต หากใช้ก๊าซเหลว LPG ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยในการตรวจสอบให้คำรับรอง จากนั้นนำไปใช้วัดก๊าซเหลว LPG ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมาก จะทำให้ผู้ซื้อเป็นฝ่ายเสียเปรียบ ผู้ขายได้เปรียบ

B. เปลี่ยนค่าอุณหภูมิ เมื่อความถ่วงจำเพาะที่วัดได้คงที่ (มาตรวัดก๊าซปิโตรเลียมเหลวอยู่ภายใต้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด) เราสรุปผลได้ดังในตาราง

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซ (เหลว) LPG	อุณหภูมิที่วัดได้ (Observe Temp.; °C)	ปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิ 30 °C	ปริมาตรก๊าซ (เหลว) LPG ที่อุณหภูมิที่วัดได้ (Observe Temp.; °C)
0.505	31	9.971	10.000
	27.5	10.062	10.000
	25	10.047	9.901
	23.5	10.090	9.901
	$\Delta l / \Delta$ °C	**-0.016**	**0.013**
0.52	31	9.949	10.000
	27.5	10.051	10.000
	25	10.038	9.904
	23.5	10.099	9.923
	$\Delta l / \Delta$ °C	**-0.02**	**0.010**
0.54	31	9.945	9.963
	27.5	10.006	9.944
	25	10.048	9.926
	23.5	10.070	9.907
	$\Delta l / \Delta$ °C	**-0.017**	**0.007**
0.555	31	9.943	9.982
	27.5	10.041	9.982
	25	10.064	9.946
	23.5	10.085	9.928
	$\Delta l / \Delta$ °C	**-0.019**	**0.007**

สรุปได้ว่า ที่ค่าความถ่วงจำเพาะ(kg/l) คงที่ ในกรณีพิจารณาปริมาตรที่อุณหภูมิวัดได้ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อค่าอุณหภูมิ จะมีอัตราเปลี่ยนแปลงเป็นบวก นั้นหมายถึงปริมาตรเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่หากแปลงค่าไปยังปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 °C แล้ว เราพบว่าปริมาตรจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อค่าอุณหภูมิ ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะ(kg/l) เปลี่ยนแปลงไป คือประมาณ 0.01-0.02 $\Delta l / \Delta$ °C

ข้อสังเกต ดังนั้นหากเราแปลงค่าปริมาตรที่อุณหภูมิวัดได้กลับไปยังที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 °C และปรับการแสดงปริมาตรของมาตรวัดก๊าซปิโตรเลียมเหลวกลับไปยังค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 °C ด้วยแล้ว มาตรวัดก๊าซจะให้ผลการวัดที่แตกต่างกันน้อยมากเมื่ออุณหภูมิก๊าซเหลวเปลี่ยนแปลงไป ในที่ช่วงระหว่าง 31°C -23.5 °C คือ 6.5 °C ภายใต้เงื่อนไขค่าความถ่วงจำเพาะ (kg/l) คงที่ ซึ่งเป็นไม่ได้ในความเป็นจริง

ดังนั้นหากต้องจัดทำข้อมูลที่มีความแน่นอนมากขึ้นจำเป็นต้องให้ผู้ที่เกี่ยวข้องดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลจริงๆ ในภาคสนาม

ทางเลือกในการแก้ไขปัญหา

จากระบบการซื้อขายในปัจจุบันซึ่งต้นน้ำคือการนำเข้า LPG เป็นการซื้อขายกันด้วยน้ำหนักรวมทั้งการเก็บภาษีก็คำนวณบนพื้นฐานของน้ำหนัก ในขณะที่ปลายน้ำเป็นการจำหน่ายปลีกผ่านมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามสถานีบริการเป็นการจำหน่ายด้วยปริมาตร จากขั้นตอนการขายดังกล่าวก่อให้เกิดส่วนต่างของราคาและทางการตลาดในวิธีการซื้อขายก๊าซเหลว LPG ในปัจจุบัน

อาจเป็นไปได้ว่าในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมายังไม่มีเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวัดก๊าซเหลว LPG สำหรับการซื้อขายแบบปลีกโดยให้มีการขายเป็นน้ำหนัก จึงอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการจำหน่ายตามปริมาตรเช่นเดียวกับน้ำมัน

เชื้อเพลิง ดังนั้นในปัจจุบันเทคโนโลยีสำหรับการซื้อขายแบบปลีกด้วยน้ำหนักสามารถกระทำได้ เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมทางการค้าระหว่างทุกภาคส่วนอีกทั้งสอดคล้องกับวิธีการซื้อขาย LPG ตั้งแต่ต้นน้ำ (คิดคำนวณการซื้อขายและคำนวณภาษีด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักในการนำสินค้าเข้าประเทศ) จนถึงปลายน้ำ (การซื้อขายปลีกตามสถานีบริการ LPG) จึงเห็นควรดำเนินการ

1. กำหนดให้สถานีบริการใหม่ ให้ใช้มาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามสถานีบริการเป็นการจำหน่ายด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก แทนการซื้อขายด้วยวิธีการวัดปริมาตร ส่วนจะใช้มาตรวัดมวลโดยตรงหรือเป็นมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่มีตัวชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และตัวตรวจวัดค่าความหนาแน่น (Density Detector) ก็ได้

2. สถานีบริการ LPG เก่าควรดำเนินการติดตั้งตัวชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และตัวตรวจวัดค่าความหนาแน่น (Density Detector) ภายใน 5 ปี

3. ในระหว่างที่จะมีการกำหนดให้เป็นกฎหมายเพื่อบังคับใช้ ให้สำนักชั่งตวงวัดดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตร LPG ที่จ่ายซื้อขายที่สภาวะอ้างอิง 30 °C ไปก่อน เนื่องจากการซื้อขายคราวละมากๆ ตกลงการซื้อขายด้วยน้ำหนัก ซึ่งปรับค่าน้ำหนักไปยังสภาวะอ้างอิงที่ 30 °C

4. ปรับปรุงกฎกระทรวงฯ ในส่วนมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามสถานีบริการ เพื่อให้ครอบคลุมปัญหาดังกล่าว

วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

(Control Valve in Dynamic Measuring Systems)

ตอนที่ 1 บททั่วไป

ในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเพื่อทำการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดนั้นอาจประกอบด้วยจำนวนกระบวนการผลิตขั้นตอนย่อยๆ ตั้งแต่หลักหน่วยจนถึงหลักพัน ซึ่งในแต่กระบวนการผลิตขั้นตอนย่อยๆดังกล่าวจะถูกออกแบบเพื่อควบคุมปัจจัยในกระบวนการผลิตที่สำคัญๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับความสูงของเหลวภายในถังเก็บ เป็นต้น เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการผลิตย่อยๆในแต่ละวงจรนั้นๆ ได้ทำการควบคุมปัจจัยในกระบวนการผลิตนั้นๆ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตย่อยแต่ละกระบวนการรวมกันแล้วจะให้ผลผลิตสินค้าที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

วาล์วควบคุมหรือ Control Valve จึงเป็นอุปกรณ์หนึ่งในหลายอุปกรณ์ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิตที่เป็นที่รู้จักกันมากชิ้นหนึ่ง วาล์วควบคุมมีหน้าที่จัดการการไหลของไหล (ของเหลว + ก๊าซ) ภายในกระบวนการผลิต เช่น ไอน้ำ น้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อปรับ รักษาและชดเชยภาระงานของกระบวนการผลิตนั้นๆ อีกทั้งช่วยรักษาระดับค่าตัวแปรที่สำคัญและมีผลต่อกระบวนการผลิตในระบบควบคุมให้มีค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ (set point)

วาล์วควบคุมหรือ Control Valve หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังจากภายนอกเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลในระบบการควบคุมกระบวนการทำงานหนึ่ง วาล์วควบคุมจึงประกอบด้วย ตัววาล์วและอุปกรณ์เชื่อมต่อก้านลิ้นวาล์วกับกลไกการกระตุ้น (Actuator Mechanism) สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของชิ้นส่วนควบคุมการไหล (flow controlling

element) ภายในตัววาล์วหรือตำแหน่งของลิ้นวาล์วตามสัญญาณที่ได้รับจากระบบควบคุม (Controlling System) โดยไม่รวมถึง Regulator, Relief valve และ Hand Valve ดังนั้นวาล์วควบคุมจึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. วาล์ว (Valve) ส่วนทำหน้าที่ควบคุมการไหลของไหล ประกอบด้วย ชุดรองรับของไหล (Fluid Retaining Assembly) หรือตัวเรือนวาล์ว (Valve Body) รวมถึง ช่องทางไหล (Port) ระหว่าง Seat กับ “Flow Control Element” (หรือ “Moveable Closure Member” หรือ “ลิ้นวาล์ว”) ซึ่งเคลื่อนที่เพื่อเปิดเต็มที่, เปิดบางส่วน (Restricts) หรือปิดช่องทางไหลนั้น (ในเอกสารบางฉบับเรียก Seat กับ ลิ้นวาล์วรวมๆ กันว่า “Trim”) ทั้งนี้ช่องทางไหลภายในตัวเรือนวาล์วอาจมีมากกว่า 1 ช่องทาง ดังนั้นจึงดูเหมือนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานเช่นเดียวกับวาล์วที่ใช้มือหมุนทั่วๆไป (Hand Valve หรือ Manual Valves) ซึ่งเป็นชนิดของวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวของมันเองต้องอาศัยคนในการเปิด-ปิด การแบ่งชนิดประเภทของวาล์วแบ่งออกเป็นชนิดตามรูปที่ 1-2

2. Actuator หมายถึง ส่วนที่ถูกขับด้วยพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานไฮดรอลิค จากนั้นทำหน้าที่แปลงพลังงานดังกล่าวให้อยู่ในรูปของงาน/แรงเชิงกลไปขับชิ้นส่วนที่ต้องการให้เคลื่อนที่ ในที่นี้ก็คือ Flow Control Element หรือลิ้นวาล์ว ในบางครั้งเราอาจเรียก “Actuator” ว่า “หัวขับวาล์ว”

3. Motion conversion mechanism หมายถึงกลไกเชื่อมต่อระหว่างวาล์วกับ Actuator ซึ่งทำหน้าที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotary Motion) นั่นคือการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่การหมุนของลิ้นวาล์ว (Rotary Valve Operation) หรือในทางกลับกัน เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่การหมุนของ Actuator ไปเป็นการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของลิ้นวาล์ว (Linear Valve Operation)

4. Accessories แต่ในบางครั้งอาจมีการเพิ่มส่วนประกอบปลีกย่อยร่วมเข้ามาเพื่อความสะดวกต่อการทำงานซึ่งจะรวมไปถึงพวก

Positioners, I/P Transducers, Limit Switches, Handwheels, Air Set, Position Sensor, Solenoid Valve, Travel Stops เป็นต้น

การแบ่งกลุ่มของวาล์ว

เพื่อให้เรามองภาพรวมของวาล์วควบคุมถูกวางไว้ในตำแหน่งใดในระบบให้ดูรูปที่ 1-1 แสดงถึงการแบ่งชนิดของวาล์ว คือ

1. Hand Valve หรือ Manual Valves เป็นวาล์วที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวของมันเองต้องอาศัยคนในการปิด-เปิดวาล์ว

2. Power Valve เป็นวาล์วที่ใช้กำลังงานจากภายนอกเป็นตัวปิด-เปิดวาล์ว เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานของไหล เป็นต้น ได้มีการแบ่งย่อยลงไปเป็น

2.1. Positioning

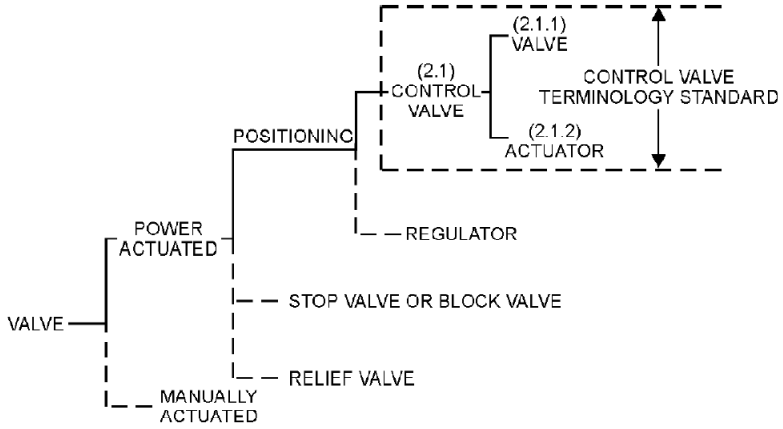
2.1.1. **Control Valve** วาล์วควบคุมที่เราให้ความสนใจต่อไป ณ บัดnow

2.1.2. Regulator เป็นวาล์วที่สามารถควบคุมปริมาณหรือระยะการปิด-เปิดด้วยการตั้งค่าล่วงหน้าที่ต้องการเพื่อควบคุมตัววาล์วด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นการตั้งค่าสปริง ยังเป็นที่ถกเถียงกันว่าในบางสถานะการณ์สามารถประหยัดเงินได้มากหากเราใช้ Regulator แทน Control Valve ซึ่งเป็นเรื่องน่าคิดเช่นกัน แต่ต้องรู้จริงก่อนตัดสินใจ

2.2. **Stop Valve or Block Valve** ก็มีนๆ เหมือนกันไม่รู้จะอธิบายง่ายๆ อย่างไร เอาเป็นอย่างนี้ว่าถ้าระบบท่อต้องการติดตั้งวาล์วเพื่อให้มันเปิดอย่างเดียวอย่างนี้มันก็ไม่ต้องติดตั้งให้เสียเวลาและเสียเงินทอง ดังนั้นที่ต้องการติดตั้งวาล์วในระบบเพราะต้องการให้มันทำหน้าที่ปิดหรือสกัดของไหลภายในท่อไม่ให้ไหลผ่านในเวลาที่ต้องการหรือเมื่อต้องการตัดระบบแยกออกไปเพื่อทำการซ่อมแซมในระบบอื่นๆที่อยู่ติดกัน ฝรั่งเลยเรียก “Stop Valve” ผมก็ยังสงสัยว่าทำไมไม่เรียก “Open Valve” บ้างละ แล้ว On/Off หรือ Starting/Stopping

หากพูดไม่ต้องคิดมากก็คือวาล์วที่ทำหน้าที่หลัก 2 อย่างคือ ปิดและเปิด ส่วนภาษาก็ว่ากันนะหากมีข้อมูลใหม่ก็บอกด้วย ผมติดหล่มความคิดครับ!!

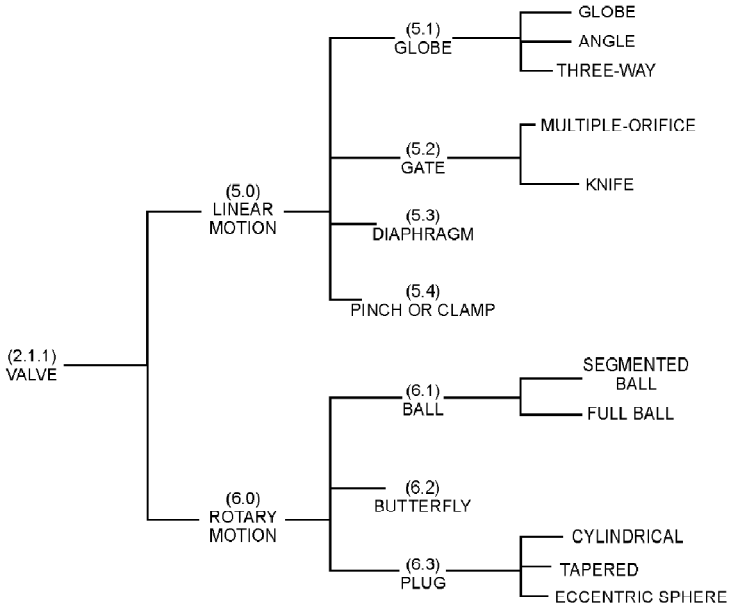
2.3. **Relief Valve** วาล์วทำหน้าที่ระบายความดัน หรืออุณหภูมิภายในระบบ



รูปที่ 1-1 การแบ่งกลุ่มวาล์ว ตาม ISA-S75.05-1983

แต่ก่อนที่เราจะมึนเพราะมีวาล์วมากมายหลากหลายชนิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาชีวิตของแต่ละกระบวนการหนึ่ง ดังนั้นเพื่อลดปัญหากวนใจและจำกัดขอบเขตเนื้อหาในตอนนี้และในตอนต่อๆไป (เรื่องมันเยอะต้องแบ่งตอนเหมือนแต่งนิยาย..สร้างมูลค่าเพิ่ม) เราจึงสนใจเฉพาะวาล์วควบคุมเท่านั้นเพราะมันกระทบต่อการทำงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย เรามาดูรูปที่ 1-2 ซึ่งแบ่งวาล์วควบคุม (Control Valve) ออกเป็น

1. Linear Motion ลักษณะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วซึ่งต่อเชื่อมไปยังลิ้นวาล์วเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรืออาจเป็นแนวดิ่งหรือแนวเอียงก็ได้เมื่อทำการปิดหรี่หรือเปิดวาล์วสุด เป็นการออกแบบที่ง่ายและสะดวกต่อการบำรุงรักษา สามารถผลิตได้หลากหลายขนาดทั้งที่ความดันใช้งานและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่



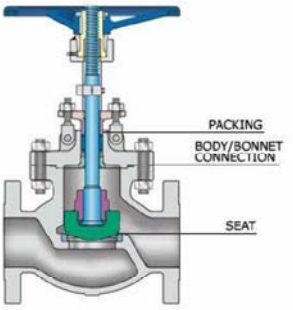
รูปที่ 1-2 การแบ่งกลุ่มวาล์วควบคุม (Control Valve) ตาม ISA-S75.05-1983

1.1. Globe Valve

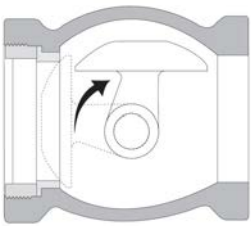
1.2. Gate Valve

1.3. Diaphragm Valve

1.4. Pinch or Clamp Valve



รูปที่ 1-3 Linear Motion



รูปที่ 1-4 Rotary Motion

2. Rotary Motion ลักษณะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วซึ่งต่อเชื่อมไปยังลิ้นวาล์วเคลื่อนที่โดยการหมุนตัวของก้านวาล์วเพียง 90 องศา (ส่วนใหญ่) ทำให้ลิ้นวาล์วมีลักษณะเคลื่อนที่หมุนเข้าและหมุนออกเพื่อปิดหรือเปิดช่องทางการไหลภายในวาล์วเมื่อทำการปิด หรี่หรือเปิดวาล์วสุด ส่งผลให้วาล์วซึ่งมีหลักการทำงานชนิดนี้จึงมีขนาดช่องทางการไหล (port) ใหญ่กว่า แต่มีขนาดและน้ำหนักวาล์วน้อยกว่าวาล์วแบบ Linear Motion แต่ในขณะเดียวกันวาล์วชนิดนี้มีความดันตกคร่อมที่มากกว่าวาล์วแบบ Linear Motion ปัจจัยนี้เองจึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการเลือกใช้งาน ได้แก่

2.1. Ball Valve

2.2. Butterfly Valve

2.3. Plug Valve

รายละเอียดของวาล์วแต่ละชนิดจะอธิบายในตอนถัดไปข้างหน้าใจเย็นๆ....

เนื่องจากวาล์วถูกเลือกใช้งานในขอบเขตที่กว้างขวาง ทำให้ในบางครั้งก็มีการจัดกลุ่มชนิดของวาล์วที่แตกต่างกันออกไปจากรูปที่ 1-2 เช่น

ก. แบ่งชนิดของวาล์วตามการใช้งาน (Application) ก็สามารถแบ่งได้ว่า

- **General Service** สำหรับการใช้งานทั่วไป เช่นความดันภายในระบบท่อไม่สูงมากนักอยู่ในช่วง 150-600 Psig อุณหภูมิอยู่ในช่วง -45 – 340 °C เป็นของไหลกัดกร่อนต่ำ เป็นต้น

- **Special Service** การใช้งานเฉพาะทางหรือออกแบบเป็นกรณีพิเศษด้วยเงื่อนไขไม่ปรกติ เช่น ความดันสูงมากเป็นพิเศษ ของไหลในระบบท่อมีความเป็นกรดด่างสูงมาก หรือต้องการวัสดุพิเศษ เป็นต้น

- **Severe Service** เป็นวาล์วที่ถูกใช้งานในสภาพแวดล้อมและสภาวะกระบวนการทำงานที่รุนแรงอย่างยิ่งยวด (Critical Process) เช่น การไหลในระบบท่อมีความดันตกคร่อมสูงมากๆ (คือความดันทางเข้าวาล์วสูงมากๆ แล้วเมื่อผ่านวาล์วควบคุม เราต้องการให้ความดันด้านทางออกวาล์วควบคุมมีค่าความดันต่ำ

มากเพื่อให้ของไหลมีความดันเหมาะสมกับกระบวนการทำงานนั้นๆ) ซึ่งอาจเกิดจาก Cavitation, Flashing, Choking, หรือในระบบท่อที่มีเสียงดังในระดับสูง, ในสภาวะอุณหภูมิร้อนจัดหรือเย็นจัด, ของไหลมีความเป็นกรดด่างเข้มข้นสูง เป็นต้น

โดยปกติทั่วไปวาล์วที่ใช้งานในกระบวนการหนึ่งจะมีความแตกต่างของความดันสูงฝั่งขาเข้าวาล์ว (Upstream) P_1 เทียบกับความดันต่ำฝั่งขาออกวาล์ว (Downsteam). P_2 ไม่ควรมีค่าเกิน 50% (P_1- P_2 < 50%) แต่ถ้าหากค่าความแตกต่างของความดันมีค่าสูงมากกว่านี้เราจะเรียกว่า “High Pressure Drop Valves” หรือ “Severe Service Valve” ในสภาวะที่ค่าความแตกต่างของความดันมีค่าสูงภายในตัววาล์วเช่นนี้ชิ้นส่วนภายในตัววาล์วจึงต้องรองรับพลังงานอันมหาศาล (จากความแตกต่างของความดันสูงระหว่างขาเข้า-ขาออกวาล์ว) จากหลักการพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamic) เมื่อของไหลที่มีความดันสูงถูกบังคับให้วิ่งผ่านพื้นที่แคบลง ความดันจะขับเคลื่อนของไหลให้เคลื่อนที่เร็วสูงขึ้นอย่างมากหรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลังงานเนื่องจากความดันกระทำต่อของไหลไปเป็นรูปแบบพลังงานจลน์ (Kinetic energy) นั่นเอง และเจ้าตัวความเร็วของของไหลนี้เองที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายรวมทั้งเกิดการกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) แก่ชิ้นส่วนภายในของตัววาล์วชนิด “Severe Service Valve”

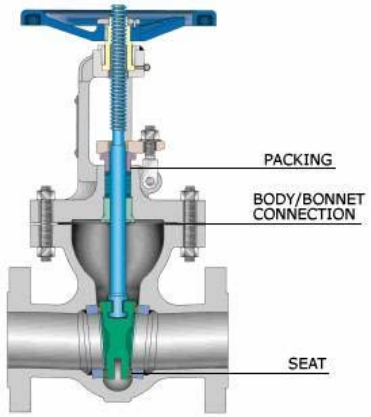
Table 1 Determining Factors

Condition	Formula/Reference	Threshold	Notes
Cavitation	dP/(P1-P2)	>0.38	Cavitation index per ISA–RP75.23
Choked flow	dP/P1	>0.6	
Erosive flow	Velocity normal flow	>8m/s inlet	Clean liquids
Flashing	P2/Pv	≤1.0	Liquids only
High alloy metallurgy	B16.34	>Group 3.1	
High energy state	dP(Pa) x Q	>100 Kw	Q is volumetric flow
High noise	IEC 60534-8-3&4	>85 dB	
High turn down ratio	Qmax/Qmin	>10	
Scale precipitation		>1mm/year	
Slurry		>10% solids>5m/s	Suspended solids
Temperature (high normal operating)		>425°C	Or as per B16.34
Temperature (low normal operating)		<-50°C	Fluid temperatures

รูปที่ 1-5 ปัจจัยและเงื่อนไขสำหรับใช้ในการพิจารณาแยกแยะความเป็น Severe Service Valve

ข. แบ่งกลุ่มหรือชนิดของวาล์วตามหน้าที่การทำงาน (Function) ก็สามารถแบ่งย่อยเป็น

- **On/Off** ในบางครั้งอาจเรียกว่า “Block Valve” ใช้งานสำหรับเริ่มต้นและสิ้นสุดหยุดการส่งจ่ายของไหลเข้ากระบวนการในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นวาล์วที่ปิด-เปิดด้วยคน เช่น Gate Valve, Plug Valve, Ball Valve, Pressure Relief เป็นต้น หรืออาจเรียก Stop Valve ด้วยกระมัง



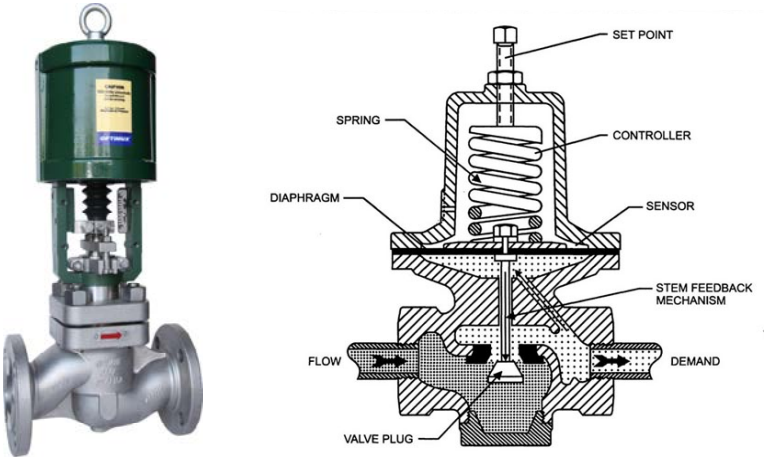
รูปที่ 1-6 On/Off หรือ Block Valve

- **Non-Return** วาล์วทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลให้ไปในเฉพาะทิศทางที่ต้องการทุกๆอัตราการไหลและทุกความดันขณะทำงาน อาจด้วยเหตุผลเช่นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจก่อให้เกิดกับอุปกรณ์ต้นทาง เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Check Valve (รูปที่ 1-7)



รูปที่ 1-7 Non-Return Valve

- **Throttling** วาล์วสำหรับควบคุมการไหล อุณหภูมิ หรือความดันในระบบท่อ ลิ้นวาล์วสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงหรือหมุนปิดเปิดช่องทางไหลภายในตัววาล์วได้ทุกระดับ ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย Actuator เพื่อควบคุมระดับการปิดเปิดของวาล์ว ได้แก่ วาล์วควบคุม และ Pressure Regulator



วาล์วควบคุม Regulator

รูปที่ 1-8 Throttling Valve

- **Final Control Element** ในกระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการที่มีระบบควบคุมการทำงานใดๆ (ดูรูปที่ 1-9) ก็ตามจะประกอบด้วยตัวตรวจจับ (sensors) เพื่อตรวจจับสภาวะเงื่อนไขของกระบวนการทำงานระบบนั้นๆ จากนั้นค่าที่วัดได้จากตัวตรวจจับก็จะถูกแปลงค่าให้เหมาะสมกับระบบควบคุมโดยตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) และถูกส่งค่าออกไปยังตัวควบคุมประมวลผล (Controller) จากนั้นตัวควบคุมประมวลผลทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ต้องการหรือตั้งค่าไว้ (Set Point) กับค่าที่ได้รับจากตัวตรวจจับที่ส่งข้อมูลผ่านมาโดยตัวถ่ายทอดสัญญาณ เมื่อได้ผลการเปรียบเทียบเป็นอย่างไรตัวควบคุมจะแปลงความหมายแล้วส่งสัญญาณปรับค่าแก้ไขกลับไปยัง “Final Control Element”

ในกระบวนการทำงานของระบบ ซึ่งเป็นส่วนปลายสุดของระบบควบคุมของกระบวนการทำงานดังกล่าว...นั่นก็คือ..วาล์วนั้นเอง (เฉพาะเนื้อหาในที่นี้) ด้วยเหตุนี้วาล์วจึงต้องการพลังงานจากภายนอกเพื่อใช้ในการทำงาน

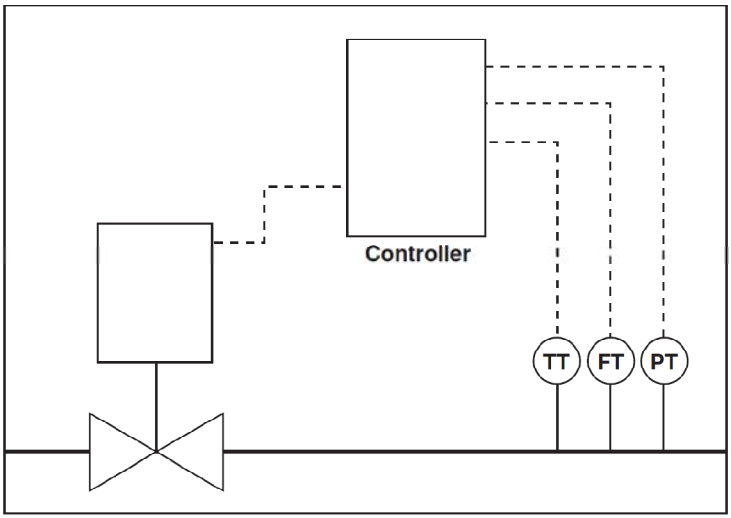


Figure 1.8 Control loop schematic showing the relationship among flow (FT), pressure (PT), and temperature (TT) transmitters, and the controller and control valve. (*Courtesy of Valtek International*)

รูปที่ 1-9 Final Control Element

วาล์วควบคุมมีผลต่อระบบควบคุมวงรอบปิด (Process Control Loop) อย่างไร

เรามาดูรูปที่ 1-11 ซึ่งแสดงการควบคุมวงรอบปิด (Process control loop) เพื่อมาดูว่าวาล์วควบคุมทำอะไรในกระบวนการทำงานหนึ่งๆ จะเห็นได้ว่ามี 3 หน้าที่สำคัญหลัก (Function Blocks) คือ

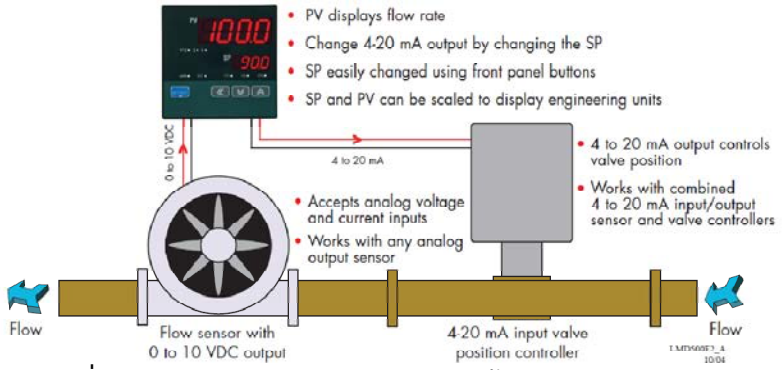
1. **Control Valve Gain (K_v)** ค่านี้สามารถหาได้จาก “Installed Flow Characteristic” ของวาล์วภายหลังจากถูกติดตั้งเข้ากระบวนการทำงาน ซึ่งค่านี้จะแตกต่างจากค่าที่ปรากฏในแค็ทตาล็อกของวาล์วที่ผู้ขายส่งมอบ ค่า K_v บอกให้

เราทราบว่าการไหลของไหลผ่านวาล์วมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเท่าไรต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่วัดได้ เช่น สัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA สัญญาณความดันลม 3-15 psi

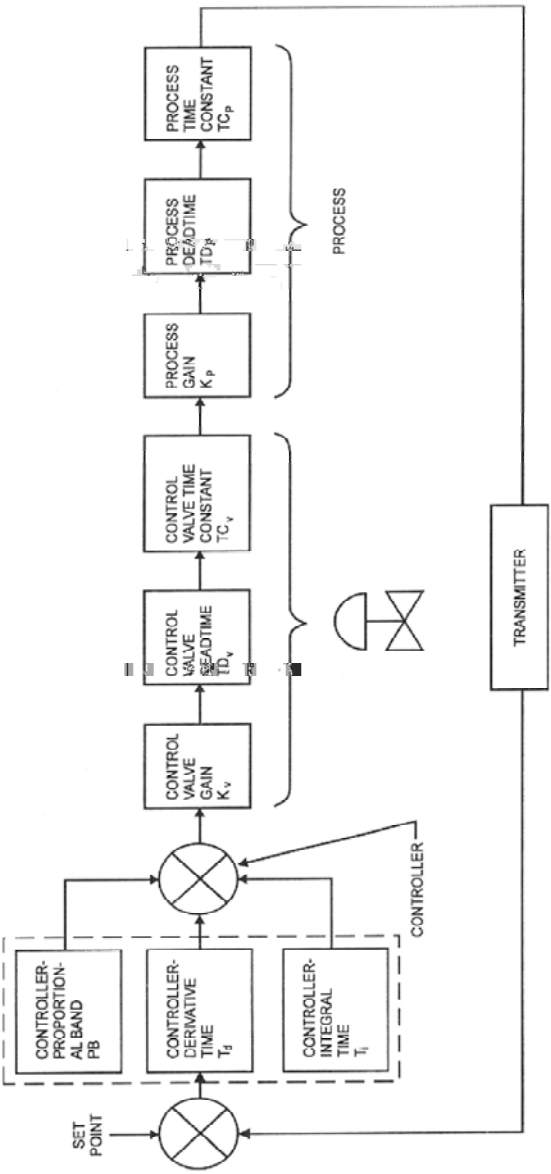
โดยทั่วไปแล้วตัวถ่ายทอดสัญญาณ (Transmitter) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับ (sensor) หรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ให้เป็นสัญญาณมาตรฐานเพื่อใช้พูดคุยสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆในระบบที่ทำงานร่วมกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ สัญญาณนิวแมติกส์และสัญญาณทางไฟฟ้า

- สัญญาณนิวแมติกส์ (Pneumatics Signal) เป็นสัญญาณมาตรฐานที่อยู่ในรูปของความดันลม ใช้ความดันของลมในการควบคุมกระบวนการ ตัวอย่างสัญญาณมาตรฐานนิวแมติกส์ ได้แก่ 3-15 psi (BS), 0.2-1 bar (Metric) และ 0.2-1 kg/cm^2 (Metric)

- สัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) เป็นสัญญาณมาตรฐานที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบแรก คือ แรงดันไฟฟ้า 1-5 V กระแสไฟฟ้า 4-20 mA และแบบหลังคือแรงดันไฟฟ้า 0-10 V กระแสไฟฟ้า 0-100 mA



รูปที่ 1-10 ตัวอย่าง Flow Control ควบคุมด้วย Digital Controller



รูปที่ 1-11 ไดอะแกรมการทำงานร่วมกันของ Controller, Control valve, และกระบวนการควบคุม

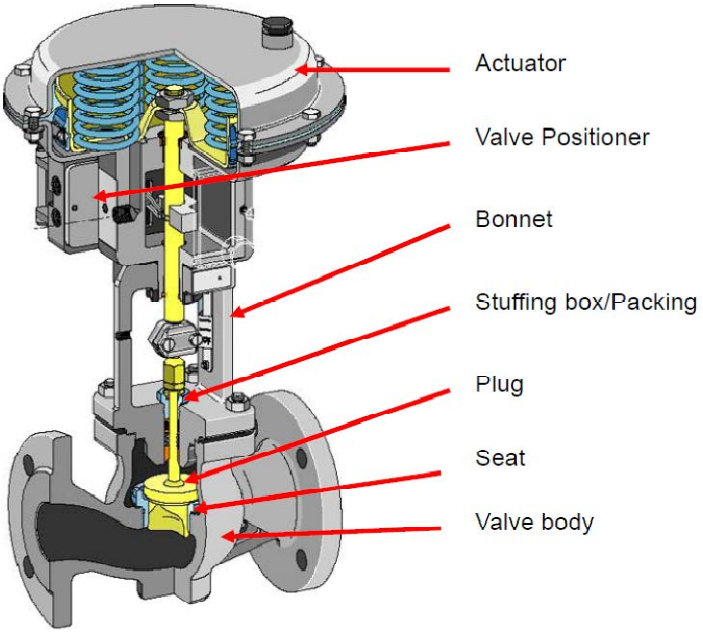
2. Control Valve Deadtime (TD_v) บ่งบอกถึงระยะเวลาที่เสียไปสำหรับ Actuator (เช่น Pneumatic Actuator) ในการปรับเปลี่ยนความดันเพื่อไปหมุนปรับระยะปิด-เปิดของวาล์ว ก่อนวาล์วเคลื่อนที่เพื่อให้เป็นไปตามปริมาณสัญญาณที่ถูกส่งมาจากตัวควบคุม (Controller) ซึ่งค่าระยะเวลาที่เสียไปดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับตัววาล์วและความฝืดในการทำงานของ actuator แต่ไม่รวมระยะเวลาที่สูญเสียไปกับเวลาหน่วงของการถ่ายทอดแรงดันลมของตัวถ่ายทอดสัญญาณและระยะเวลาในการสร้างแรงดันในตัวเรือน Diaphragm ของ Actuator (ตัวอย่างในกรณีที่เป็น Diaphragm Actuator) ค่า Control Valve Deadtime จึงมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับค่า Dead Band ของการทำงานร่วมกันของวาล์วและ Actuator ซึ่งค่า Dead Band ดังกล่าวนี้เองทำให้วาล์วไม่สามารถตอบสนองทันทีทันใดเมื่อได้รับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงจากตัวควบคุม ส่งผลต่อเนื่องก่อให้เกิด Control Valve Deadtime โดยทั่วไปแล้วค่า Dead Band ของวาล์วจะมีค่าไม่เกิน 5% ของช่วงสัญญาณมาตรฐาน นั่นคือมีค่าน้อยกว่า 0.6 psi (12*5/100 = 0.6) ของช่วงสัญญาณนิวแมติกส์มาตรฐาน 3-15 psi หรือ 0.8 mA ของช่วงสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA

แต่ในกรณีทำงานร่วมกันของวาล์วและ Positioner (ดูรูปที่ 1-12) โดยทั่วไปแล้วค่า Dead Band ของวาล์วจะมีค่าไม่เกิน 0.5% ของช่วงสัญญาณมาตรฐาน นั่นหมายถึงการติดตั้ง Positioner ประจำวาล์วควบคุมสามารถช่วยลด Dead Band ได้อย่างน่าพอใจ

สำหรับวาล์วที่มีปะเก็นอัดแน่นรอบก้านวาล์ว (Tight stem packing) ในทางอุดมคติ**แล้วควรมีค่า Operating Dead Band น้อยกว่า 1% ของช่วงสัญญาณมาตรฐาน**

3. Control Valve Time Constant (TC_v) ค่านี้เปรียบเสมือนความเร็วของช่วงชักหรือช่วงการหมุนของก้าน Actuator หรือความเร็วของ Actuator กับ Positioner รวมกัน นั้นคือความเร็วของวาล์วในการตอบสนองต่อค่าสัญญาณที่ส่ง

มาจาก Controller สั่งให้ปรับเปลี่ยนตำแหน่งปิดเปิดวาล์วในเทอมของ Actuator ดังนั้นจึงเป็นเวลาที่เสียไปจากผลการทำงานร่วมกันของ Actuator กับ Positioner



รูปที่ 1-12 Final Control Element

สำหรับวาล์วควบคุมในอุดมคติแล้วควรเป็นวาล์วที่มีค่า Control Valve Gain (K_v) คงที่ตลอดช่วงอัตราการไหลนั้นคือมีคุณลักษณะของการทำงานที่เรียกว่า **Linear "installed" flow characteristic** และ**ต้องมีค่า Control Valve Deadtime (TD_v) ภายใต้เงื่อนไขวาล์วที่มีปะเก็นอัดแน่นของก้านวาล์ว (Tight stem packing) เท่ากับ 0** สุดท้ายต้อง**มี Control Valve Time Constant (TC_v) ต่างจาก Process Time Constant อย่างน้อย Factor of 3** (ผมยอมรับว่ายังหาคำตอบไม่ได้ว่าเลข 3 หมายถึงอะไร ค่อยๆคิดด้วยกันนะครับ ?????? ใครรู้สอนหน่อยน่ะ)

วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

(Control Valves in Dynamic Measuring Systems)

ตอนที่ 2

โครงสร้างโดยทั่วไป

เนื่องจากวาล์วประกอบด้วยชิ้นส่วนกลไกที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมการไหลของของไหลหลากหลายชนิดตั้งแต่ของไหลสถานะเดียว (Single Phase) คือถ้าของไหลเป็นของเหลวก็เป็นของเหลวเท่านั้น ถ้าเป็นก๊าซก็ต้องเป็นก๊าซอย่างเดียว ต้องไม่มีการผสมกันของของเหลวกับก๊าซ หรือก๊าซผสมกับของเหลว ของไหล 2 สถานะ (2-Phase) คือของไหลที่มีทั้งของเหลวและก๊าซส่วนจะเป็นสัดส่วนเท่าใด สัดส่วนผสมกันคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาก็สุดแล้วแต่ ยังรวมไปถึงของไหลที่มีอนุภาคของแข็งแขวนลอย เช่น ในกรณีอนุภาคของแข็งไหลร่วมอยู่ในของเหลวเราเรียก “Slurries” ไปจนถึง 3 สถานะ (3-Phase) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันในระบบท่อซึ่งถูกออกแบบเพื่อใช้งานที่แตกต่างกันไปในแต่ละกระบวนการนั้นๆ แต่ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เราพิจารณาเฉพาะ**ของไหลสถานะเดียว (Single Phase)** เท่านั้น ดังนั้นการทำงานของวาล์วในภาพรวมในระบบหนึ่งหรือกระบวนการหนึ่งที่มีอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลานั้นจึงมีหน้าที่หลักๆ ได้แก่

ก. เพื่อการหยุดหรือเริ่มการไหลในระบบท่อ

ข. ควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหล (Throttling) ในระบบท่อ

ค. ควบคุมทิศทางการไหลในระบบท่อ

ง. ควบคุมความดันในระบบท่อสำหรับกระบวนการทำงานหนึ่งๆ

จ. ระบบความดันของระบบท่อเมื่อสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ อันนี้อาจกำกวมและทำให้นึกโยงไปถึง Safety Relief Valve

ด้วยการนำชิ้นส่วนที่เรียกว่า “ลิ้นวาล์ว” หรือ “**Flow Control Element**” ไปขวางทางช่องทางการไหล (Port) ภายในตัววาล์ว ด้วยเหตุนี้จากธรรมชาติการทำงานของลิ้นวาล์วจึงนำไปสู่การกำหนดชนิดของวาล์วและการควบคุมการทำงานนั้นเอง เช่นวาล์วชนิด Gate Valve, Glob Valve, Butterfly Valve, Ball Valve หรือ Check Valve เป็นต้น

นอกจากวาล์วต้องทำหน้าที่หลักๆ ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น วาล์วแต่ละชนิดยังต้องทำหน้าที่สำคัญอีก 2 อย่างคือ

ประการแรก ต้องไม่มีการรั่วไหลออกไปภายนอกตัววาล์ว เช่น รั่วไหลผ่านก้านวาล์วหรือรอยต่อชิ้นส่วนของตัววาล์ว เป็นต้น

ประการที่สอง ต้องไม่มีการรั่วไหลระหว่างภายในของตัววาล์วเองในขณะทำงาน เช่น เมื่อปิดวาล์วของไหลต้องไม่รั่วไหลผ่านลิ้นวาล์วที่มันทำหน้าที่สกัดกั้นการไหลผ่านของไหล เป็นต้น

มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดผลการทดสอบการรั่วของวาล์ว (Seat Leakage) มี 2 มาตรฐานที่นิยมอ้างอิงกันคือ ANSI/FCI 70-2 กับ MSS-SP-61 (ดูรูปที่ 2-1) ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ชั้น แต่ที่เราจะคุ้นเคยและใช้บ่อยดูเหมือนจะเป็นชั้น IV หรือเรียกกันง่ายๆอีกชื่อว่า Metal to Metal เนื่องจากเป็นอัตราการรั่ววาล์วจำพวกนี้นี้เป็นหน้าสัมผัสโลหะกับโลหะระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring และชั้น VI หรือเรียกกันง่ายๆอีกชื่อว่า Soft Seat เนื่องจากเป็นวัสดุหน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring หน้าสัมผัสใดหน้าสัมผัสหนึ่งหรือทั้ง 2 หน้าสัมผัสทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น Teflon เป็นต้น

จากหน้าที่ทั้ง 2 ประการดังกล่าวนี้เองนำไปสู่การออกแบบวาล์ว การเลือกใช้วัสดุสร้างวาล์ว และ ฯลฯ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้วาล์วมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่ก็มีชิ้นส่วนหลักๆบางส่วนที่คล้ายกันและมีพื้นฐานวัตถุประสงค์ในการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน ด้วยเช่นกัน (ดูรูปที่ 2-3) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องทำความเข้าใจในเบื้องต้นกันเสียก่อน ก่อนที่เราจะเข้าไปลงในรายละเอียดของวาล์วในแต่ละชนิด

TABLE 1		
Leakage Class	**Maximum Seat Leakage**	**Test Procedure**
Class I (See 4.2.1)	See Paragraph 4.2.1	None
Class II (See 4.2.2)	0.5% of rated valve capacity	Type A (See 5.1)
Class III (See 4.2.3)	0.1% of rated valve capacity	Type A (See 5.1)
Class IV (See 4.2.4)	0.01% of rated valve capacity	Type A (See 5.1)
Class V (See 4.2.5)	5×10^{-4} ml per minute of water per inch of seat diameter per psi differential	Type B (See 5.2)
	5×10^{-12} m^3 per second of water per mm of seat diameter per bar differential	Type B (See 5.2)
	4.7 standard ml per minute of air per inch of orifice diameter	Type B1 (See 5.3)
	11.1×10^{-6} standard m^3 per hour of air per mm of orifice diameter	Type B1 (See 5.3)
Class VI (See 4.2.6)	Leakage per Paragraph 5.4.4 as expressed in ml per minute versus seat diameter	Type C (See 5.4)

รูปที่ 2-1 การแบ่งชั้นการรั่วของวาล์ว (Seat Leakage) ตาม ANSI/FCI 70.2 ของวาล์ว

ALLOWABLE SEAT LEAKAGE CLASSES Table 5

Leakage Class	Maximum Seat Leakage	Test Fluid	Test Pressure	Relative Seat Tightness
Class II	0.5% of rated C_V	Water	45 to 60 PSI	1.0
Class III	0.1% of rated C_V	Water	45 to 60 PSI	5.0
Class IV	0.01% of rated C_V	Water	45 to 60 PSI	50
Class IV+	0.005 ml/min/inch of trim size / DP (PSI)	Water	Max Operating ΔP	30,000
Class V	0.0005 ml /min/inch of trim size/ ΔP(PSI)	Water	Max Operating ΔP	300,000
Class VI	about 0.9 ml/min * _	Air	50 PSI	600,000

* Leakage rate varies by valve size, Refer to the Standard ANSI/FCI 70.2.
Warren offers Class II, Class III, Class IV, Class IV+, & Class VI
The Relative Seat Tightness is at a 50 ΔP. For example, a Class IV leakage rate is 1/50 as much as Class II
Class IV+ is a proprietary designation of Warren Controls and is not an ANSI/FCI classification.
Class VI is for resilient seated valves; the other classes are for metallic seats.

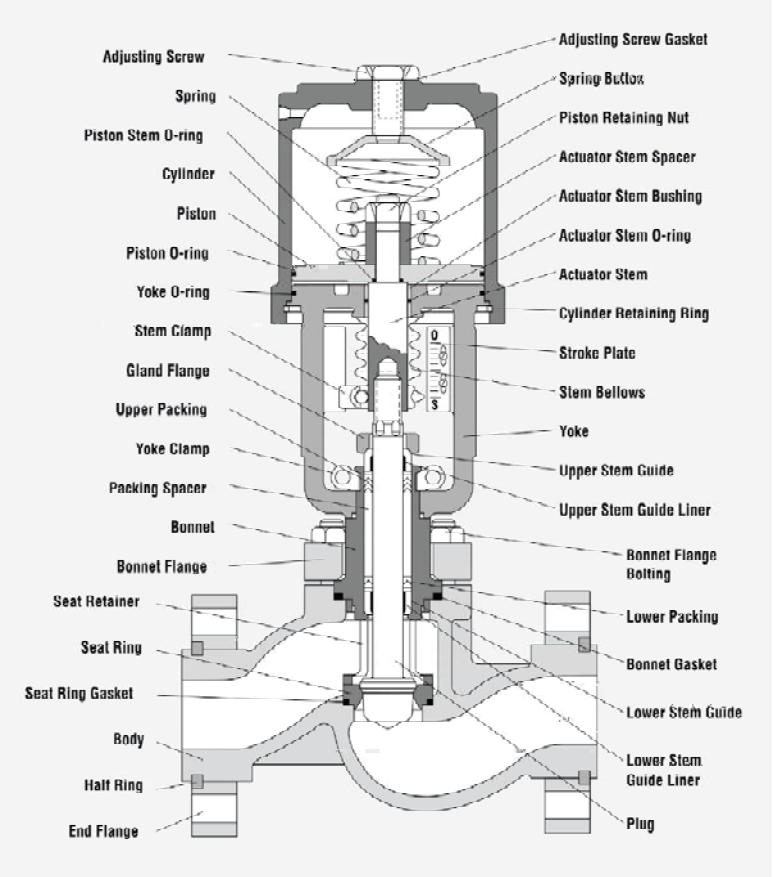
รูปที่ 2-2 สรุปประเด็นสำคัญๆ การแบ่งชั้นการรั่วของวาล์ว (Seat Leakage) ตาม ANSI/FCI 70.2 ของวาล์ว

1. ตัวเรือนวาล์ว (Valve Body) หรือในบางครั้งเรียกว่า “Shell” เป็นส่วนที่รองรับความดันจาก 2 แหล่งที่สำคัญ แหล่งแรกมาจากความดันของไหลภายในระบบท่อซึ่งวาล์วไปติดตั้งในระบบท่อนั้นๆ แหล่งที่ 2 คือความดันหรือ

ความดันเชิงกลที่มากดอัดบนตัวเรือนวาล์วเนื่องจากการเชื่อมต่อวาล์วเข้ากับระบบท่อบริเวณทางเข้าและทางออกปลายตัวเรือนวาล์วทั้ง 2 ข้างทั้งขึ้นอยู่กับชนิดของปลายตัวเรือนวาล์วว่าเป็นชนิดใด เช่น หน้าแปลน (Flange), เกลียว (Threaded), หรือหน้าแปลนแบบเชื่อมเข้ากับระบบท่อ (Welded Joint) รวมถึงช่องทางของไหล (Fluid Flow Passageway หรือ Port) ผ่านตัวเรือนวาล์ว และชุดขวางทางช่องทางของไหลซึ่งก็คือ ลิ้นวาล์ว กับ Seat Ring (ดูรูปที่ 2-3) หรืออาจพบว่าในบางครั้งเรียกรวมกันว่า “Trim”

นอกจากรองรับความดันแล้วตัวเรือนวาล์วยังมีหน้าที่สำคัญอีกหน้าที่หนึ่งก็คือเป็นตัวรองรับอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ รวมเข้าด้วยกันเพื่อทำหน้าที่ “วาล์ว” ด้วยเหตุนี้ตัวเรือนจึงมักจะมีรูปทรงที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ได้ครบกับความต้องการที่มากมายดังที่กล่าวมาและถือว่าตัวเรือนวาล์วมีความแข็งและต้านทานต่อการถูกทำให้ขยายตัว (Stiffness) สูงมากตามมา

2. Bonnet คำนี้ไม่ต้องแปล ใช้ภาษประกิตกันไปเลย (เพราะไม่มีปัญญาแปลและหากแปลเป็นไทยมากไปจะขาดมิติทางความหมายและทำให้ความหมายตกหล่นนอกจากนี้ถือว่าเป็นการฝึกภาษาอังกฤษไปในตัวเพราะเมื่อเราไปทำงานในสังคมมีความรู้จะได้เข้าใจและตามเค้าทันหรือถูกเค้าทิ้งพอเห็นฝุ่นร่ำไรน่ะ) Bonnet เป็นส่วนที่รองรับความดันของไหลรองลงมาจากตัวเรือนวาล์วซึ่ง Bonnet อาจถูกใช้เพื่อรองรับหรือประคองก้านวาล์ว (Stem) รวมไปถึงเป็นที่รองรับ Packing Box (ดูรูปที่ 2-4) และซีลก้านวาล์ว (Stem Seal) เพื่อป้องกันการรั่วของของไหลจากภายในตัวเรือนวาล์วผ่านก้านวาล์วเนื่องจากก้านวาล์วซึ่งต่อเชื่อมกับลิ้นวาล์วทะลุผ่าน Bonnet ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับลิ้นวาล์วขณะวาล์วทำงาน (ดูรูปที่ 2-3) นอกจากนี้ Bonnet อาจถูกออกแบบให้เป็นช่องทางหลักในการเข้าถึงภายในตัวเรือนวาล์วเพื่อใช้ในการประกอบและติดตั้งชิ้นส่วนกลไกต่างๆ ภายในตัวเรือนวาล์วรวมถึงชิ้นส่วนที่ควบประกอบเข้ากับตัวเรือนวาล์ว สำหรับในวาล์วควบคุม (Control Valve) การออกแบบ Bonnet อาจถูกออกแบบให้เป็นส่วนติดตั้ง Actuator เข้ากับตัวเรือนวาล์วได้เช่นกัน



รูปที่ 2-3 ชิ้นส่วนของวาล์วควบคุม

การยึด Bonnet เข้ากับตัวเรือนวาล์วก็มีวิธีการที่หลากหลาย เช่น เกลียวยึดด้วย Bolts & Nuts หรือแม้แต่เชื่อมติดกันอย่างถาวรก็ได้ และเมื่อทำการยึด Bonnet เข้ากับตัวเรือนวาล์วเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้ง Bonnet และตัวเรือนวาล์ว (Body) ทั้ง 2 ส่วนหลักนี้คือตัวที่รองรับและรักษาความดันของไหลที่กระทำภายในตัวเรือนวาล์วทั้งหมดนั้นเอง การรั่วไหลของไหลในตัวเรือนวาล์วโดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อนี้เอง ในขณะเดียวกันการประกอบตัวเข้าด้วยกันระหว่าง Bonnet กับตัวเรือนวาล์วยังเป็นปัจจัยสำคัญและมีผลต่อความยากง่ายในการผลิต

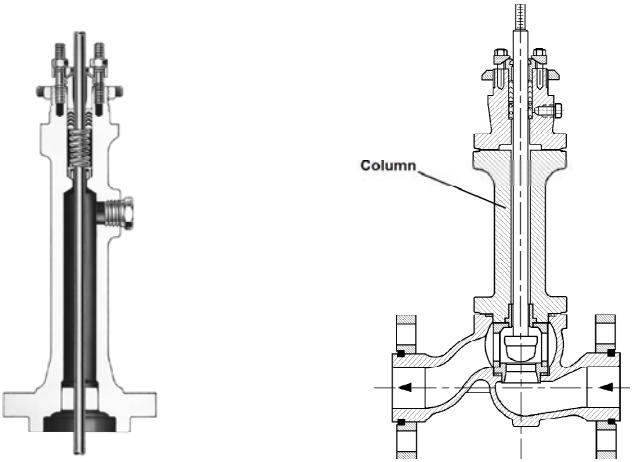
วาล์ว และ/หรือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตวาล์วอีกด้วย นอกจากนี้บ่อยครั้งที่หลายคนสับสนระหว่าง Bonnet กับ Yoke (ดูรูปที่ 2-3) ก็ให้นึกถึงกระเหรี่ยงคอยาวเพราะคอกับลำตัวยึดติดกันเป็นชิ้นเดียวกัน ส่วนที่เป็น “Yoke” ให้ถือว่าเป็นคอยาวๆ ส่วน Bonnet กับ Body ให้ถือว่าเป็นลำตัวก็แล้วกันจะได้ไม่สับสนกันกับคำว่า “Yoke” ในอนาคตนะ

การออกแบบ Bonnet ที่อาจเจอ เช่น Extension Bonnet (ดูรูปที่ 2-4) ในตัว Bonnet จะประกอบด้วย Packing Box ซึ่งต่อยื่นออกมาเหนือรอยต่อ Bonnet กับตัวเรือนวาล์ว เพื่อต้องการรักษาอุณหภูมิของ Packing Box สูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของไหลในตัววาล์วขณะทำงาน ทั้งนี้ความยาวของ Extension Bonnet จึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไหลกับอุณหภูมิออกแบบภายใน Packing Box ที่ใช้ป้องกันการรั่วไหลของไหลออกจากวาล์วนั้นเอง

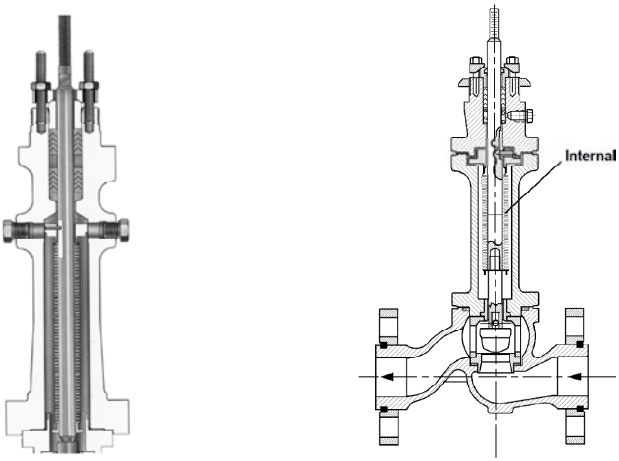
3. ลิ้นวาล์ว (Valve Closure Member) หรือบางทีเรียกว่า “Disk”, “Plug” หรือ “Flow Control Element” เป็นส่วนเคลื่อนที่ภายในตัวเรือนวาล์ว โดยอยู่ในตำแหน่งขวางทิศทางการไหลของไหลที่เข้ามาภายในตัวเรือนวาล์วเพื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลผ่านวาล์ว ลิ้นวาล์วเป็นส่วนที่รองรับความดันของไหลรองลงมาจากตัวเรือนวาล์วและ Bonnet (ถ้าวาล์วมีส่วนประกอบนี้) เนื่องจากเมื่อเราปิดวาล์วในขณะที่ความดันด้านทางออกลิ้นวาล์วต่ำกว่าความดันด้านทางเข้าลิ้นวาล์วเมื่อนั้นลิ้นวาล์วจะทำหน้าที่รองรับความดันเช่นเดียวกับตัวเรือนวาล์วและ Bonnet (ถ้ามี) การออกแบบลิ้นวาล์วเพื่อการใช้งานจึงแตกต่างกันออกไป ชนิดลิ้นวาล์วที่พบเห็นได้บ่อย คือ

3.1. **Ball** ลิ้นวาล์วชนิดนี้มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม โดยใช้ส่วนบริเวณผิวของทรงกลมภายนอกหรือส่วนผิวภายในลิ้นวาล์วเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลด้วยการหมุนตัวลิ้นวาล์ว (Rotary Motion)

3.2. **Disk** เป็นแผ่นวงกลมราบเรียบทั้ง 2 ด้าน โดยใช้ความเป็นแผ่นขอบทรงกลมเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลด้วยการหมุน (Rotary Motion) หรือเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นตรง (Linear Motion) บนตัวลิ้นวาล์ว



ก. Extension Bonnet



ข. Bellows Seal Bonnet

รูปที่ 2-4 ตัวอย่างการออกแบบ Bonnet

3.3. **Gate** ลิ้นวาล์วอาจเป็นแผ่นราบเรียบทรงกลมหรือเป็นทรงลิ่มผิวราบเรียบ การทำให้ลิ้นวาล์วชนิดนี้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตัดเส้นทางการไหลของไหลผ่านวาล์วเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหล

3.4. **Plug** ลิ้นวาล์วมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกและเผชิญหน้ากับทิศทางการไหลของไหลในแนวเดียวกัน โดยลิ้นวาล์วชนิดนี้จะเคลื่อนที่ในลักษณะทิศทางเดียวกับทิศทางการไหลของไหลในแนวเส้นตรงเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลซึ่งอาจใช้หรือไม่ใช้ผิวรูปลักษณ์ภายนอกรูปทรงกระบอกเพื่อใช้ในการกำหนดลักษณะรูปแบบการไหล นอกจากนี้อาจมีการออกแบบรูปแบบอื่นๆที่ไม่เพียงแต่เป็นรูปทรงกระบอกเท่านั้นอาจเป็นกรวยตัด (Tapper) พร้อมปรับช่องทางการไหลผ่านลิ้นวาล์วดังกล่าว ส่วนการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของไหลผ่านวาล์วทำด้วยการหมุนลิ้นวาล์วชนิดนี้

4. ช่องทางการไหล (Flow Control Orifice หรือ Port) เป็นช่องทางช่องหนึ่งภายในตัวเรือนวาล์วที่ยอมให้ของไหลไหลผ่าน และเป็นช่องเปิดที่ถูกออกแบบให้ลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ในช่องนี้เพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลผ่านวาล์ว ดังนั้นเพื่อให้วาล์วทำหน้าที่ครบสมบูรณ์สำหรับการหยุดหรือเริ่มการไหล, เปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลด้วยการหรี่วาล์ว (Throttling), ควบคุมทิศทางการไหลในระบบท่อ หรือควบคุมความดันในระบบท่อ การแนบสนิทระหว่างช่องทางการไหล (Port) กับลิ้นวาล์วเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นที่สุด ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบอาจต้องติดตั้ง Seat Valve หรือ Seat Ring และ Seat Gasket ให้บดอัดกับลิ้นวาล์ว หรืออาจใช้วิธีการกลึง Port ให้เรียบสนิทกับลิ้นวาล์วไปเลยโดยไม่ต้องติดตั้ง Seat Ring ก็ได้แต่ยังคงใส่ใจในเรื่องการบดอัดระหว่างลิ้นวาล์วกับ Port ด้วยเช่นกัน

นอกจากวิธีการติดตั้งเข้ากับตัวเรือนวาล์ว การบดอัดระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring แล้ว ยังต้องพิจารณาถึงประเด็นอื่นเพิ่มเติมในกรณีที่เลือกติดตั้ง Seat Ring เช่น Seat Ring ต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนไม่ทำปฏิกิริยากับของไหลใช้งาน เป็นต้น

5. Stem (ก้านวาล์ว) มีด้วยกันหลายรูปแบบแต่หน้าที่หลักคือเป็นแกนแท่งซึ่งถูกออกแบบให้เชื่อมติดกับลิ้นวาล์วและเชื่อมต่อกับ Actuator หรือมือหมุนวาล์ว ด้วยเหตุนี้ก้านวาล์วจึงเป็นส่วนที่อยู่ภายใต้สภาวะเช่นเดียวกับของไหล

ภายในตัวเรือนวาล์ว อีกทั้งมีส่วนที่เชื่อมต่อออกมาภายนอกตัวเรือนวาล์วซึ่งอาจสัมผัสหรือไม่สัมผัสกับบรรยากาศภายนอกในสถานที่ติดตั้งวาลว์ ส่งผลให้การออกแบบเพื่อป้องกันหรือแบ่งเขตแดนความแตกต่างของความดันและอุณหภูมิดังกล่าวรอบก้านวาล์วรวมทั้งขณะซีลป้องการรั่วไหลของไหลผ่านก้านวาล์วขณะก้านวาล์วเคลื่อนที่และหยุดนิ่งจึงเป็นเรื่องวิกฤตมากทีเดียว เราจึงต้องพิจารณาในเรื่องการซีลของไหลรอบก้านวาล์วดังกล่าวที่เรียกว่า Stem Seal พอแบ่งวิธีการซีลได้ 3 หลักการใหญ่ๆ คือ

5.1. **Packing** เป็นระบบซีลที่ใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นให้ตัวจำพวกไฟเบอร์หรือพวก Teflon 1 ชั้นหรือหลายชั้นอัดรอบก้านวาล์วให้อยู่ภายใน Packing Box (ช่องโพรงที่เจาะภายใน Bonnet ที่ก้านวาล์วทะลุผ่านไป) พร้อมจัดให้มีวิธีการเพิ่มแรงกดอัดเข้ากับซีลดังกล่าวจนกว่าจะสามารถซีลรอบก้านวาล์วได้สมบูรณ์ไม่มีการรั่วไหลของไหลออกมาจากตัวเรือนวาล์วผ่านก้านวาล์ว แต่อย่างไรก็ตามต้องพึงระวังไม่ทำการอัดซีลแน่นมากจนเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับก้านวาล์วหรือจนหมุนก้านวาล์วต้องใช้แรงมากเกินกว่ากำหนด ทั้งนี้ต้องมีการเตรียมผิวที่ราบเรียบของก้านวาล์วบริเวณติดตั้งซีลรอบก้านวาล์วด้วยเพื่อป้องกันการรั่วและการแนบสนิทระหว่างซีลรอบก้านวาล์ว

5.2. **Pressure Energized Stem Seal** เป็นระบบซีลที่ใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นให้ตัวเช่นเดียวกับในข้อ 5.1 แต่ใช้ความดันของไหลจากในระบบท่อหรือนอกระบบท่ออัดซีลแทนเพื่อให้ซีลแนบสนิทรอบก้านวาล์ว

5.3. **Back Seat** หน้าผิวสัมผัสของซีลใน Bonnet ซึ่งขบอัดกับลิ้นวาล์วหรือแกนวาล์วในตำแหน่งที่เปิดสุดเพื่อใช้ความดันอัดในการซีล

6. Actuator ในตลาดขายสินค้าบ้านเราดูเหมือนจะเรียก Actuator ว่า “หัวขับวาล์ว” โดยต่อเชื่อมตัว Actuator กับก้านวาล์วเพื่อทำหน้าที่ขับเคลื่อนลิ้นวาล์ว สำหรับตัว Actuator อาจมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น Motor Operator, Solenoid Operator, Pneumatic Operator หรือ Hydraulic Ram เป็นต้น

ก่อนที่เราจะกล่าวในเนื้อหาต่อไปจำเป็นต้องปูพื้นฐานความเข้าใจเบื้องต้นว่าการออกแบบระบบท่อในภาคอุตสาหกรรมนั้นจะยึดเอาอุณหภูมิและความดันของไหลในระบบท่อเป็นเกณฑ์ ผลที่ตามมาก็คือวัสดุอุปกรณ์ที่ประกอบอยู่ในระบบท่อที่ออกแบบไว้จึงต้องสามารถทำงานได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกันกับระบบท่อที่ออกแบบ จากนั้นก็เป็นการเลือกวัสดุที่ไม่ทำปฏิกริยากับของไหลและ ฯลฯ ดังนั้นเมื่อพูดถึงวาล์วเราจะพูดคุยเพื่อความเข้าใจตรงกันทุกฝ่ายโดยใช้คำว่า “Nominal Pipe Size (NPS)” สำหรับการอ้างถึงขนาดวาล์วและขนาดของท่อมีหน่วยเป็น “นิ้ว” (ดูรูปที่ 2-5) ส่วนการทนต่อความดันที่กระทำต่อวาล์วให้มีหน่วยเป็น “psi” (ดูรูปที่ 2-6) ล้วนเป็นหน่วยระบบอังกฤษ เหตุที่ไม่ได้เป็นหน่วยระบบเมตริกเพราะเราตามหลังประเทศที่พัฒนาซึ่งประเทศของเค้าใช้หน่วยระบบอังกฤษเป็นเวลานานจนกลายเป็นมาตรฐานโดยมีหน่วยงาน American National Standards Institute (ANSI) เค้าออกเป็นมาตรฐานรองรับ แต่ในขณะเดียวกันในฝั่งของ International Standards Organization (ISO) ก็กำหนดขนาดวาล์วและขนาดของท่อมีหน่วยเป็น “Nominal Diameter (DN)” ขึ้นมา ส่วนการทนความดันที่กระทำต่อวาล์ว (Pressure Ratings) ได้กำหนดเป็น “Nominal Pressure (PN)” เมื่อเราต้องอยู่ท่ามกลางหน่วย 2 ระบบเราจึงจำเป็นต้องทำความรู้จักและปรับตัวกันไปแต่ดูเหมือนประเทศส่วนใหญ่จะคุ้นเคยหน่วยระบบอังกฤษมากกว่า

ลักษณะการติดตั้งวาล์วกับระบบท่อ (Body End Connections)

การออกแบบวิธีการเชื่อมต่อวาล์วเข้ากับระบบท่อมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีซึ่งนอกจากพิจารณาในปัจจัยด้านอุณหภูมิ, ความดันและอัตราการไหลของไหลภายในระบบท่อแล้วยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ พร้อมกันไปด้วย เช่น คุณสมบัติทางเคมีในด้านการกัดกร่อน เป็นต้น แต่ที่สำคัญต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้สอดรับกับการเชื่อมต่อระบบท่อด้วย สำหรับ**การออกแบบในอุดมคติแล้วรูปแบบการเชื่อมต่อและชนิดวัสดุของทั้งวาล์วและระบบท่อที่เชื่อมต่อนั้นต้องเป็นชนิดเดียวกัน** แต่ในความเป็นจริงมักเป็นอีกเรื่องหนึ่ง

Nominal Pipe Size (NPS) *(inches)*	Nominal Diameter (DN) *(millimeters)*
0.25	6
0.5	15
0.75	20
1.0	25
1.25	32
1.5	40
2.0	50
2.5	65
3.0	80
4.0	100
6.0	150
8.0	200
10.0	250
12.0	300
14.0	350
16.0	400
18.0	450
20.0	500
24.0	600
36.0	900
42.0	1000
48.0	1200

รูปที่ 2-5 ขนาดวาล์วและขนาดของท่อ หน่วยตาม ANSI เทียบกับ ISO

กฎทั่วไปในการออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อปลายตัวเรือนวาล์วที่มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว สามารถใช้ข้อต่อชนิดเกลียว (Threaded Connection) ได้ แต่สำหรับวาล์วที่มีขนาดตั้งแต่ 2 นิ้วขึ้นไปนั้นควรใช้เป็นข้อต่อหน้าแปลน (Flanged Connection) ซึ่งกฎเกณฑ์ดังกล่าวนี้เป็นที่ยอมรับในทางปฏิบัติในภาคอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเนื่องจากต้องคำนึงถึงการฟุ้งกระจายและอันตรายจาก

การรั่วไหลของไหลในระบบท่อแต่ในขณะเดียวกันหากของไหลดังกล่าวเป็นน้ำ เราสามารถใช้ระบบข้อต่อแบบเกลียวได้กับท่อขนาดถึง 4 นิ้วเนื่องจากถึงแม้เกิดการรั่วไหลของน้ำเกิดขึ้นโดยปกติจะไม่เป็นอันตรายเหมือนเช่นของไหลปิโตรเลียม ดังนั้นวิธีการเชื่อมต่อปลายตัวเรือนวาล์วเข้าระบบท่อที่เรามักพบเจอ พอแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

ANSI Pressure Class *pounds of force per square inch of surface area*	Nominal Pressure (PN) *allowable pressure in bar*
150	16
300	40
600	100
900	160
1500	250
2500	400
4500	700

Note: PN is an approximation to the corresponding ANSI pressure class, and should not be used as an exact correlation between the two standards. PN correlates to DIN (Deutsche Industrie Norme) pressure–temperature rating standards, which may vary significantly from ANSI pressure–temperature ratings.

รูปที่ 2-6 ชั้นทนความดันใช้งานของวาล์ว เปรียบเทียบหน่วยระบบอังกฤษใน ANSI เทียบกับหน่วยระบบเมตริกใน ISO (โดยประมาณ)

National Pipe Thread Standards

NATIONAL PIPE THREAD STANDARDS

Nominal Pipe Size	Outside Diameter of pipe	Threads per Inch	Pitch of Thread	Pitch Diameter at Beginning of External Threads	Handtight Engagement		Effective Thread External		Wrench Make-up Length for Internal Thread		Overall Length External Thread
					Length	Pitch Diameter	Length	Pitch Diameter	Length	Pitch Diameter	
	D	N	P	E_0	L_1 [ff]	E_1	L_2 [f]	E_2	L_3	E_3	L_4
1/8	.405	27	.0370	.3635	.160**	.3748**	.2639	.3800	.1111	.3566	.3924
1/4	.540	18	.0556	.4774	.200**	.4899**	.4018	.5025	.1667	.4670	.5946
3/8	.675	18	.0556	.6120	.240	.6270	.4078	.6375	.1667	.6016	.6006
1/2	.840	14	.0714	.7584	.320	.7784	.5337	.07918	.2143	.7450	.7815
3/4	1.050	14	.0714	.9677	.339	.9889	.5457	1.0018	.2143	.9543	.7935
1	1.315	11 1/2	.0870	1.2135	.400	1.2386	.6828	1.2563	.2609	1.1973	.9845
1 1/4	1.660	11 1/2	.0870	1.5571	.420	1.5834	.7068	1.6013	.2609	1.5408	1.0085
1 1/2	1.900	11 1/2	.0870	1.7961	.420	1.8223	.7235	1.8413	.2609	1.7798	1.0252
2	2.375	11 1/2	.0870	2.2690	.436	2.2963	.7565	2.3163	.2609	2.2527	1.0582

รูปที่ 2-7 ข้อต่อชนิดเกลียวตามมาตรฐาน National Pipe Thread (NPT)

2½	2.875	8	.1250	2.7195	.682	2.7622	1.1375	2.7906	.2500	2.7039	1.5712
3	3.500	8	.1250	3.3406	.766	3.3885	1.2000	3.4156	.2500	3.3250	1.6337
3½	4.000	8	.1250	3.8375	.821	3.8888	1.2500	3.9156	.2500	3.8219	1.6837
4	4.500	8	.1250	4.3344	.844	4.3871	1.3000	4.4156	.2500	4.3188	1.7337
*4½	5.000	8	.1250	4.8313	.875	4.8859	1.3500	4.8418	—	—	—
5	5.563	8	.1250	5.3907	.937	5.4493	1.4063	5.4786	.2500	5.3751	1.8400
6	6.625	8	.1250	6.4461	.958	6.5060	1.5125	6.5406	.2500	6.4305	1.9462
*7	7.625	8	.1250	7.4398	1.000	7.5023	1.6125	7.4524	—	—	—
8	8.625	8	.1250	8.4336	1.063	8.5000	1.7125	8.5406	.2500	8.4180	2.1462
*9	9.625	8	.1250	9.4273	1.130	9.4980	1.8125	9.4415	—	—	—
10	10.750	8	.1250	10.5453	1.210	10.6209	1.9250	10.6656	.2500	10.5297	2.3587
*11	11.750	8	.1250	11.5391	1.285	11.6194	2.0250	11.5549	—	—	—
12	12.750	8	.1250	12.5328	1.360	12.6178	2.1250	12.6656	.2500	12.5172	2.5587
14	14.000	8	.1250	13.7750	1.562	13.8726	2.2500	13.9156	.2500	13.7594	2.6637
*15	15.000	8	.1250	14.7688	1.687	14.8742	2.3500	14.7872	—	—	—
16	16.000	8	.1250	15.7625	1.812	15.8758	2.4500	15.9156	.2500	15.7499	2.8637
*17	17.000	8	.1250	16.7563	1.900	16.8750	2.5500	16.7762	—	—	—
18	18.000	8	.1250	17.7500	2.000	17.8750	2.6500	17.9156	.2500	17.7344	3.0637
20	20.000	8	.1250	19.7375	2.125	19.8703	2.8500	19.9156	.2500	19.7219	3.2637
*22	22.000	8	.1250	21.7250	2.250	21.8656	3.0500	21.7488	—	—	—
24	24.000	8	.1250	23.7125	2.375	23.8609	3.2500	23.9156	.2500	23.6969	3.6637

Data per ANSI B1.20.1 - 1983 (R2006) (for Taper Pipe Thread) and API Standard 5-B (for Line Pipe Threads).

*Sizes discontinued in ANSI B1.20.1, listed for reference only.

**Not according to ANSI B1.20.1 - 1983 (R2006).

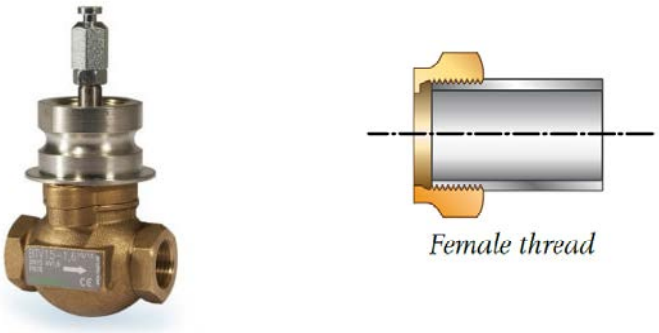
†Also length of plug gage.

††Also length of ring gage and length from gaging notch to small end of plug gage.

The ANSI B1.20.1 National Pipe Thread Taper and the API Standard Line Pipe Thread are interchangeable. Reprinted by permission from Catalog No. 55, Ladish Co.

รูปที่ 2-7 (ต่อ) ข้อต่อชนิดเกลียวตามมาตรฐาน National Pipe Thread (NPT)

1. ข้อต่อเกลียว (Threaded End Connections) มักจะพบข้อต่อเกลียวบนปลายทั้ง 2 ด้านของวาล์วที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ 1.5 นิ้ว (DN 40) ลงมา (ดูรูปที่ 2-8) โดยการขึ้นเกลียวส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐาน National Pipe Thread (NPT) ดังในรูปที่ 2-7 และใช้มาตรฐาน National Hose Thread (NHT) สำหรับงานดับเพลิงหรือใช้มาตรฐาน Garden Hose Thread (GHT) สำหรับงานสวนซึ่งคงไม่เกี่ยวกับเรางานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย แต่ด้วยข้อจำกัดในการรองรับความดันด้วยระบบเกลียวทำให้ข้อต่อประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วจะทนความดันสูงไม่เกินชั้นทนแรง ANSI Class 600 อีกทั้งไม่เหมาะสมกับของไหลในกระบวนการที่มีความกัดกร่อนสูง วาล์วข้อต่อแบบเกลียวปกติแล้วจะมีขนาดเล็กและเบาสะดวกต่อการติดตั้งเพราะเราต้องหมุนทั้งท่อและวาล์ว สุดท้ายมีราคาถูก



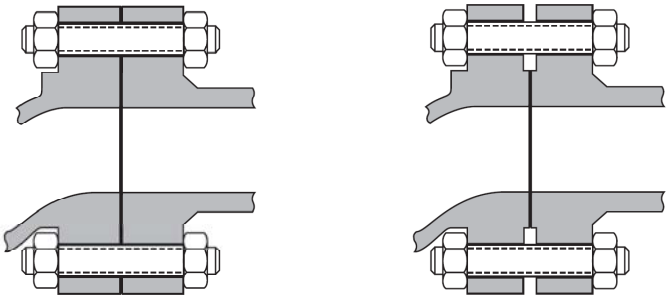
รูปที่ 2-8 ข้อต่อปลายตัวเรือนวาล์วเป็นข้อต่อเกลียว (Threaded Connection)

2. ข้อต่อหน้าแปลน (Flanged End Connections) ถูกใช้กับวาล์วที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 2 นิ้วขึ้นไป (DN 50) เพราะสะดวกในการติดตั้งโดยไม่ต้องหมุนทั้งวาล์วและท่อในการประกอบเข้าด้วยกัน ข้อต่อหน้าแปลนโดยทั่วไปสามารถรองรับอุณหภูมิและความดันภายในระบบท่อสูงจนถึง 815 °C (1500 °F) โดยอาศัยแรงยึดด้วย Blots & Nuts กดอัดหน้าแปลนของวาล์วและหน้าแปลนของระบบท่อที่ราบเรียบ (Flat Face) เข้าด้วยกันโดยมีปะเก็นคั่นกลางเพื่อซีลหน้าสัมผัสโลหะทั้ง 2 (ดูรูปที่ 2-9 ก.) มาตรฐานของหน้าแปลนประจำวาล์วชนิดนี้จะ

ถูกผลิตตามมาตรฐาน ANSI B16.5 หรือ API 6A การเลือกใช้หน้าแปลนจึงต้องพิจารณาถึงชนิดและลักษณะการใช้งาน วัสดุที่เลือกใช้ทำหน้าแปลน อุณหภูมิและความดันสูงสุดที่ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ข้อต่อหน้าแปลนจะมีข้อดีสำหรับการติดตั้งหรือถอดวาล์วออกจากระบบท่อแต่หน้าแปลนเองก็ไม่เหมาะและไม่สามารถรองรับภาระแรงที่กระทำเป็นวงรอบ (มีจังหวะแรงกระทำและจังหวะหยุดกระทำสลับกัน; cyclic load) หรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นวงรอบขึ้นๆลงๆ หากต้องใช้งานในลักษณะดังกล่าวให้ไปพิจารณาเลือกใช้ข้อต่อวาล์วแบบเชื่อมโลหะ (Weld End Connection)

ข้อต่อหน้าแปลนของวาล์วชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

- แบบ “Integral Flange” คือเป็นข้อต่อหน้าแปลนที่ถูกหล่อเป็นชิ้นงานเนื้อเดียวกับตัวเรือนวาล์ว (Body) ดูรูปที่ 2-9



ก. หน้าแปลนชนิดหน้าเรียบ (Flat-Face Flanged Connection)

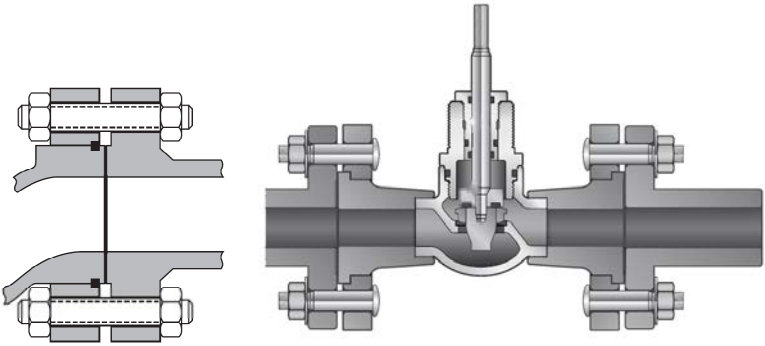
ข. หน้าแปลนชนิดหน้ายก (Raised-Face Flanged Connection)

รูปที่ 2-9 ข้อต่อหน้าแปลนปลายตัวเรือนวาล์ว (Integral Flange Connection)

- แบบ “Separable Flange” จะเป็นหน้าแปลนแยกต่อกันเคลื่อนไปมาบนกระดุม (Hub) ของตัวเรือนวาล์ว ดูรูปที่ 2-10 หน้าแปลนของตัวเรือนวาล์วจึงไม่สัมผัสของไหลโดยตรง หน้าแปลนชนิดนี้สามารถถูกใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการติดตั้งวาล์วเข้าไปในระบบท่อที่เดินท่อไม่ได้แนวตรง (Alignment) ด้วย

การยอมให้ตัวได้ของหน้าแปลนได้ระดับหนึ่งประกอบกับหน้าแปลนชนิดนี้ทนความดันไม่สูงมากนัก เช่น วาล์วขนาด 4 นิ้วลงมา ทนความดันชั้น ANSI Class 150-600 (PN 16- PN 100), วาล์วขนาด 6-8 นิ้ว ทนความดันชั้น ANSI Class 150-300 (PN 16- PN 40) เป็นต้น ข้อควรระวังหากเราต้องใช้หน้าแปลนแบบนี้ก็คือการคลายตัวได้ง่ายหากขันน๊อตหน้าแปลนไม่แน่นเพียงพอ

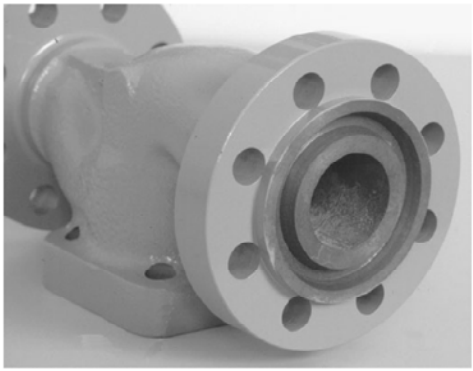
สำหรับข้อต่อหน้าแปลนเองก็แบ่งรูปแบบของผิวสัมผัสหน้าแปลนออกเป็น “หน้าเรียบ (Flat Face; FF)” (ดูรูปที่ 2-9 ก.) ใช้กับงานที่ทนความดันภายในระบบท่อต่ำ โดยทั่วไปจะทำด้วยวัสดุทองเหลืองในระบบท่อน้ำและทำด้วยวัสดุเหล็กหล่อ ส่วนหน้าแปลนอีกแบบที่เรียกว่า “หน้ายก (Raised Face; RF)” (ดูรูปที่ 2-9 ข.) หน้าแปลนชนิดนี้จะถูกทำให้ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสจริงๆยกสูงขึ้นจากหน้าแปลนเล็กน้อยโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงในหน้ายกเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อและมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหน้ายกมีขนาดเล็กกว่ารูร้อย Bolts & Nuts ซึ่งมาตรฐาน ANSI กำหนดให้ความสูงของหน้ายกสูงจากหน้าแปลน 1.5 มม. สำหรับในกรณีที่ชั้นทนความดันต่ำกว่า ANSI Class 600 (PN 100) และให้ความสูงของหน้ายกสูงจากหน้าแปลน 6.0 มม. ในกรณีที่ชั้นทนความดันสูงว่า ANSI Class 600 (PN 100)



รูปที่ 2-10 ข้อต่อหน้าแปลนแบบ “Separable Flange”

การออกแบบหน้าแปลนให้มีหน้ายกเพื่อแก้ไขปัญหาที่ว่า หากหน้าแปลนแบบหน้าเรียบทั้ง 2 บังเอิญเกิดมีหน้าสัมผัสบิดตัวจนประกบกันไม่สนิททำให้แรงกดอัดบริเวณหน้าสัมผัสกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทำให้ของไหลรั่วผ่านบริเวณที่ซึ่งมีแรงกดอัดน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นเมื่อออกแบบหน้าแปลนให้มีหน้ายกปัญหาดังกล่าวก็ถูกกำจัดไปเพราะสามารถสร้างแรงกดอัดหน้าแปลนได้เพิ่มขึ้นและแรงกดอัดกระจายตัวได้สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งหน้าสัมผัสของหน้าแปลนชนิดหน้ายก ข้อต่อหน้าแปลนวาล์วชนิดนี้จึงสามารถทนอุณหภูมิและความดันในระบบท่อได้ถึงประมาณ 6,000 psi (400 bar) ทีเดียว และเป็นที่นิยมในการใช้งานกับระบบท่อขนส่งของเหลวปิโตรเลียมน้ำมันสำเร็จรูป

ยังมีหน้าแปลนอีกแบบที่เรียกว่า “Ring-Type Joint (RTJ)” (ดูรูปที่ 2-11) เป็นการออกแบบปรับปรุงจากหน้าแปลนชนิดหน้ายก (Raised Face) ด้วยการเซาะร่องบริเวณส่วนที่เป็นหน้ายกบางส่วนเพื่อใส่ปะเก็นเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสของปะเก็น หน้าแปลนชนิดนี้จึงสามารถทนความดันได้สูงถึง 15,000 psi (1,000 bar) แต่อาจไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้มากเช่นเดียวกับความดัน



รูปที่ 2-11 ข้อต่อหน้าแปลนหน้าสัมผัสชนิด Ring-type Joint (RTJ)

3. ข้อต่อเชื่อม (Weld End Connection) เมื่อไหร่ที่นึกถึงหรือต้องการป้องกันการรั่วซึม 100% เต็มในระบบท่อจะด้วยเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อม,

ด้านความปลอดภัย เป็นต้น ขอให้นึกถึงข้อต่อแบบเชื่อมเนื่องจากเป็นข้อต่อวาล์วที่ออกแบบให้เชื่อมโลหะตัวเรือนวาล์วเข้ากับระบบท่อ หรือในกรณีระบบที่มีความดันสูงๆ ตั้งแต่ ANSI Class 900 (PN 160) ขึ้นไป โดยเฉพาะของไหลในระบบท่อที่อุณหภูมิยิ่งสูงด้วยแล้วข้อต่อเชื่อมของวาล์วแทบเป็นตัวเลือกเดียวก็ว่าได้ ดังนั้นเราจะเห็นวาล์วที่มีข้อต่อเชื่อมประเภทนี้ในโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนซึ่งมีระบบท่อไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันที่สูงมากระดับ Super Heat (สถานะไอล้วนๆ) สิ่งที่สำคัญมากที่สุดของวาล์วที่มีข้อต่อเชื่อมนี้ก็คือการเลือกวัสดุข้อต่อ (ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นส่วนเดียวกับตัวเรือนวาล์ว) ให้เป็นวัสดุเช่นเดียวกับวัสดุท่อที่ติดตั้งวาล์วหรือหากไม่สามารถเลือกได้ก็ต้องใช้เป็นวัสดุชนิดต่างกันแต่ต้องสามารถทำการเชื่อมโลหะเข้าด้วยกันได้อันนี้ต้องใช้นักโลหะวิทยาหรือดูมาตรฐานอ้างอิงเราพอจะแบ่งข้อต่อเชื่อมตายตัวออกเป็น

- Socketweld End Connection เหมาะกับระบบท่อขนส่งของไหลที่มีอุณหภูมิและความดันสูงและมีขนาดตั้งแต่ 2 นิ้วลงมาซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI B16.11 ลักษณะการเชื่อมต่อทำโดยสอดท่อเข้าไปในช่อง (Socket) ซึ่งทำไว้บนหน้าแปลนวาล์วแต่ต้องไม่ยันให้สุดต้องปล่อยให้มีช่องว่างเล็กน้อยเพื่อการให้ตัวเนื่องจากโลหะขยายตัวขณะทำการเชื่อมโลหะ จากนั้นทำการเชื่อมโลหะข้อต่อวาล์วเข้ากับท่อตลอดแนววงรอบที่ท่อสอดเข้ามาได้เพียงแนวเชื่อมโลหะแนวเดียว (แต่แนวเชื่อมจะมีกี่ชั้นขึ้นกับการออกแบบ) ผลที่ได้คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อกับทางเข้าวาล์วจะเสมอเรียบเท่ากันดังรูปที่ 2-14

- Buttweld Connection เหมาะกับระบบท่อขนส่งของไหลที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเช่นกันแต่มีขนาดตั้งแต่ 3 นิ้วขึ้นไป โดยมีขนาดใหญ่ขึ้นมาหน่อย เป็นการเชื่อมแบบต่อชนกันระหว่างปลายด้านทางออกของวาล์วกับปลายท่อที่มาเชื่อมเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2-15 โดยอาจเจียรหน้าสัมผัสให้เป็นร่องบากลงจะเป็นรูป V-shaped, J–bevel หรือ U-bevel เพื่อรองรับแนวเชื่อมโลหะตามแต่การออกแบบแนวเชื่อมโลหะว่าให้รองรับความดันเท่าใด

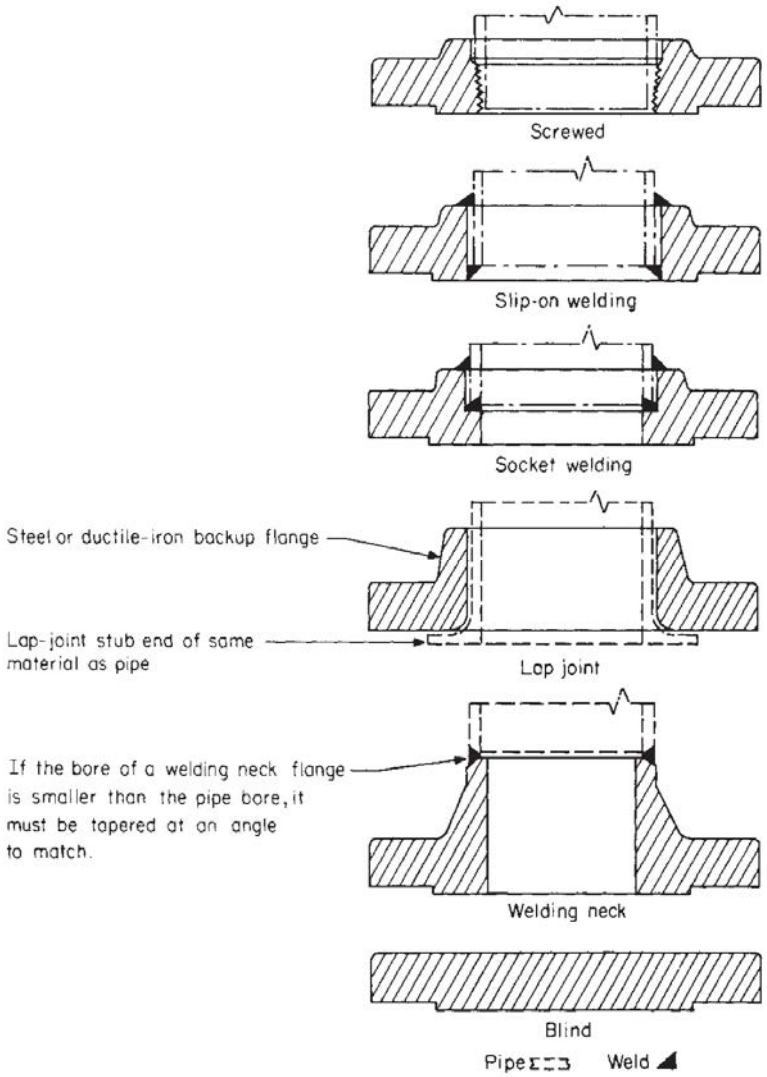
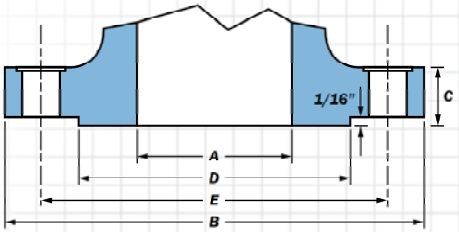


FIG. 10-133 Types of carbon and alloy steel flanges.

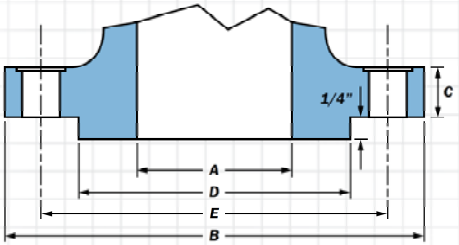
รูปที่ 2-12 หน้าแปลนท่อโลหะและโลหะอัลลอยด์แบบต่างๆ ที่รองรับการติดตั้งวาล์ว

Flange Dimensions - ASME B16.5

Class 150 & 300



Class 600 thru 2500



Standards: *NPS 24 and smaller in all classes conform to ASME B16.5. NPS 30 and larger conform to ASME B16.47 (Series A).*

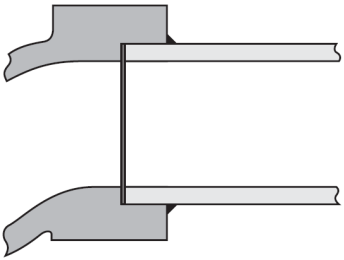
Facing: *End flanges are regularly furnished with a raised face having a serrated finish per MSS SP-6. The thickness of the flange dimension (C) includes the raised face for Class 150 and 300. For Class 600 thru 2500, the flange dimension (C) does not include the 1/4" raised face.*

Bolt Holes: *Bolt holes are 1/8" larger than the bolt diameter. Bolt holes are drilled to straddle the center line.*

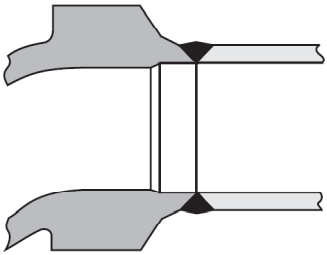
Flange Dimensions in Inches

Class	Size	A	B	C	D	E	Stud Bolts No.	Stud Bolts Dia.	Hole Dia.
150	2	2.00	6.00	0.75	3.62	4.75	4	0.63	0.75
	2.5	2.50	7.00	0.88	4.12	5.50	4	0.63	0.75
	3	3.00	7.50	0.94	5.00	6.00	4	0.63	0.75
	4	4.00	9.00	0.94	6.19	7.50	8	0.63	0.75
	5	5.00	10.00	0.94	7.31	8.50	8	0.75	0.88
	6	6.00	11.00	1.00	8.50	9.50	8	0.75	0.88
	8	8.00	13.50	1.12	10.62	11.75	8	0.75	0.88
	10	10.00	16.00	1.19	12.75	14.25	12	0.88	1.00
	12	12.00	19.00	1.25	15.00	17.00	12	0.88	1.00
	14	13.25	21.00	1.38	16.25	18.75	12	1.00	1.13
	16	15.25	23.50	1.44	18.50	21.25	16	1.00	1.13
	18	17.25	25.00	1.56	21.00	22.75	16	1.125	1.25
	20	19.25	27.50	1.69	23.00	25.00	20	1.125	1.25
	24	23.25	32.00	1.88	27.25	29.50	20	1.25	1.38
	30	29.25	38.75	2.94	33.75	36.00	28	1.25	1.38
	36	35.06	46.00	3.56	40.25	42.75	32	1.50	1.63
	42	40.87	53.00	3.81	47.00	49.50	36	1.50	1.63
	48	46.00	59.50	4.25	53.50	56.00	44	1.50	1.63

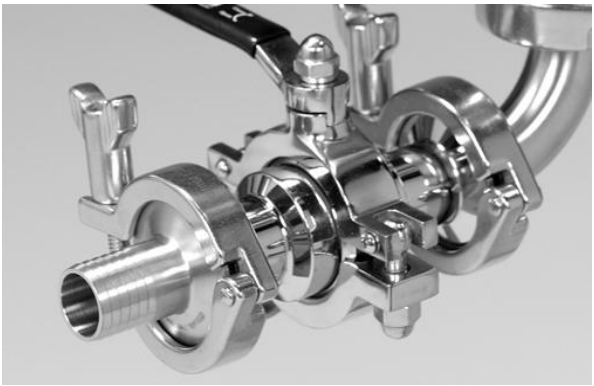
รูปที่ 2-13 ตัวอย่างขนาดหน้าแปลนของท่อโลหะและโลหะอัลลอยด์ที่รองรับการติดตั้งวาล์วตาม ASME B16.5, Class 150



รูปที่ 2-14 ข้อต่อเชื่อมวาล์วแบบ Socketweld End Connection



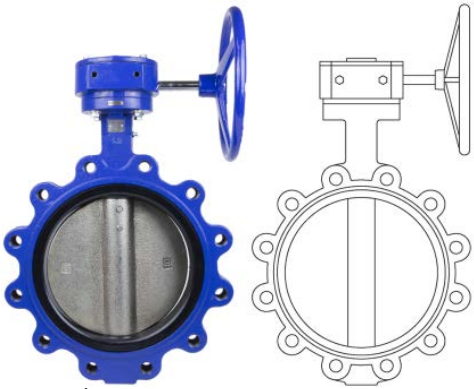
รูปที่ 2-15 ข้อต่อเชื่อมวาล์วแบบ Buttweld Connection



รูปที่ 2-16 ข้อต่อวาล์วแบบ Tri-Clamp Sanitary

4. ข้อต่อชนิดอื่นๆ (Other End Connection**)** สำหรับข้อต่ออื่นๆ ที่มีอยู่มากมาย เช่น Union End Connection ใช้เชื่อมต่อวาล์วพลาสติก หรืออาจ

เป็น Clamp Coupling ที่สอดรัดกับร่องที่มีขนาดและร่องลึกเข้ากับ Clamp ได้ ซึ่งข้อต่อชนิดนี้จะใช้กับระบบท่อ Stainless Steel ในงานความปลอดภัยด้านอาหารซึ่งสะดวกต่อการถอดประกอบเพื่อการทำความสะอาดวาล์วอยู่เสมอ (ดูรูปที่ 2-16) เป็นต้น ในบางครั้งเราอาจพบข้อต่อเป็นแบบ Lug-Style คือมีรูหน้าแปลนให้รอย Bolts & Nuts (ดูรูปที่ 2-17)

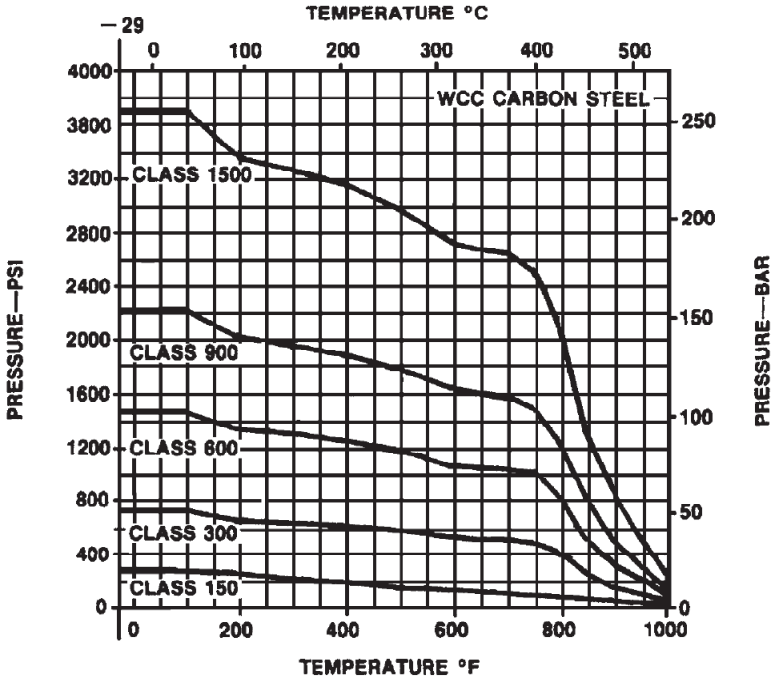


รูปที่ 2-17 ข้อต่อวาล์วแบบ Lug-Style

การแบ่งชั้นทนความดันของวาล์ว (Pressure Classes)

ในการออกแบบวาล์วเพื่อใช้งานในระบบท่อปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคืออุณหภูมิและความดันที่วาล์วสามารถทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย สำหรับความดันภายในตัวเรือนวาล์วที่วาล์วสามารถทนได้จนถึงจุดหนึ่งโดยวาล์วยังคงทำหน้าที่ถูกต้องและปลอดภัยนั้นเราเรียกว่า “Valve’s Pressure Rate” ดังนั้นยิ่งมีค่า Pressure Rate สูง ยิ่งทนความดันได้สูงแต่ขณะเดียวกันผนังวาล์วก็ต้องหนาขึ้นไปด้วยเพื่อให้วาล์วสามารถรองรับการติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในตัวเรือนวาล์วให้ทนความดันดังกล่าวได้และเป็นสิ่งที่แน่นอนว่าอุณภูมิภายในวาล์วเองก็มีผลกระทบต่อขีดความสามารถในการรองรับความดันตาม Pressure Rate ของวาล์วดังกล่าวด้วยเช่นกัน นั้นคือของไหลในระบบท่อยิ่งมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นยิ่งส่งผลให้วาล์วรองรับความดันน้อยลง ดังตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของการทน

ความดันของวาล์วที่ทำด้วยวัสดุ Carbon Steel เมื่ออุณหภูมิของไหลเปลี่ยนไปในแต่ละชั้นทนความดันของวาล์ว แสดงไว้ในรูปที่ 2-18 ดังนั้นเราต้องทำความเข้าใจถึง Pressure Class Rating กับ Pressure Rating มีความสำคัญในการทำงานของเราอย่างไร



รูปที่ 2-18 Pressure-Temperature Rating สำหรับ Carbon steel (Fisher control instrument, Inc.)

1. **Standard Classification** มาตรฐานชั้นทนความดันของไหล (Pressure Class) เป็นไปตามมาตรฐาน ANSI B16.34 ซึ่งแบ่ง Pressure Class ออกเป็น 6 Standard Class คือ Pressure Class 150, 300, 600, 900, 1500

และ 2500 (ดูรูปที่ 2-19 และ รูปที่ 2-20) ซึ่งชั้นทนความดันดังกล่าวใช้ได้กับข้อต่อวาล์วทั้งแบบเกลียว (NPT Threaded), หน้าแปลน (Flange), Socketweld และ Buttweld End Connection สำหรับในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายที่ชั่งตวงวัดจะสัมผัสจะเจอ 2 รูปแบบหลักๆ คือ สำหรับน้ำมันสำเร็จรูประบบท่อส่วนใหญ่เป็น Pressure Class 150 ส่วนระบบท่อก๊าซปิโตเลียมเหลว (LPG) จะเป็นระบบท่อชั้นทนความดัน Pressure Class 300 และ 600

2. **Special Classification** เมื่อติดตั้งวาล์วในระบบท่อที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ประกอบกับเป็นไปตามข้อกำหนดผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Examination; NDT) เช่น X-ray แนวเชื่อม 100% บริเวณแนวเชื่อมข้อต่อแบบ Buttweld End Connection ของวาล์วที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบท่อแล้ว ตามมาตรฐาน ANSI B16.34 ยอมให้วาล์วดังกล่าวยกชั้นทนความดันเป็น Pressure Special Class 150, 300, 600, 900, 1500, 2500 และ 4500 ได้ ส่วนรายละเอียดเราต้องไปศึกษาเพิ่มเติมเองหากต้องการรู้เพิ่มเติมน่ะครับ

Table 1 Material Specification List: Applicable ASTM Specification

GROUP 1 MATERIALS

Material Group No.	Nominal Designation	Forgings		Castings		Plates		Bars		Tubular	
		Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade	Spec. No.	Grade
1.1	C–Si	A 105		A 216	WCB	A 515	70	A 105			
	C–Mn–Si	A 350	LF2			A 516	70	A 350	LF2	A 672	C 70
						A 537	Cl. 1	A 696	C		B 70
	$3\frac{1}{2}$Ni	A 350	LF3								
	C–Mn–Si–V	A 350	LF6 Cl. 1								

รูปที่ 2-19 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มวัสดุของวาล์วตามอุณหภูมิและการใช้งาน ตาม ASME B16.34 สำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสำเร็จรูป Group 1.1

Table 2-1.1 Ratings for Group 1.1 Materials

A 105 (1)(2)	A 515 Gr.70 (1)	A 696 Gr. C	A 672 Gr. B70 (1)
A 216 GR. WCB (1)	A 516 Gr. 70 (1)(3)	A 350 Gr. LF6 Cl. 1 (4)	A 672 Gr. C70 (1)
A 350 Gr. LF2 (1)	A 537 Cl. 1 (5)	A 350 Gr. LF3 (6)	

NOTES:

(1) Upon prolonged exposure to temperatures above 425C°, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible, but not recommended for prolonged usage above 425°C.

(2) Only killed steel shall be used above 455°C.

(3) Not to be used over 455°C.

(4) Not to be used over 260°C.

(5) Not to be used over 370°C.

(6) Not to be used over 345°C.

A – Standard Class

Temperature, °C	Working Pressures by Class, bar						
	150	300	600	900	1500	2500	4500
−29 to 38	19.6	51.1	102.1	153.2	255.3	425.5	765.9
50	19.2	50.1	100.2	150.4	250.6	417.7	751.9
100	17.7	46.6	93.2	139.8	233.0	388.3	699.0
150	15.8	45.1	90.2	135.2	225.4	375.6	676.1
200	13.8	43.8	87.6	131.4	219.0	365.0	657.0
250	12.1	41.9	83.9	125.8	209.7	349.5	629.1
300	10.2	39.8	79.6	119.5	199.1	331.8	597.3
325	9.3	38.7	77.4	116.1	193.6	322.6	580.7
350	8.4	37.6	75.1	112.7	187.8	313.0	563.5
375	7.4	36.4	72.7	109.1	181.8	303.1	545.5
400	6.5	34.7	69.4	104.2	173.6	289.3	520.8
425	5.5	28.8	57.5	86.3	143.8	239.7	431.5
450	4.6	23.0	46.0	69.0	115.0	191.7	345.1
475	3.7	17.4	34.9	52.3	87.2	145.3	261.5
500	2.8	11.8	23.5	35.3	58.8	97.9	176.3
538	1.4	5.9	11.8	17.7	29.5	49.2	88.6

B – Special Class

Temperature, °C	Working Pressures by Class, bar						
	150	300	600	900	1500	2500	4500
−29 to 38	19.8	51.7	103.4	155.1	258.6	430.9	775.7
50	19.8	51.7	103.4	155.1	258.6	430.9	775.7
100	19.8	51.6	103.3	154.9	258.2	430.3	774.5
150	19.6	51.0	102.1	153.1	255.2	425.3	765.5
200	19.4	50.6	101.1	151.7	252.9	421.4	758.6
250	19.4	50.5	101.1	151.6	252.6	421.1	757.9
300	19.4	50.5	101.1	151.6	252.6	421.1	757.9
325	19.2	50.1	100.2	150.3	250.6	417.6	751.7
350	18.7	48.9	97.8	146.7	244.6	407.6	733.7
375	18.1	47.1	94.2	141.3	235.5	392.5	706.5
400	16.6	43.4	86.8	130.2	217.0	361.7	651.0
425	13.8	36.0	71.9	107.9	179.8	299.6	539.3
450	11.0	28.8	57.5	86.3	143.8	239.6	431.4
475	8.4	21.8	43.6	65.4	109.0	181.6	326.9
500	5.6	14.7	29.4	44.1	73.5	122.4	220.4
538	2.8	7.4	14.8	22.2	36.9	61.6	110.8

รูปที่ 2-20 ตัวอย่างชั้นทนความดันของวาล์ว (Pressure Classes) ของกลุ่มวัสดุของวาล์ว Group 1.1 ตาม ASME B16.34

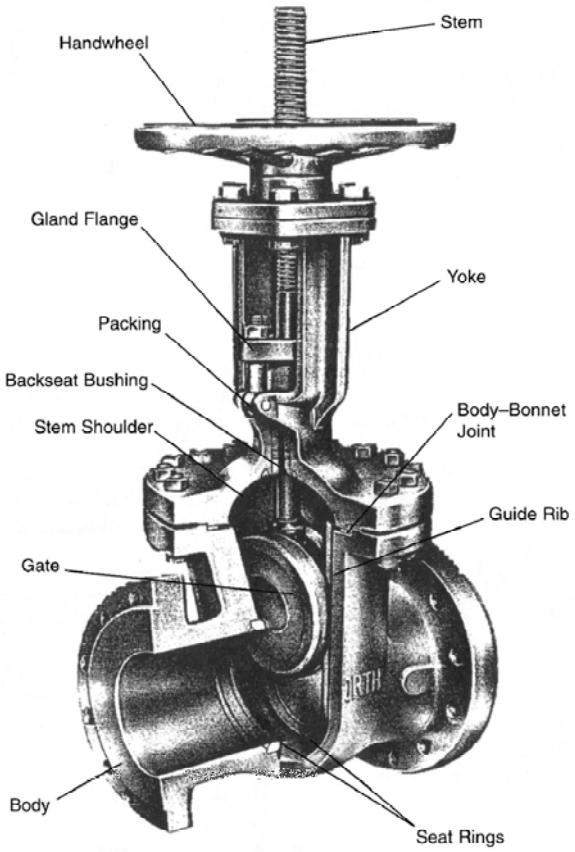
วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว
(Control Valves in Dynamic Measuring Systems)
ตอนที่ 3
ชนิดของวาล์ว

การแบ่งชนิดของวาล์วกลุ่มลิ้นวาล์วเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Motion)

1. Gate Valve ลิ้นวาล์ว หรือ Flow Control Element ของวาล์วชนิดนี้มีหลายชื่อเรียก ตัวอย่างเช่น “gate”, “wedge”, “slide” ดังนั้นในการทำงานของวาล์วเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วไปขวางทางการไหลของไหลจากด้านข้างและตั้งฉากกับทิศทางการไหลของไหลจนกระทั่งลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ปิดช่องทางการไหลในตัวเรือนวาล์วสนิท ทำให้การไหลหยุดลง (ดูรูปที่ 3-1) โดยลิ้นวาล์วเองก็ต้องรับความดันจากของไหลที่มากระทำต่อมันด้วยเช่นเดียวกับตัวเรือนวาล์ว ประกอบกับช่องทางการไหลของไหลผ่านตัวเรือนวาล์วอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของไหลทำให้สูญเสียแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลของไหลมีค่าน้อย อีกทั้งวาล์วชนิดนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างสมมาตรจึงสามารถสลับทิศทางการใช้งานได้นั้นคือในแต่ละด้านสามารถเป็นได้ทั้งทางเข้าหรือทางออกโดยไม่มีข้อจำกัดหรือกำหนดทิศทางเข้า-ออกที่ชัดเจน ดังนั้นด้วยรูปแบบการทำงานและการควบคุมลิ้นวาล์วดังกล่าวทำให้ Gate Valve ถูกใช้งานเพื่อทำหน้าที่หยุดหรือเริ่มการไหลในระบบท่อ หรือที่เรียกในภาษาปะกิตว่า “Stop Valve” หรือ “Block Valve”

ดูรูปที่ 3-1 เมื่อเราอ่านชื่อรูปก็จะทราบว่าเป็นชื่อที่บรรยายลักษณะครอบคลุมในรายละเอียดเกือบครบถ้วนกระบวนความที่เกี่ยวกับวาล์ว โดยเริ่มจากให้ข้อมูลแบบข้อต่อทั้ง 2 ด้านของวาล์วว่าเป็นแบบหน้าแปลนด้วยคำว่า “Flanged

End”, มีการประกอบตัวเรือน (Body) เข้ากับ Bonnet ด้วย Bolts & Nuts ด้วยคำว่า “Bolted-Bbonnet”, บ่งบอกถึงการออกแบบก้านวาล์วถูกขับเคลื่อนด้วยสกรูที่ยื่นออกมาภายนอกตัวเรือนวาล์วและถูกประคองหรือยึดด้วย Yoke ที่ติดตั้งเป็นส่วนเดียวกับ Bonnet ด้วยคำว่า “Outside-screw-and-yoke”, สุดท้ายเป็นการบ่งบอกว่าเป็น Gate Valve ซึ่งถูกแบ่งชัดเจนด้วยการทำงานของลิ้นวาล์ว หรือ Flow Control Element ชนิด Flex-Wedge ด้วยคำว่า “Flex-Wedge, Gate Valve” ก็มันเป็นเช่นนั้นเอง.....



รูปที่ 3-1 Flanged end, Bolted-Bonnet, Outside-Screw-and-Yoke, Flex-Wedge, Gate Valve

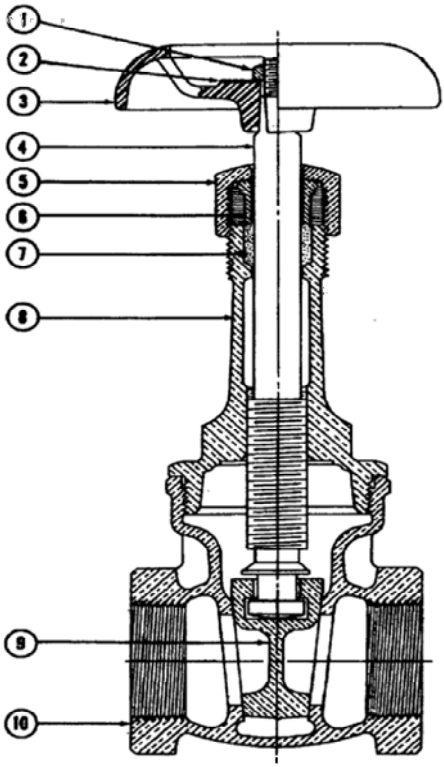
1.1. Body-Bonnet Joint เป็นรูปแบบการประกอบตัวเรือนวาล์ว (Body) เข้ากับ Bonnet ที่เรามักพบเห็นบ่อยมีอยู่ด้วยกัน 5 รูปแบบ ได้แก่

1.1.1. **แบบเกลียว (Screwed Joint)** ดูรูปที่ 3-2 เป็นวิธีการออกแบบด้วยการประกอบเชื่อมต่อง่ายที่สุดด้วยการกลึงเกลียวตัวผู้บนปลาย Bonnet ทั้ง 2 ด้าน โดยหมุนเกลียวเข้ากับเกลียวตัวเมียที่อยู่บนปลายด้านหนึ่งที่เป็นตัวเรือนวาล์ว ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งหมุนเกลียวเข้ากับตัวอัดปะเก็นเข้ากับก้านวาล์ว การออกแบบการประกอบตัวเรือนวาล์วเข้ากับ Bonnet ด้วยวิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ประหยัด เราจึงพบมากในพวกวาล์วทองเหลืองขนาดเล็กแบบใช้พังแล้วทิ้งบอกลากันไปเลย เช่น วาล์วทองเหลืองระบบท่อน้ำประปา

1.1.2. **แบบ Union Joint** ดูรูปที่ 3-3 เป็นรูปแบบการประกอบเข้าด้วยกันระหว่าง Body กับ Bonnet คล้ายกับข้อต่อ Union ของระบบท่อนั้นเอง โดยใช้ Union Nut ล็อกกับ Bonnet ไปขันอัดเข้ากับเกลียวตัวผู้ที่อยู่บนตัวเรือนวาล์ว วิธีการเชื่อมต่อแบบ Union Joint มีข้อดีกว่าแบบเกลียว (Screwed Joint) เพราะหน้าสัมผัสซีลของตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet จะไม่เกิดความเสียหายเมื่อขันกวดอัดเกลียวเชื่อมต่อกันระหว่างตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet อีกทั้งสะดวกในการใช้งานที่ต้องการถอดประกอบระหว่างการใช้งานหากต้องการซ่อมแซมวาล์ว แต่มีข้อจำกัดนั้นคือการเชื่อมต่อแบบนี้ใช้กับวาล์วที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

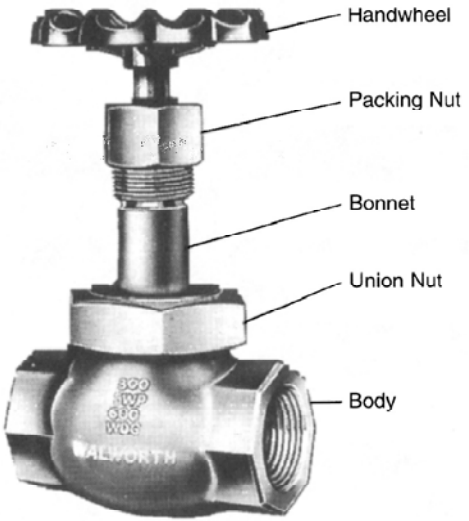
1.1.3. **แบบ Bolted-Bonnet** เป็นการประกอบตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet ด้วยหน้าแปลนผิวหน้าสัมผัสกดอัดด้วย Bolts หรือ Studs กับ Nuts โดยมีปะเก็นสอดระหว่างหน้าแปลนทั้ง 2 เพื่อป้องกันการรั่วซึมของไหล ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ส่วนรูปแบบการออกแบบปะเก็นว่าจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่ชั้นทนความดันของวาล์วชนิดนั้นๆ เช่น ชั้นทนความดันต่ำมักใช้ปะเก็นแบบแผ่นเรียบ ในขณะที่ชั้นทนความดันปานกลางถึงความดันสูงมักจะใช้ปะเก็นชนิด Filled Spiral-Wound Gasket หรือ Metal Ring (ดูรูปที่ 3-4) ดังนั้นการเชื่อมต่อด้วยวิธีการนี้จึงง่ายและสะดวกหากต้องการถอดประกอบเพื่อทำความสะอาดหรือ

ซ่อมแซมเพราะเป็นช่องเปิดที่กว้างเข้าถึงภายในตัวเรือนวาล์วได้สะดวกอีกทั้งสามารถใช้ได้กับวาล์วที่มีตัวเรือนและ Bonnet ทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast Iron) หรือเหล็กเหนียว (Steel)

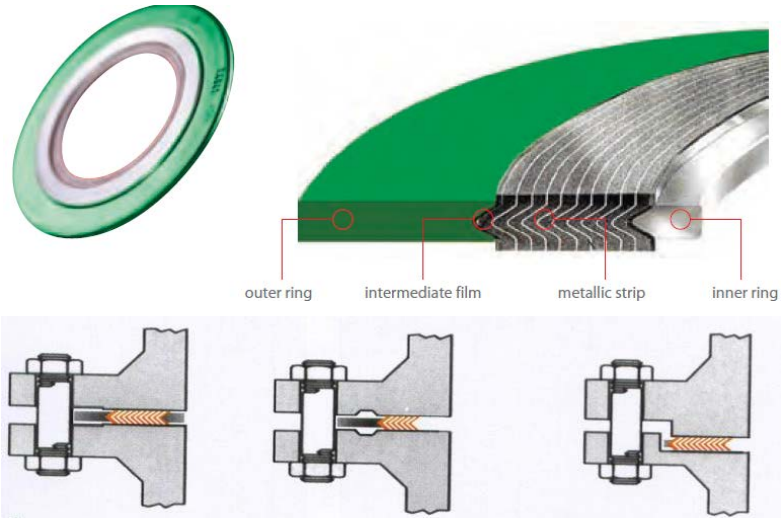


	PART NAME
1	HANDWHEEL NUT
2	IDENTIFICATION PLATE
3	HANDWHEEL
4	STEM
5	PACKING NUT
6	GLAND
7	PACKING
8	BONNET
9	SOLID WEDGE
10	BODY

รูปที่ 3-2 Screwed Body-Bonnet Joint, Inside Screw Rising Stem (ISRS) Design, Gate Valve (MSS SP-80-2008)

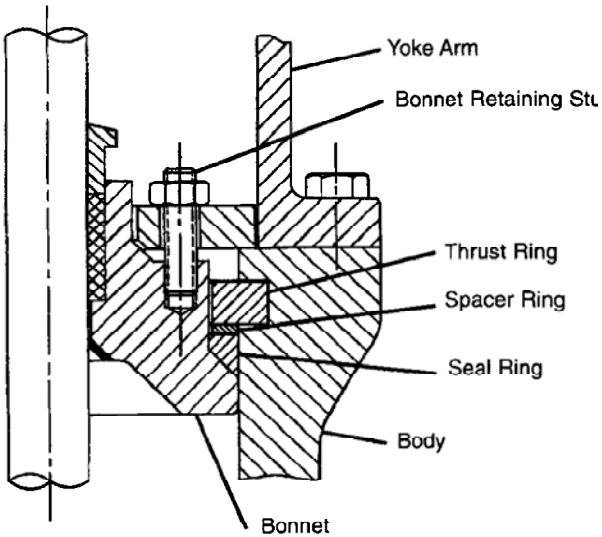


รูปที่ 3-3 Union Body-Bonnet Joint, Gate Valve



รูปที่ 3-4 Filled Spiral-Wound Gasket และตัวอย่างการติดตั้งเข้ากับหน้าแปลนในรูปแบบต่างๆ

1.1.4. **แบบ Pressure Seal** ดูรูปที่ 3-5 เป็นการออกแบบให้ความดันภายในตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet ดันตัว Bonnet ให้อัดเข้ากับตัวเรือนวาล์วที่อยู่เหนือขึ้นมาโดยมี Seal Ring ทำหน้าที่ซีลระหว่างตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet ในขณะที่มี Thrust Ring ทำหน้าที่ยัน Seal Ring และมี Spacer Ring ช่วยอีกแรงหนึ่งในการป้องกัน Seal Ring เปลี่ยนรูปทรงอีกทั้งช่วยประคองหรือยัน Studs & Nuts ไม่ให้เสียแนวตรงตั้งฉากไปพร้อมๆกัน การออกแบบที่ซับซ้อนแบบนี้เพื่อนำไปใช้งานกับวาล์วที่ต้องทนความดันสูงนั้นเอง



รูปที่ 3-5 Union Body-Bonnet Joint, Gate Valve

1.1.5. **แบบ Weld-bonnet Joint** ดูรูปที่ 3-6 เป็นวิธีการประกอบตัวเรือนวาล์วเข้ากับ Bonnet ด้วยการเชื่อมโลหะปิดตายระหว่างชิ้นส่วนทั้ง 2 ไปเลยส่งผลให้ได้วาล์วมีน้ำหนักลดลงเพราะไม่ต้องมีชิ้นส่วนประกอบมากมายเมื่อเทียบกับแบบ Bolted Bonnet หรือ Pressure Seal การเชื่อมต่อด้วยวิธีการนี้จึงถอดออกได้ยากและไม่คุ้มกับการถอดซ่อมแซม ดังนั้นจึงนำมาใช้กับวาล์วที่มีขนาดเล็กทนความดันสูง เมื่อชำรุดเสียหายก็ถอดโยนทิ้งไปเลย...

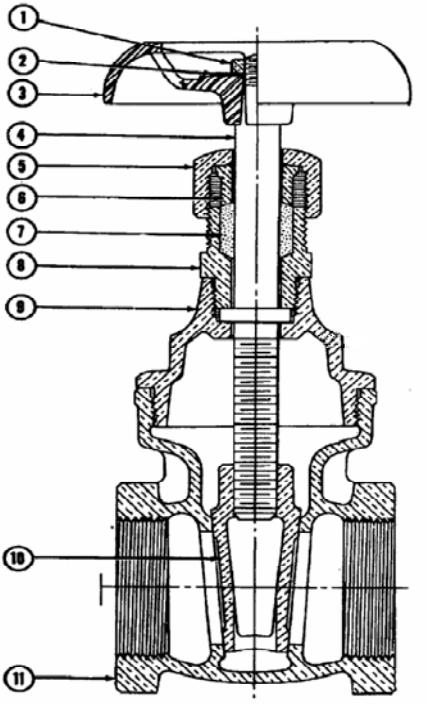


รูปที่ 3-6 Weld-Bonnet Joint, Gate Valve

1.2. Stem Design การออกแบบก้านวาล์วของ Gate Valve เราพบว่าส่วนใหญ่ที่นิยมกันมี 3 แบบคือ

1.2.1. **แบบ Inside Screw Rising Stem (ISRS)** ดูรูปที่ 3-2 เนื่องจากเราขึ้นเกลียววนขวามือบนก้านวาล์วและเกลียววนซ้ายมือบนตัว Bonnet ดังนั้นเมื่อหมุนมือจับวาล์วไปในทิศตามเข็มนาฬิกาตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ลงไปปิดช่องทางการไหลของไหลสังเกตุได้จากความสูงของมือหมุนวาล์วเทียบกับตัวเรือนวาล์วจะลดลง ในทางกลับกันเมื่อเราหมุนมือจับวาล์วไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ขึ้นทำให้เปิดช่องทางการไหลของไหล ความสูงของมือหมุนวาล์วเทียบกับตัวเรือนวาล์วจะสูงขึ้น ทำให้เราสามารถตรวจสอบด้วยตาว่าวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิดหรือเปิดได้จากความสูงของมือหมุน การออกแบบก้านวาล์วแบบนี้มักใช้กับวาล์วทองเหลือง

1.2.2. **แบบ Non-Rising Stem (NRS)** ดูรูปที่ 3-7 ในกรณีติดตั้งวาล์วในบริเวณที่มีพื้นที่เหนือวาล์วจำกัด การออกแบบก้านวาล์วจึงต้องกลับทางกับแบบ ISRS นั้นคือ เราขึ้นเกลียววนซ้ายมือบนก้านวาล์วและเกลียววนขวามือภายในตัวลิ้นวาล์ว ดังนั้นเมื่อหมุนมือจับวาล์วไปในทิศตามเข็มนาฬิกาตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ลงไปปิดช่องทางการไหลของไหลโดยความสูงของมือหมุนวาล์ว

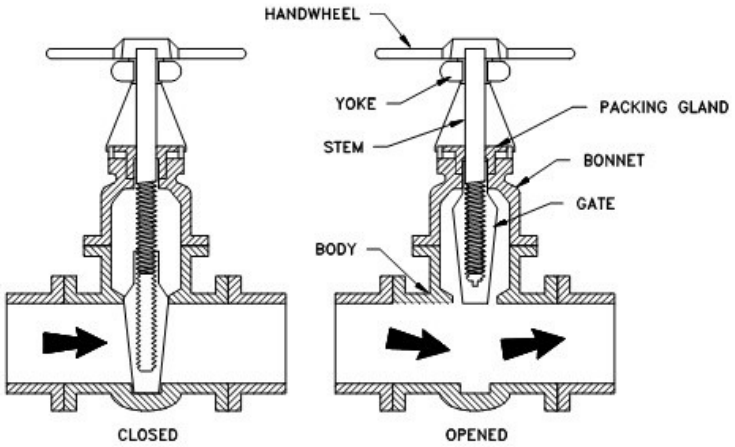


	PART NAME
1	HANDWHEEL NUT
2	IDENTIFICATION PLATE
3	HANDWHEEL
4	STEM
5	PACKING NUT
6	GLAND
7	PACKING
8	PACKING BOX
9	BONNET
10	SOLID WEDGE
11	BODY

รูปที่ 3-7 Screwed Body-Bonnet Joint, Non-Rising Stem (NRS) Design, Gate Valve (MSS SP-80-2008)

เทียบกับตัวเรือนวาล์วมีระยะไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเราหมุนมือจับวาล์วไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ขึ้นทำให้เปิดช่องทางการไหลของไหลเช่นเดิมเพียงแต่ว่าตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายใน Bonnet ระยะความสูง

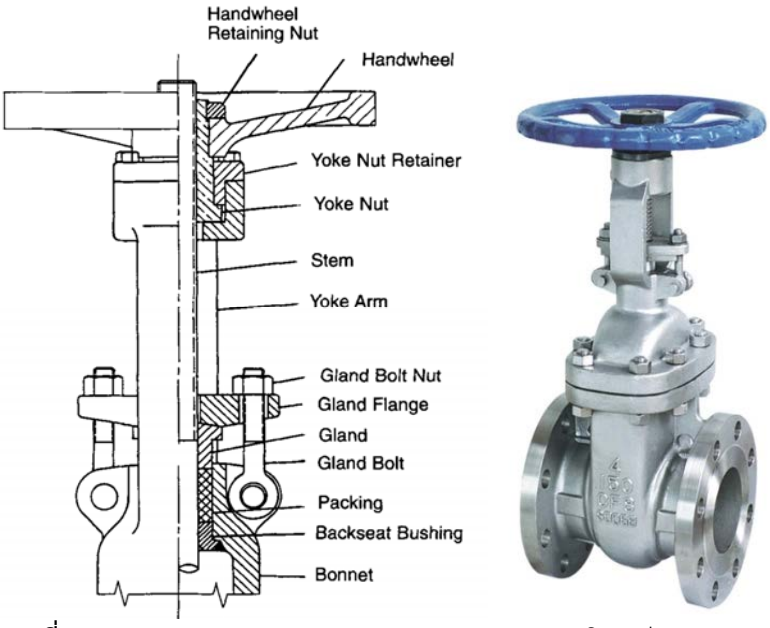
ของมือหมุนวาล์วจึงไม่เปลี่ยนแปลงทำให้เราไม่สามารถคาดเดาจากความสูงของมือหมุนได้ว่าวาล์วขณะนั้นอยู่ในตำแหน่งปิดหรือเปิด (ดูรูปที่ 3-8) เราพบการออกแบบก้านวาล์วแบบนี้ส่วนใหญ่ในวาล์วทองเหลืองกับวาล์วเหล็กหล่อ (Cast Iron Valve) เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการสึกกร่อนระหว่างเกลียวก้านวาล์วกับเกลียวตัวลิ้นวาล์ว



รูปที่ 3-8 ก้านวาล์วแบบ Non-Rising Stem (NRS) Design, Gate Valve

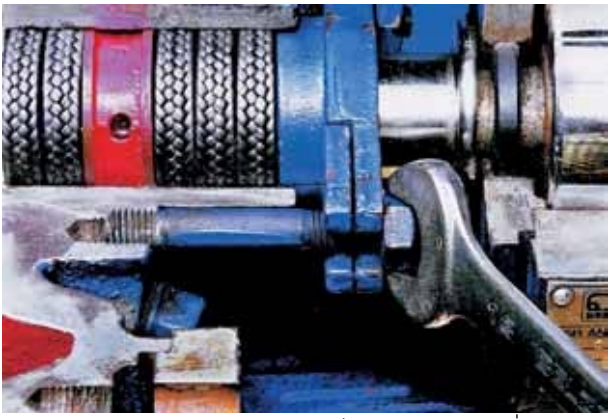
1.2.3. **แบบ Outside Screw and Yoke (OS&Y)** เราพบว่าการออกแบบก้านวาล์วทั้งแบบ Inside Screw Rising Stem (ISRS) และแบบ Non-Rising Stem (NRS) มีข้อเสียร่วมกันคือ ก้านวาล์ว “สัมผัส” กับของไหลในระบบท่อเช่นเดียวกับภายในตัวเรือนวาล์วซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนทางเคมี (Corrosion) และการกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) การคิดค้นการออกแบบ OS&Y (ดูรูปที่ 3-9 และรูปที่ 3-10) จึงถูกคิดค้นเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องเกลียวของก้านวาล์วสัมผัสกับของไหลภายในวาล์วขณะทำงานโดยออกแบบให้เกลียวของก้านวาล์วออกไปอยู่นอกตัววาล์วไปเลย จากนั้นออกแบบให้มีส่วนที่เรียกว่า “Yoke” มีลักษณะเป็น 2 แขนเชื่อมติดกับ Bonnet เพื่อใช้ประคองและกำกับการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วด้วยการให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่ผ่าน Yoke Nut ซึ่งถูกขึ้นเกลียวไว้

ภายในตัว Yoke Nut ซึ่งทำหน้าที่เสมือน Nut (เกลียวตัวเมีย) ไปในตัว ในขณะเดียวกันก็ติดตั้งมือหมุนวาล์ว (Handwheel) บนด้านบนสุดของ Yoke เข้ากับ Yoke Nut แทนที่ติดตั้งกับก้านวาล์วส่งผลให้มือหมุนสามารถหมุนได้อย่างอิสระ โดยขึ้นเกลียววนซ้ายมือบนก้านวาล์วและเกลียววนขวามือภายในตัว Yoke Nut ดังนั้นเมื่อหมุนมือจับวาล์วไปในทิศตามเข็มนาฬิกาตัวลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ลงไปปิดช่องทางการไหลของไหล สังเกตุได้จากความสูงของส่วนบนสุดก้านวาล์วเทียบกับตัวเรือนวาล์วจะลดลง สำหรับการเปิดวาล์วจะเกิดขึ้นในทางกลับกัน จากลักษณะการทำงานของก้านวาล์วดังกล่าวเราจึงสามารถบำรุงรักษาก้านวาล์วด้วยการทาจารบี หรือในการออกแบบเพื่อลดแรงเสียทานอาจทำการติดตั้งลูกปืนเข้ากับ Yoke Nut ได้อีกด้วย จากข้อดีที่ได้กล่าวมานั้นทำให้วาล์วที่ได้รับการออกแบบให้มีก้านวาล์ว OS&Y จึงได้รับความนิยมและพบเห็นได้บ่อยทั้งในวาล์วเหล็กหล่อและเหล็กเหนียว



รูปที่ 3-9 Outside Screw and Yoke (OS&Y) Design, บริเวณส่วน Yoke

จากการออกแบบก้านวาล์วดังกล่าวพบว่าการป้องกันการรั่วไหลของไหลออกมาภายนอกตัววาล์วผ่านก้านวาล์วเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในหน้าที่หลักของตัววาล์วดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเพื่อป้องกันการรั่วไหลแนวแกนก้านวาล์วจึงจัดให้มีซีลที่มีความยืดหยุ่นวางเรียงไว้ในช่องว่างช่องหนึ่งพันรอบแกนก้านวาล์วจะเป็นการพันรอบแกนก้านวาล์วชั้นเดียวหรือเรียงซ้อนกันหลายชั้นสุดแล้วแต่การออกแบบเพื่อให้ทนความดันและอุณหภูมิการใช้งานมากน้อยเพียงใดซึ่งจะสะท้อนออกมาในขนาดและรูปแบบของ “Stuffing Box” หรือ “Packing Chamber” (ดูรูปที่ 3-9 และรูปที่ 3-10) และเรียกซีลที่พันรอบก้านวาล์วว่า “Packing” โดยเรียกตัวกดอัดซีล Packing ที่อยู่ใน Stuffing Box ให้แน่นว่า “Gland” วิธีการอัด Gland ลงบน Packing ที่อยู่ใน Stuffing Box ที่นิยมใช้กันคือ Bolts & Nuts ดังนั้นก้านวาล์วที่ได้รับการออกแบบ ISRS และ OS&Y จึงสามารถถอดเปลี่ยนซีลหรือ Packing ได้สะดวกโดยไม่ต้องถอดวาล์วออกจากระบบท่อถือเป็นข้อดีมากในทางปฏิบัติจริงภาคสนาม



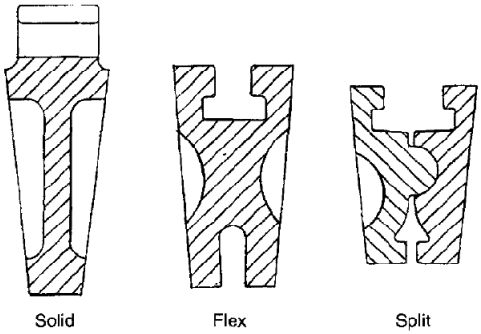
รูปที่ 3-10 รูปตัด Stuffing Box แสดงให้เห็นซีล (Packing) ที่พันรอบก้านวาล์ว

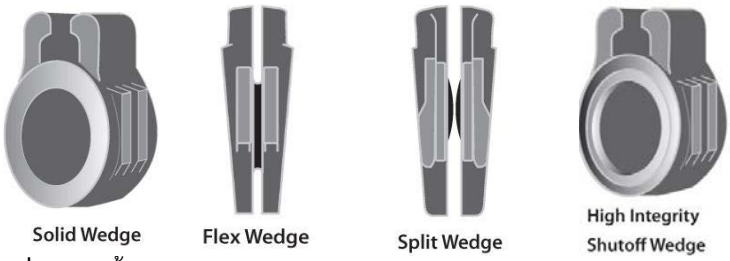
1.3. Gate Design การออกแบบลิ้นวาล์วมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบหลักๆ โดยทั้ง 3 รูปแบบนั้นจะมีลักษณะโดยภาพรวมแล้วเสมือนเป็น “ลิ่ม

(Wedge)” มีหน้าสัมผัส 2 ด้านของตัวลิ่มซึ่งโดยทั่วไปจะเอียงทำมุมเทียบกับแนวแกนก้านวาล์วอยู่ที่ประมาณ 3 - 6 องศาและออกแบบให้หน้าสัมผัสทั้ง 2 ด้านสัมผัสแนบสนิทกับ Body Seats ซึ่งถูกติดตั้งเข้ากับตัวเรือนวาล์วทั้ง 2 ฝั่งตรงข้ามกันเพื่อรองรับให้หน้าสัมผัสของลิ้นวาล์วทั้ง 2 ด้านแนบสนิทกัน รูปแบบของลิ้นวาล์วเริ่มจากชิ้นเดียวโดดๆแล้วค่อยเปลี่ยนจากดิ้นได้บ้างจนถึงสามารถดิ้นได้ 2 ชิ้น เรามาดูกัน

1.3.1. **ลิ้นวาล์วแบบ Solid Wedge หรือ One-Piece Solid** (ดูรูปที่ 3-11) เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด ถูกใช้งานและเป็นที่นิยมมานาน ราคาประหยัด มีความสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนและสั่นสะเทือนได้ดีเยี่ยมจึงถือได้ว่าเป็นลิ้นวาล์วในอุดมคติสำหรับงานระบบท่อไอน้ำและการไหลที่มีความปั่นป่วน (Turbulent Flow) ในระบบท่อสูง แต่ด้วยคุณสมบัติที่บึกบึนนี้เองจึงทำให้ลิ้นวาล์วชนิดนี้ไม่สามารถรองรับหรือปรับตัวต่อการเสียรูปทรงของ Body Seats ที่ประกบหน้าสัมผัสทั้ง 2 ข้างของลิ้นวาล์วเมื่อใช้งานไปนานๆได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ Body Seats สัมผัสอุณหภูมิของไหลที่สูงมากทำให้เกิดการขยายตัวของเนื้อโลหะที่ใช้ทำ Body Seats ผลที่ตามมาคือก่อให้เกิดลิ้นวาล์วติดขัดกับ Body Seats ทำให้ปิด-เปิดไม่สะดวกและอาการดังกล่าวจะยิ่งรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไหลยิ่งสูงขึ้น หรือในกรณีวาล์วถูกติดตั้งในระบบท่อที่มีการขยายตัว หดตัวหรือบิดตัว ซึ่งเป็นเรื่องปกติในระบบท่อที่มีระยะทางยาวไกล การขยายตัวของโลหะที่ใช้ทำท่อจะมีการยืด หด บิดตัวตามสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิและความดันของไหลในระบบท่อส่วนจะมากน้อยแตกต่างกันไปดังนั้นเมื่อท่อหดตัวหรือขยายตัว ท่อจะส่งแรงกระทำตัวเรือนวาล์วซึ่งติดตั้งในระบบท่อส่งผลให้ Body Seats เสียรูปทรงตามตัวเรือนวาล์ว การปิด-เปิดวาล์วจะมีปัญหาตามมา (เรื่องนี้ในตัวเรือนของมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราจะมีการออกแบบให้เป็นตัวเรือนมาตรวัดฯ 2 ชั้น (Double Case) เพื่อให้ตัวเรือนชั้นนอกรับแรงจากระบบท่อกระทำต่อมาตรวัดในขณะที่ตัวเรือนชั้นในยังคงทำหน้าที่เป็นห้องวัดปริมาตรได้ถูกต้องและรับผลกระทบกระเทือนน้อยที่สุด) เป็นต้น แต่ถ้าหน้าสัมผัส Body Seats เรียบปกติก็ไม่มี

ปัญหาใดๆ นะ การทำหน้าที่ของลิ้นวาล์วชนิดนี้จึงขึ้นกับความแม่นยำของการขึ้นรูปเชิงกล (กลึง เจียร ใส ปาด บด) ให้หน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วแบบ Solid Wedge กับ Body Seats แนบเรียบแนบสนิทมากน้อยเพียงใด หากมีฝีมือกลึง เจียร ใส ปาด บด ให้ผิวสัมผัสเรียบแนบสนิทวาล์วก็รั่วไหลได้น้อยนั่นเอง ด้วยเหตุนี้ลิ้นวาล์วแบบ Solid Wedge จึงไม่เหมาะกับการใช้งานใน Gate Valve ขนาดใหญ่เพราะหาเครื่องมือเพื่อผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ๆให้มีหน้าสัมผัสเรียบเนียนๆ ได้ยาก





รูปที่ 3-11 ลิ้นวาล์วแบบ Solid Wedge, Flex Wedge, Split Wedge และ High Integrity Shutoff Wedge

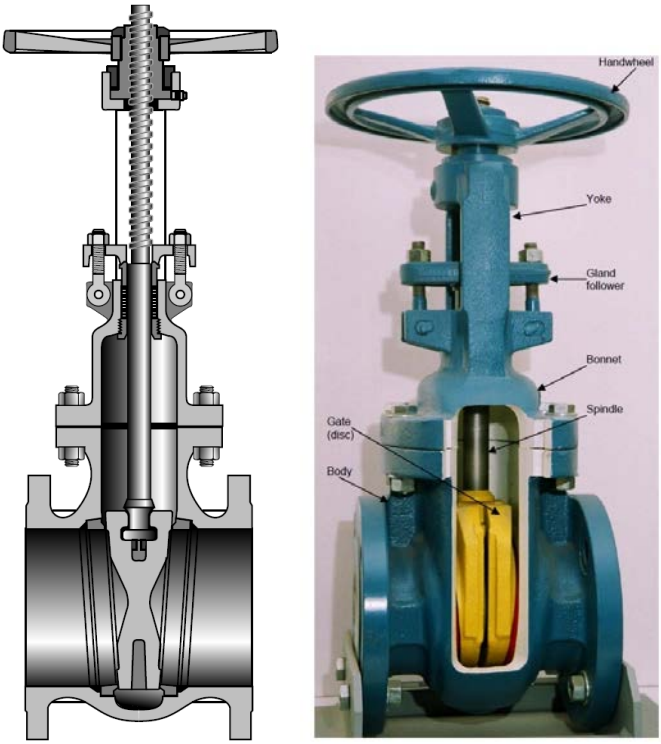
Body Seat คือ ผิวสัมผัสที่ราบเรียบและต้องขบ บด อัด กับลิ้นวาล์วในการทำหน้าที่ซีลการรั่วซึมของของไหลผ่านลิ้นวาล์ว ในการออกแบบและผลิต Body Seat ตลอดจนติดตั้งเข้ากับตัวเรือนวาล์วเพื่อให้ทำหน้าที่ Body Seat มีหลายวิธีการ เช่น

- Body Seat เป็นเนื้อเดียวกับตัวเรือนวาล์ว ทำโดยการกลึงปาดใสตัวเรือนวาล์วที่ต้องการให้เป็น Body Seat ให้เรียบ หรือทำการเชื่อมโลหะพอกหน้าลงบนตัวเรือนวาล์วจากนั้นกลึงปาดใสให้เรียบก็ได้

- ผลิตเป็นวงแหวนผิวเรียบ จากนั้นฝังวงแหวนเข้ากับตัวเรือนวาล์วด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไปเช่น กดอัดเข้ากับตัวเรือนวาล์ว, กลึงเป็นเกลียวทั้งบน Body Seats กับตัวเรือนวาล์วแล้วขันเข้าด้วยกัน, เจาะเป็นรูฝังสกรูยึด Body Seats กับตัวเรือนวาล์ว หรือเชื่อม Body Seats เข้ากับตัวเรือนวาล์วก็อาจเป็นได้

1.3.2. **ลิ้นวาล์วแบบ Flex Wedge หรือ One-Piece Flexible** หรือ 1 ชิ้นอยู่นิ่งอีกชิ้นขยับ (ดูรูปที่ 3-11) ลิ้นวาล์วชนิดนี้จะถูกหล่อหรือขึ้นรูปด้วยการกลึงเว้า (Groove) ตามหน้าวาล์ว ส่วนจะมีขนาด รูปร่าง และความลึกในการขึ้นรูปเป็นอย่างไรแล้วแต่การออกแบบ รอยเว้าดังกล่าวทำให้เนื้อโลหะที่ใช้ทำลิ้นวาล์วบริเวณกลางเนื้อลิ้นวาล์วบางลงส่งผลให้ลิ้นวาล์วมีความยืดหยุ่นให้ตัวมากขึ้นและยอมให้หน้าสัมผัสของลิ้นวาล์วเคลื่อนตัวได้เล็กน้อยเพื่อสามารถปรับตัวให้เข้ากับหน้าสัมผัสของ Body Seats ที่ประกบหน้าสัมผัสทั้ง 2 ข้างของลิ้นวาล์วซึ่งอาจเสียรูปทรงหรือเคลื่อนตัวไปจากตำแหน่งติดตั้งอันเนื่องจากการขยายตัวของ Body Seats เนื่องจาก Body Seats สัมผัสของไหลภายในวาล์วที่มีอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำหรือเกิดจากระบบท่อที่วาล์วไปติดตั้งอยู่นั้นบิดตัว ขยายตัว หรือหดตัว ดังนั้นลิ้นวาล์วแบบ Flex Wedge จึงมีประโยนช์มากโดยเฉพาะในเหตุการณ์ที่เริ่มต้นวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิดในขณะที่อุณหภูมิของไหลสูงทำให้ลิ้นวาล์วที่สัมผัสกับของไหลอุณหภูมิสูงด้านหนึ่งกับอีกด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิที่กระทำต่อลิ้นวาล์วผลตามมาคือ เนื้อโลหะที่ใช้ทำลิ้นวาล์วเกิดการขยายตัวไม่เท่ากันจากนั้นเมื่อเราต้องการเปิดวาล์ว อุณหภูมิของไหลจะลดต่ำลงลิ้นวาล์ว Flex Wedge จะช่วยให้เราสามารถเปิดวาล์วได้ไม่ติดขัดเพราะลิ้นวาล์วมีความยืดหยุ่นให้ตัวสามารถปรับสภาพรับการขยายตัวของเนื้อโลหะได้ (ดูรูปที่ 3-12) ลิ้นวาล์วชนิดนี้จึงนิยมใช้ในระบบท่อไอน้ำนั้นเอง จากขีดความสามารถของลิ้นวาล์วที่ยังคงสภาพเป็นลิ้นวาล์วชิ้นเดียวแต่สามารถยืดหยุ่น

ให้ตัวได้เล็กน้อยเพื่อปรับตัวเข้ากับ Body Seats ที่อาจเสียรูปทรงซึ่งถือว่าลิ้นวาลึว มีขีดความสามารถทั้งอ่อนทั้งแข็งภายในตัว ยืดได้หดได้ เป็นบุคลิกที่เราคนไทยชอบง้ัยละครับ !! วัสดุที่ใช้เพื่อทำลิ้นวาลว์ชนิดนี้จะไม่ใช้ทองเหลืองหรือเหล็กหล่อ (Cast Iron) แต่ต้องเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรงและเหนียวยืดหยุ่น



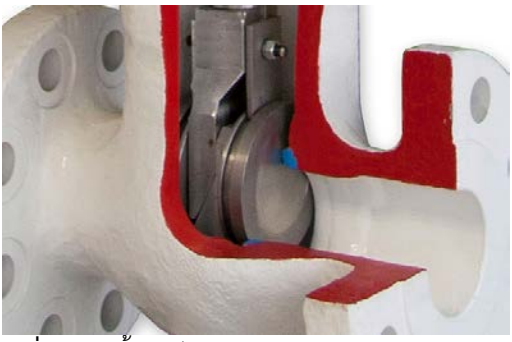
รูปที่ 3-12 วาล์วที่มีลิ้นวาล์วแบบ Flex Wedge,

1.3.3. **ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge หรือ Two-Piece Split** (ดูรูปที่ 3-11) เป็นลิ้นวาล์วที่ประกอบด้วย 2 ชิ้น ออกแบบให้ขบกันโดยให้ลิ้นวาล์วแต่ละชิ้นสามารถเคลื่อนขยับและให้ตัวปรับเปลี่ยนเข้ากับการเคลื่อนตัวของ Body Seats ขณะวาล์วถูกใช้งานเพื่อให้หน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Body Seats ขบกันเรียบสนิทตลอดเวลาเพื่อป้องกันการรั่วซึม พบการใช้ลิ้นวาล์วแบบนี้

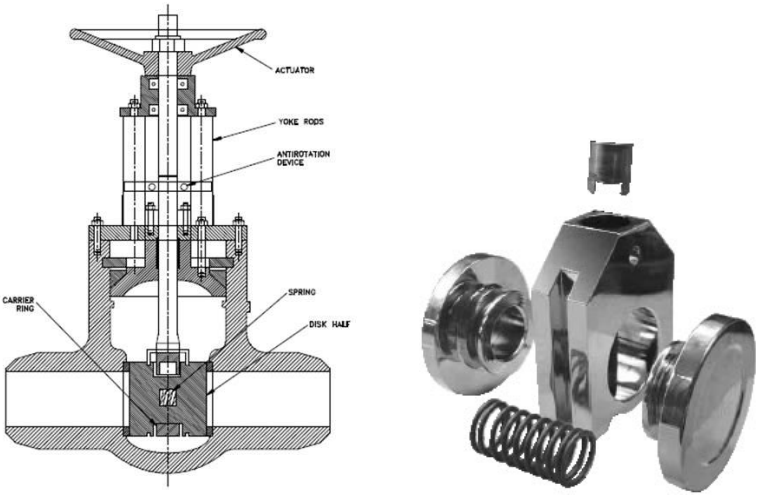
ในวาล์วทองเหลืองขนาดเล็กเมื่อใช้ลิ้นวาล์วแบบ Flex Wedge แล้วลิ้นวาล์วทำงานไม่สมบูรณ์ก็จะถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge แทน นอกจากนี้จะพบการใช้ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge ในวาล์วขนาดใหญ่ทำด้วยวัสดุ Stainless Steel หรือวัสดุราคาแพง หลักคิดอีกอย่างหนึ่งในการนำลิ้นวาล์วแบบนี้มาใช้งานนั่นคือแทนที่เราจะออกแบบให้ตัวเรือนวาล์วมีขนาดหนาเพียงพอต่อการต้านทานการขยายตัวของเนื้อโลหะของวาล์วเนื่องจากอุณหภูมิสูงหรือทนทานต่อการบิดตัวอันเนื่องจากระบบท่อกระทำต่อหน้าแปลนวาล์วจนทำให้ Body Seats เคลื่อนตัวบิดเบี้ยว สลับแนวคิดเปลี่ยนมาใช้ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge แทนเพื่อปรับตัวให้เข้ากับ Body Seats ที่เคลื่อนตัวบิดเบี้ยวแทนพร้อมออกแบบลดความหนาตัวเรือนวาล์วเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต แต่ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge จะไม่เหมาะอย่างยิ่งกับของไหลซึ่งไหลด้วยความเร็วสูงหรือมีความปั่นป่วนสูงภายในท่อเพราะรูปแบบการไหลดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้ลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge ซึ่งประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วนสั่นกระเพื่อมกระแทกซึ่งกันและกันหรือกระแทกเข้ากับ Body Seats สร้างความเสียหายไปถ้วนหน้า และถ้าหากยิ่งเป็นของไหลที่มีอนุภาคแขวนลอยด้วยแล้วเจ้าอนุภาคนี้จะไปสะสมอุดตันบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้นของลิ้นวาล์วอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามด้วยการออกแบบและการผลิตลิ้นวาล์วแบบ Split Wedge เองก็มีความซับซ้อนดังนั้นลิ้นวาล์วแบบนี้จึงมีราคาแพงกว่าลิ้นวาล์ว 2 ชนิดแรกที่กล่าวมาข้างต้น

นอกจากนี้ยังมีลิ้นวาล์วที่แตกต่างจาก 3 แบบหลัก เช่น ลิ้นวาล์วแบบ “Double-Disc” ซึ่งคล้ายกับแบบ Split Wedge คือประกอบด้วย 2 ชิ้นส่วนเช่นกันที่วางตัวในแนวขนานกับแกนก้านวาล์ว เมื่อเริ่มปิดวาล์ว ลิ้นวาล์วจะเคลื่อนตัวลงมาแนบสนิทกับ Body Seats จากนั้นเมื่อหมุนก้านวาล์วต่อลงมาอีกจะมีกลไกแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างลิ้นวาล์วทั้ง 2 ชิ้นเพื่อเพิ่มแรงกดหน้าสัมผัสลิ้นวาล์วกับ Body Seats จนแน่นสนิท (ดูรูปที่ 3-13) หากต้องการเปิดวาล์วกลไกดังกล่าวจะลดแรงกดลงบนลิ้นวาล์วก่อนแล้วจึงค่อยยกตัวลิ้นวาล์วขึ้นออกจากการปิดช่องทางการไหลในตัวเรือนวาล์ว การออกแบบลิ้นวาล์วแบบนี้เพื่อใช้ป้องกันวาล์วติด

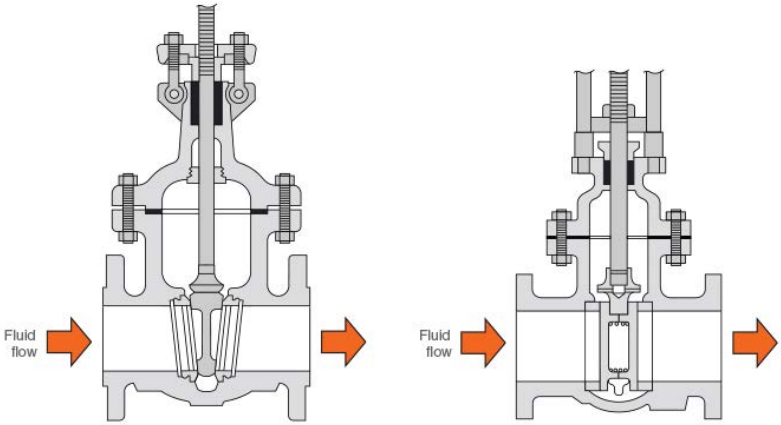
ยึดแน่นกับ Body Seats เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนเนื้อชิ้นงานลิ้นวาล์ว (Thermal Transients) นอกจากจะเรียกลิ้นวาล์วแบบนี้ว่า “Double-Disc” แล้วยังอาจเรียกว่า “Parallel Disk” ก็ได้ และอาจปรับเปลี่ยนกลไกแทรกระหว่างลิ้นวาล์วทั้ง 2 ชิ้นไปใช้สปริงดันลิ้นวาล์วที่ขนานทั้ง 2 ข้างแทนดังในรูปที่ 3-14 นอกจากนี้ยังมีลิ้นวาล์วแบบ “Integrity shutoff Wedge (HIS)” (ดูรูปที่ 3-11) เพื่อใช้ในงานที่ต้องการปิดสนิทจริงๆในระดับ “Zero Leakage” บนทางด้านทางเข้าและด้านทางออกวาล์ว



รูปที่ 3-13 ลิ้นวาล์วแบบ Double-Disc Gate Valve



รูปที่ 3-14 ลิ้นวาล์วแบบ Parallel Disk Gate Valve



รูปที่ 3-15 เปรียบเทียบวาล์วที่มีลิ้นวาล์วแบบ Wedge กับแบบ Parallel

1.4. การใช้งาน Gate Valve ถือเป็นวาล์วที่เราจะพบเห็นบ่อยมากที่สุดในชีวิต เนื่องจากถูกนำไปใช้งานสำหรับการปิด-เปิดของไหลในระบบท่อที่หลากหลายรูปแบบการใช้งาน อีกทั้งมีการใช้งานมาอย่างยาวนาน ด้วยมีข้อดีที่ว่า

- เป็นวาล์วที่มีแรงเสียดทานการไหลต่ำมากเมื่ออยู่ในตำแหน่งเปิดในระบบท่อ
- เข้าถึงได้ง่ายและมีหลากหลายทั้งขนาดตั้งแต่ ½ -30 นิ้ว, ชั้นทนความดันตั้งแต่ Vacuum ถึง 4500 Psi และชนิดวัสดุที่มีทั้งทองเหลือง (Bronze) เหล็กหล่อ (Cast Iron) เหล็กเหนียว (steel) จนถึง โลหะผสม (Alloy)
- ใช้งานกับของไหลได้หลายชนิด ส่วนข้อจำกัดเรื่องอุณหภูมิใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้ผลิตวาล์ว
- เนื่องจากมีผู้ผลิตมากหลายรายทำให้ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับวาล์วชนิดอื่นๆ เช่น Globe Valve เมื่อเปรียบเทียบวาล์วที่ขนาด ชั้นทนความดัน และชนิดวัสดุเดียวกัน เป็นต้น

เมื่อมีข้อดีแล้วก็ต้องมีข้อเสียบางละคราวนี้ Gate Valve มีข้อเสียหลักๆ

- เปรียบเทียบกับวาล์วที่ขนาดเดียวกันและชั้นทนความดันเดียวกัน พบว่า Gate Valve มีขนาดใหญ่กว่าและหนักกว่าวาล์วชนิดอื่นที่ทำหน้าที่ปิด-เปิดเช่นเดียวกัน

- เนื่องจากระยะการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วตั้งแต่เปิดสุดจนปิดสนิทกับ Body Seats มีระยะการเคลื่อนที่มาก ดังนั้นหากหมุนด้วยมือและต้องทำการปิด-เปิดบ่อยงานนี้ Gate Valve จะไม่เหมาะสมทันทีเพราะต้องหมุนมือหมุนวาล์วหลายรอบซิครับ ควรหันไปใช้วาล์วมือหมุนที่หมุนปิด-เปิดวาล์วเพียง 90 องศาแทน

- จากหลักการทำงานของลิ้นวาล์วที่ต้องบดอัดแนบสนิทกับ Body Seats ดังนั้น Gate Valve จึงไม่เหมาะสมกับของไหลสกปรกหรือมีอนุภาคแขวนลอย (Slurries) เพราะอนุภาคแขวนลอยหรือสิ่งสกปรกจะไปตกค้างบริเวณช่องว่างภายในวาล์วแล้วสะสมขวางทางหรือทำให้ลิ้นวาล์วกับ Body Seats ขบบดอัดกันไม่สนิท อาการหนักเบามากน้อยขึ้นอยู่กับแบบของลิ้นวาล์ว โดยเฉพาะลิ้นวาล์วแบบ Split-Wedge อาจหนักหน่อย ผลก็คือ... วาล์วก็รั่วซิครับพี่น้อง

- Gate Valve ไม่เหมาะสมที่ใช้ในลักษณะการทำงานแบบหรี่วาล์วหรือการควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลที่เรียกว่า “Throttling” เพราะอัตราการไหลผ่านวาล์วสูงจะเกิดขึ้นที่ระยะยกก้านวาล์วจากตำแหน่งปิดเพียง 5 – 10% ของระยะยกก้านวาล์วทั้งหมด (ให้ระยะยกก้านวาล์วเปิดทั้งหมดเท่ากับ 100% เต็ม) ทำให้การเปลี่ยนแปลงการไหลของไหลเทียบกับตำแหน่งระยะยกของลิ้นวาล์วมีความสัมพันธ์ที่ชันมากในตอนเริ่มต้นเปิดวาล์จากนั้นความสัมพันธ์ดังกล่าวจะชันน้อยมากเมื่อเปิดวาล์วไปเกือบสุดในวาล์วชนิดนี้ทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วหรือที่เรียกว่า “Valve Flow Characteristic” ในรูปแบบ “Quick Opening” พูดให้เข้าใจง่ายๆ คือ เปิดวาล์วนิดเดียวก็ได้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากนั้นถึงจะเปิดวาล์วไปเรื่อยๆ ก็เพียงทำให้อัตราการไหลผ่านวาล์วเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อย ดังนั้นหากต้องการใช้ Gate Valve ทำหน้าที่ควบคุมการไหลด้วยการหรี่วาล์วทำได้เพียงหรี่วาล์วให้เปิด

เพียงน้อยๆ (ก้านวาลวยกตัวน้อยๆ) ผลที่ตามมาคือลิ้นวาล์วเกิดการสั่น และเกิดการกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) บนหน้า Seat ได้เพราะความเร็วของไหลผ่านช่องเปิดเล็กน้อยจะมีความเร็วสูงมากกว่าปกติ

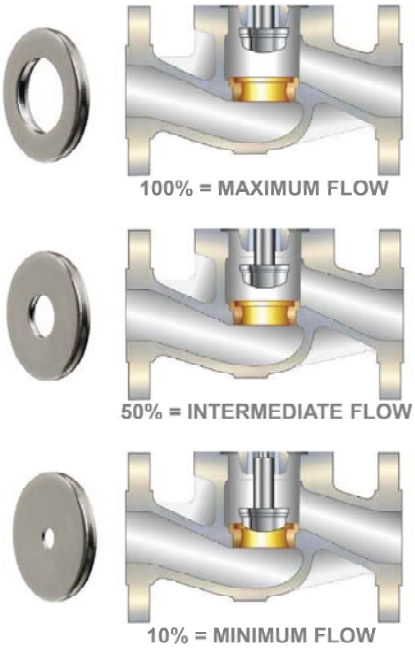
- แนวหรือร่องนำลิ้นวาล์วเพื่อให้ลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ขึ้นลง (Slide) สะดวกอาจสึกกร่อน หรือหลวมส่งผลกระทบต่อความเสียหายของลิ้นวาล์ว ทำให้ตอนใกล้ปิดสนิทต้องใช้แรงมากกว่าปกติ เป็นต้น

2. Globe Valve ตัวเรือนวาล์ว (Body) ถูกออกแบบให้ลิ้นวาล์วหรือ “Flow Control Element” หรือ “Disc” (คราวนี้ไม่เรียกว่า “Wedge”) เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนการไหลของไหล (ซึ่งต่างจาก Gate Valve ที่ลิ้นวาล์วถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของไหล) ส่งผลให้ลิ้นวาล์วสัมผัสและอยู่ในของไหลขณะเคลื่อนที่จนกว่าการปิดวาล์วเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ภายหลังจากลิ้นวาล์วปิดแนบสนิทกับ Seat Ring (คราวนี้เปลี่ยนจากเดิมที่เรียกว่า “Body Seat”) ความดันของไหลด้านทางเข้าก็มีความดันพร้อมจะช่วยในการเปิดวาล์วในครั้งต่อไป สำหรับรูปแบบการปิด-เปิดของลิ้นวาล์วในช่องทางการไหลภายในตัวเรือนวาล์วนั้นจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ช่องเปิดในรูปแบบของวงกลม (Annular Space) คล้ายกับ Venturi โดยพื้นที่เปิดดังกล่าวจะมากน้อยขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์ววาจะเข้าหาหรือออกจาก Seat Ring ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-16 และด้วยรูปแบบควบคุมการปิดเปิดเป็นพื้นที่ช่องทางการไหลรูปวงกลมดังกล่าวนี้เองทำให้ Globe Valve เหมาะสมมากที่สุดในการควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลด้วยการหรี่วาล์วหรือที่เรียกว่า “Throttling” แต่ก็ยังสามารถถูกใช้สำหรับทำหน้าที่เป็นวาล์วปิด-เปิดได้ด้วยเช่นกัน

2.1. การออกแบบตัวเรือน (Body Design) จะมีด้วยกัน 3 รูปแบบหลักๆ คือ

2.1.1. **Z-Body Design** เป็นวาล์วที่ติดตั้ง Seat Ring ในแนวขนานกับพื้นแล้วติดตั้งลิ้นวาล์วและก้านวาล์วเคลื่อนที่ลงมาในแนวตั้งฉากกับ

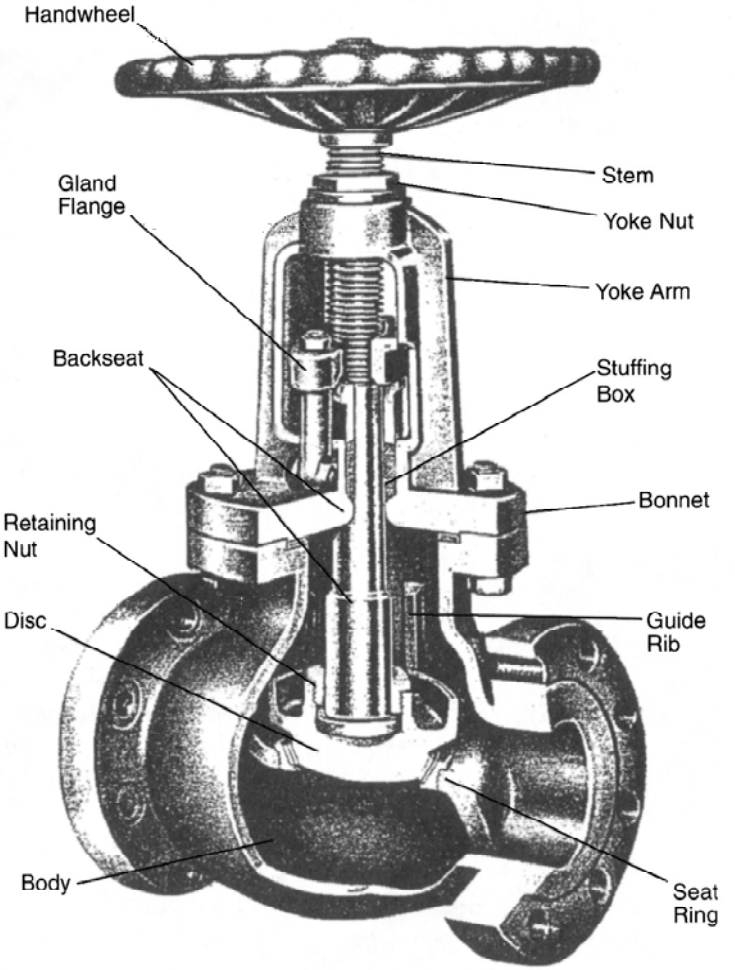
Seat Ring (ดูรูปที่ 3-17) เป็นตัวเรือนวาล์วอยู่ในข่ายที่เราสนใจคือ Z-Body Design และมีรูปแบบการประกอบเข้าด้วยกันระหว่างตัวเรือนวาล์วกับ Bonnet เนื้อหาเช่นเดียวกับที่กล่าวใน Gate Valve หากลืมก็กลับไปอ่านอีกรอบก็แล้วกัน



รูปที่ 3-16 พื้นที่ช่องเปิดในรูปแบบของวงกลม (Annular Space) ของ Globe Valve

2.1.2. **Y-body Design** เป็นการออกแบบตัวเรือนวาล์วเพื่อบรรเทาปัญหาความดันตกคร่อมวาล์วสูง เป็นวาล์วที่ติดตั้ง Seat Ring และลิ้นวาล์ว โดยก้านวาล์วทำมุม 45 องศากับแนวระดับพื้นดิน (ดูรูปที่ 3-18) ทำให้เมื่อเปิดช่องทางการไหลเต็มที่จะได้แนวการเคลื่อนที่ของไหลผ่านวาล์วเกือบเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับ Gate Valve ดังนั้นตัวเรือนวาล์วชนิดนี้จึงเหมาะกับการใช้งานกับของไหลที่มีความดันสูง

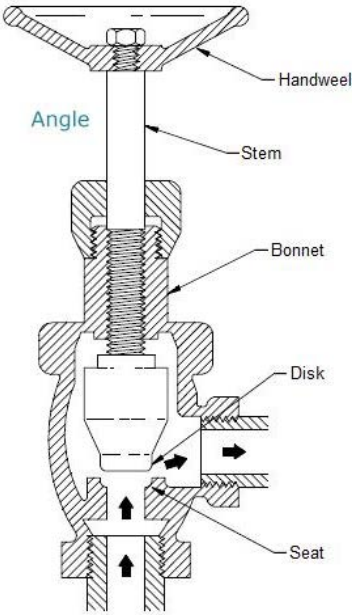
2.1.3. **Angle** Valve Design ข้อดีคือวาล์วทำหน้าที่ทั้งเป็นข้องอในระบบท่อและทำหน้าที่เป็นวาล์วไปพร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-19 ซื้อ 1 แถม 1 ว่างั้ยเถอะ



รูปที่ 3-17 Flanged end, Bolted-Bonnet, Outside-Screw-and-Yoke, Spherical Disc, Globe Valve



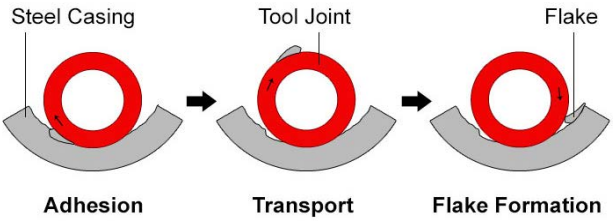
รูปที่ 3-18 Y-Body Design Socketweld End, Bolted-Bonnet, Outside-Screw-and-Yoke, Spherical Disc, Globe Valve



รูปที่ 3-19 Angle Body Design, Globe Valve

2.2. การออกแบบก้านวาล์ว (Stem Design) โดยทั่วไปเราจะพบการออกแบบก้านวาล์ว 2 รูปแบบหลักๆ คือ Inside Screw Rising Stem (ISRS) และ Outside-Screw-and-Yoke (OS&Y) สามารถไปทบทวนเนื้อหาได้เช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในเรื่อง Gate valve เพียงแต่ในกรณีของ Globe Valve นั้น ระยะยกลิ้นวาล์วหรือ “Disc” มีระยะน้อยมากทำให้เราสังเกตระยะยกจากการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วทำได้ยาก ดังนั้นผู้ผลิตบางรายจะใส่ตัวชี้ระยะตำแหน่งปิด-เปิดของลิ้นวาล์ว (Positioner) เข้าไปบนก้านวาล์ว

2.3. การออกแบบลิ้นวาล์ว (Disc Design) ลิ้นวาล์วของวาล์วชนิด Globe Valve จะไม่ถูกติดตั้งตายตัวเข้ากับปลายก้านวาล์ว โดยทั่วไปบริเวณปลายก้านวาล์วดังกล่าวจะทำเป็นหน้าแปลนเล็กๆเพื่อสอดเข้าไปในช่องว่างบริเวณด้านหลังของลิ้นวาล์วแล้วยึดด้วยระบบเกลียวพร้อมแหวนน็อตยึดล็อค ส่งผลให้ตัวลิ้นวาล์วหมุนไปพร้อมกับการหมุนเคลื่อนที่ของก้านวาล์วทำให้ลิ้นวาล์วเคลื่อนเข้าหา Body Seat แล้วค่อยๆนั่งลงบนหน้าสัมผัสของ Body Seat ส่งผลให้ลดการสึกหรอและการยึดติดระหว่างผิวโลหะที่บดอัดเสียดสีกัน (Galling or Seizing) ระหว่างหน้าสัมผัสของงลิ้นวาล์วกับ Body Seat (กลไกการเกิด Galling ดูรูปที่ 3-20) การเลือกชนิดวัสดุที่ใช้ทำลิ้นวาล์วกับ Body Seat ให้มีขีดความสามารถทนต่อ Galling ได้ดีจึงเป็นเรื่องสำคัญ



“Galling” Wear Mechanism

รูปที่ 3-20 กลไกการเกิดยึดติดของโลหะที่เสียดสีบดอัดซึ่งกันและกันจะเกิดขึ้นบริเวณลิ้นวาล์วกับ Body Seat ทำให้เศษโลหะหลุดจากบริเวณผิวหน้าสัมผัส เราเรียกว่า เกิด “Galling”



รูปที่ 3-21 ตัวอย่างการกัดกร่อนเชิงกลบนลิ้นวาล์วของ Globe Valve

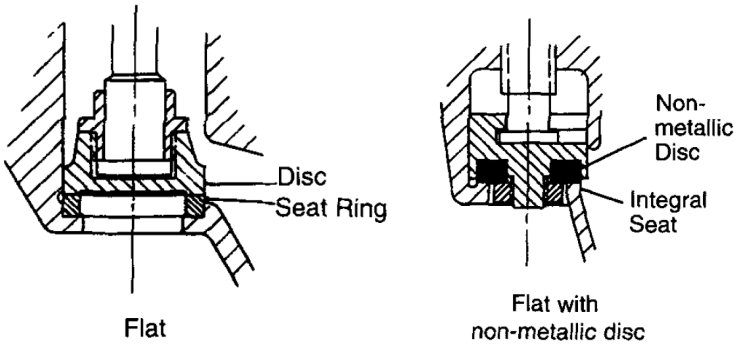


รูปที่ 3-22 ตัวอย่างการเกิด Galling บนก้านวาล์ว

สำหรับการออกแบบลิ้นวาล์วของ Globe Valve มีหลากหลายรูปแบบ (Disc Seating-Surface Geometries) ในที่นี้จะกล่าวถึง

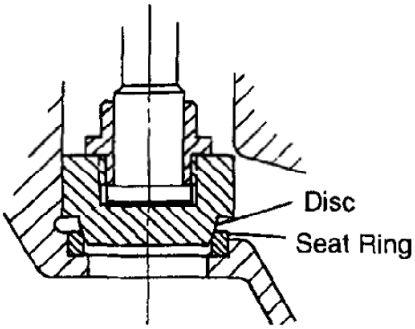
2.3.1. **ลิ้นวาล์วแบบ Flat Seat** เป็นลิ้นวาล์วที่จัดทำขึ้นรูปเสร็จแล้วนำลิ้นวาล์วดังกล่าวมาบด (Lapping) เข้ากับ Body Seat หรือ Seat Ring (ดูรูปที่ 3-23) เพื่อให้ผิวสัมผัสของชิ้นงานทั้งสองขบกันเรียบสนิท จึงไม่ค่อยอ่อนไหวต่อการเยื้องศูนย์ระหว่างแนวกึ่งกลางก้านวาล์วที่ไม่ตรงกับแนวศูนย์กลางของ Seat Ring พูดง่ายๆ ก็คือการขบกันของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring เยื้องศูนย์ได้บางเล็กน้อยไม่มีปัญหาจะด้วยเหตุผลที่ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat

Ring มีมากก็ได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ต้องใช้แรงกดบดอัดระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติด้วยเช่นกันเพื่อให้ผิวสัมผัสทั้ง 2 แนบสนิทจนสามารถป้องกันการรั่วไหลของไหล ข้อเสียอีกอย่างคือเมื่อมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากโอกาสมีสิ่งแปลกปลอมตกค้างอยู่บนผิวหน้าสัมผัสก็ยิ่งมากขึ้นเช่นกันนั่นหมายถึงโอกาสทำให้วาล์วรั่วก็มากยิ่งขึ้นด้วยเช่นกัน วาล์วที่มีลิ้นวาล์วชนิดนี้จึงมักถูกใช้เพื่อทำหน้าที่ปิด-เปิดเป็นหน้าที่หลัก การออกแบบลิ้นวาล์วชนิดนี้นอกจากทำให้การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่ายและรวดเร็วแล้วยังสามารถซ่อมบำรุงรักษาวาล์วได้โดยไม่ต้องถอดวาล์วออกจากระบบท่ออีกด้วย



รูปที่ 3-23 ลิ้นวาล์วแบบ Flat seat

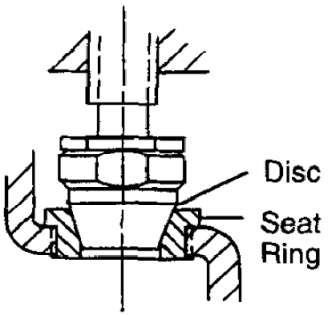
2.3.2. **ลิ้นวาล์วแบบ Spherical Seat** เป็นลิ้นวาล์วที่ขึ้นรูปผลิตได้ยากอีกทั้งไวต่อการเยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring สำหรับผิวสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring เพื่อใช้ในการปิดช่องทางการไหลภายในตัวเรือนวาล์วพบว่าจะอยู่ในรูปของแนวแถบเส้นผิวสัมผัสที่แคบๆ รอบวงของลิ้นวาล์วเท่านั้นเองจึงใช้แรงกดบดอัดระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองสูงไม่มาก (ดูรูปที่ 3-24) แต่ในขณะเดียวกันเมื่อของไหลไหลผ่านช่องแคบๆแถบแนวเส้นผิวสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ซึ่งเป็นแถบรอบวงของลิ้นวาล์วดังกล่าวนั้นโอกาสของไหลสร้างความเสียหายให้กับทั้งลิ้นวาล์และ Seat Ring ของวาล์วจากการกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) จึงมีสูงมากเนื่องจากของไหลวิ่งผ่านช่องแคบดังกล่าวด้วยความเร็วของไหลสูงมากๆ



Spherical

รูปที่ 3-24 ลิ้นวาล์วแบบ Spherical Seat

2.3.3. **ลิ้นวาล์วแบบ Conical Seat** เป็นลิ้นวาล์วที่ขึ้นรูปผลิตได้ง่ายกว่าลิ้นวาล์วแบบ Spherical Seat แต่ยังคงไวต่อการเยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ในขณะที่มีผิวสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring บริเวณแถบผิวสัมผัสแนวเส้นรอบวงของลิ้นวาล์วมีพื้นที่สัมผัสกว้างมากกว่าลิ้นวาล์วแบบ Spherical Seat ดังนั้นจึงต้องการแรงกดบดอัดระหว่างผิวสัมผัสทั้งสองสูงกว่าในการซีลหน้าสัมผัส (ดูรูปที่ 3-25) แต่เมื่อมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าโอกาสมีสิ่งแปลกปลอมตกค้างอยู่บนผิวหน้าสัมผัสทั้งสองจึงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และยิ่งทำให้วาล์วมีโอกาสรั่วมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับลิ้นวาล์วแบบ Spherical Seat



Conical

รูปที่ 3-25 ลิ้นวาล์วแบบ Conical Seat

2.4. ตัวนำร่องการเคลื่อนที่หรือตัวประคองลิ้นวาล์ว ในกรณี Globe Valve มีขนาดใหญ่และใช้งานที่ความดันของไหลสูง การออกแบบให้มีตัวนำร่องการเคลื่อนที่หรือตัวประคองลิ้นวาล์วเป็นเรื่องจำเป็น ตัวอย่างเช่น

2.4.1. **Guided Plug Method** หรืออาจเรียกว่า .**Cage Guided Valve** ตัวประคองลิ้นวาล์วแบบนี้จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงฝังไว้ภายในตัวเรือนวาล์วหรือเรียกว่า “Cage” หรือ กรง (ดูรูปที่ 3-26) โดยให้ลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ขึ้นลงในรูปทรงกระบอกดังกล่าว ดังในรูปที่ 3-27 ในวาล์วบางยี่ห้ออาจเจาะลิ้นวาล์วพร้อมติดตั้งเข้าไปใน Cage และตัวลดเสียงอันเนื่องจากของไหลที่ความดันสูงไหลผ่านช่องทางการไหล (Port) ภายในตัวเรือนวาล์วด้วยความเร็วที่สูงมากก่อให้เกิดเสียงดัง



รูปที่ 3-26 ตัวอย่าง Cage Guided Valve ของ Globe Valve

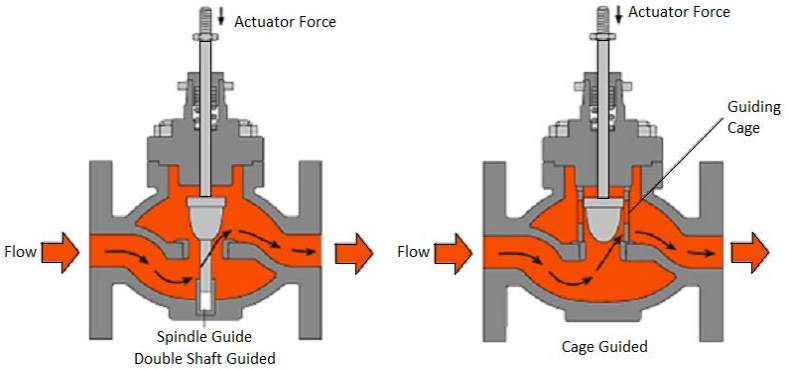


รูปที่ 3-27 ตัวอย่างการประคองลิ้นวาล์ว (Cage) ที่ใช้งานภายใต้ความดันสูง

2.4.2. **Double Guided Method** ออกแบบให้มีแกนนำร่องการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วโดยติดตั้งแกนนำร่องดังกล่าวเข้ากับด้านหน้าลิ้นวาล์วให้ยาวลงไปจรดช่องบริเวณก้นตัวเรือนวาล์ว ซึ่งเรียกแกนนำร่องดังกล่าวว่า “Spindle Guide” ดังในรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-28 ตัวอย่างการประคองลิ้นวาล์ว (Spindle Guide)



รูปที่ 3-29 การออกแบบการประคองลิ้นวาล์วที่ใช้งานที่ความดันสูง

2.5. การใช้งาน Globe Valve ถือเป็นวาล์วที่ได้รับความนิยมมากในการใช้งานอย่างกว้างขวางด้วยมีข้อดีกว่าวาล์วชนิดอื่น เช่น

- การเปลี่ยนแปลงการไหลของไหลเทียบกับตำแหน่งระยะยกของลิ้นวาล์วมีความสัมพันธ์เกือบเป็นเชิงเส้นตรงในวาล์วชนิดนี้ ดังนั้นทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วหรือที่เรียกว่า “Valve Flow Characteristic” ในรูปแบบเชิงเส้นตรง (Linear) เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ลิ้นวาล์วอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของระยะยกทั้งหมดทำให้อัตราการไหลของไหลผ่านวาล์วมีค่าประมาณ 50 % ของการไหลเมื่อลิ้นวาล์วเคลื่อนที่เปิดเต็มที่ ด้วยคุณสมบัติที่ดีเด่นในเรื่องการหรี่วาล์ว (Throttling) ของ Globe Valve จึงเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในงานควบคุมกระบวนการทำงานหนึ่งๆ ในฐานะวาล์วควบคุมการไหล

- มีให้เลือกหลากหลายทั้งขนาดตั้งแต่ 1/8 -30 นิ้ว, ทั้งชั้นทนความดันตั้งแต่ Vacuum ถึง 4500 Psi และชนิดวัสดุหลากหลายตั้งแต่ทองเหลือง (Bronze) เหล็กหล่อ (Cast Iron) เหล็กเหนียว (steel) จนถึงโลหะผสมต้านการกัดกร่อน (Corrosion-resistant Alloy)

- สามารถใช้งานได้กับของไหลสะอาดที่อยู่ในรูปของเหลว ก๊าซ หรือไอ โดยข้อจำกัดด้านอุณหภูมิใช้งานขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผลิตวาล์วเป็นปัจจัยหลัก ไม่เหมาะกับการใช้งานของไหลที่สกปรก หรือพวกแขวนลอย “Slurries” เพราะจะมีการสะสมสิ่งสกปรกภายในตัววาล์วก่อให้เกิดการอุดตันได้

- โดยปกติแล้วหน้าที่หลักๆ ของ Globe Valve จะใช้ในงานควบคุมปริมาณการไหลด้วยการหรี่วาล์วเพื่อควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหล (Throttling) แต่ยังสามารถใช้ในงานปิด-เปิดได้ด้วยในกรณีที่ต้องการปิด-เปิดบ่อย ทั้งนี้เพราะ Globe Valve มีช่วงระยะเคลื่อนที่ไม่มากในการปิดเปิดวาล์ว

- สำหรับข้อเสียของ Globe Valve คือ มีความดันตกคร่อมวาล์วหรือความดันสูญเสียสูงเมื่อถูกติดตั้งเข้าระบบท่อเนื่องจากช่องทางการไหลเปลี่ยนทิศทางเป็นรูปตัว “Z” โดยเฉพาะในวาล์วขนาดใหญ่ที่มีความดันสูง, ผลกระทบจากพลศาสตร์ของไหลจากการไหลเป็นจังหวะ (Pulsations), การไหลตกกระทบบนตัวเรือนวาล์ว (Impacts) และความดันสูญเสีย (Pressure Loss) เหตุการณ์

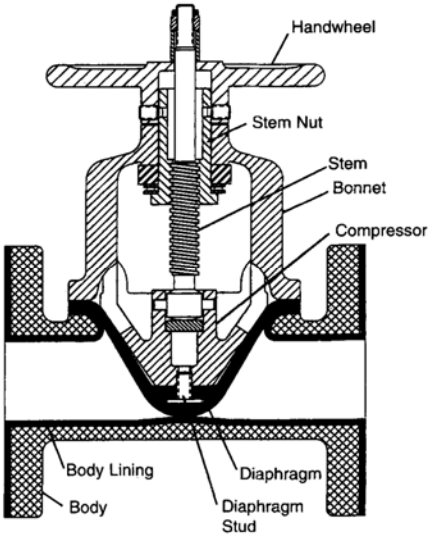
ดังกล่าวล้วนสามารถทำความเสียหายให้กับ Seat Ring, Stem Packing และหัวขับวาล์ว (Actuator) อีกทั้งต้องการแรงบิดก้านวาล์วสูงมากในวาล์วที่มีขนาดใหญ่

- สำหรับการติดตั้งวาล์วชนิดนี้จะติดตั้งให้ของไหลเข้าตัวเรือนวาล์วในช่องทางด้านใต้ลิ้นวาล์วเสียเป็นส่วนใหญ่ทำให้ความดันของไหลกระทำทางด้านใต้ของลิ้นวาล์วดังนั้นเพื่อป้องกัน Packing ของก้านวาล์วและป้องกันการกัดกร่อน เราจะเห็นเครื่องหมายแสดงทิศทางการติดตั้งวาล์วบนตัวเรือนวาล์ว แต่ในกรณีใช้งานกับของไหลที่มีอุณหภูมิสูงๆ เช่น ไอน้ำ การติดตั้ง Globe Valve กลับต้องให้ของไหลเข้าตัวเรือนวาล์วในทางด้านบนของลิ้นวาล์ว (Disk) ไม่เช่นนั้นก้านวาล์วจะมีการหดตัวเมื่อเย็นลงและสร้างแนวโน้มให้เกิดการยกตัวลิ้นวาล์วจาก Seat Ring ได้เอง

นอกจากนี้เราจะพบอีกรูปแบบหนึ่งของ Globe Valve ที่เรียกว่า “Needle Valve” โดยเฉพาะในงานที่มีพื้นที่แคบและในระบบควบคุมไฮดรอริค Needle Valve มีขนาดขนาดตั้งแต่ 1/8 -1 นิ้ว, ในกรณีวาล์วทำด้วยทองเหลือง (Bronze) สามารถทนความดันได้ถึง 400 Psi ส่วนวาล์วที่ทำด้วยเหล็กเหนียว (Steel) สามารถทนความดันได้ถึง 5,000 Psi

3. Diaphragm Valve การออกแบบลิ้นวาล์ว หรือ “Flow Control Element” หรือ “Diaphragm” (คราวนี้ไม่เรียกว่า “Wedge” หรือ “Disc” เค้าเปลี่ยนไปอีกแล้วละ) มีลักษณะยืดหยุ่นให้ตัว โดยตัว Diaphragm ถูกติดตั้งไปในแนวเดียวกับการไหลของไหลโดยของไหลจะไหลผ่านไปในระหว่าง Diaphragm ซึ่งเสมือนท่ออ่อนๆซ้อนตัวอยู่ภายในช่องทางการไหลของวาล์ว จากนั้น Diaphragm จะยืดตัวไปขวางทางการไหลของของไหลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล เช่นเดียวกับ Gate Valve การปิดวาล์วเกิดขึ้นเมื่อ Diaphragm จากด้านตรงข้ามบีบกดอัดซึ่งกันและกันจนของไหลไหลผ่านต่อไปไม่ได้ เรียกวาล์วลักษณะนี้ว่า “Straight-Through Diaphragm Valve” (ดูรูปที่ 3-30)

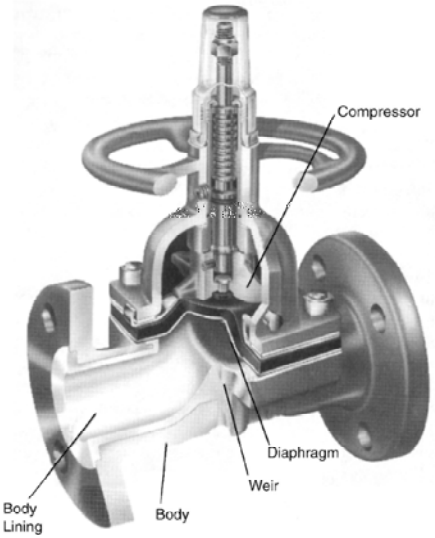
โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำ Diaphragm จะเป็นวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ในขั้นตอนผลิต Diaphragm จะขึ้นรูปให้เสมือนกับตอน Diaphragm ภายตัวเรือนวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิดเพื่อไม่ให้ Diaphragm อยู่ในสภาพยืดตัวมากเกินไปเมื่อทำงานจริง ในขั้นตอนเปิดวาล์วจะทำให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่ยกตัวดึง Diaphragm ขึ้นไปเก็บไว้ภายในโพรงของ Bonnet ในขณะลิ้นวาล์ว Diaphragm ทำหน้าที่อยู่นั้นเนื่องจาก Diaphragm มีความยืดหยุ่นตัวจึงต้องมีตัวประคองที่เรียกว่า “Compressor” ช่วยรักษารูปทรงของ Diaphragm รวมทั้งรองรับความดันของไหลขณะปิด-เปิดวาล์ว Diaphragm นอกจากทำหน้าที่ลิ้นวาล์วแล้วมันยังทำหน้าที่ซีลระหว่างของไหลในช่องทางการไหลกับ Bonnet เพื่อป้องกันของไหลรั่วไหลออกจากตัวเรือนวาล์วอีกด้วย



รูปที่ 3-30 ส่วนประกอบหลักๆ ของ Straight-Through Diaphragm Valve

ข้อจำกัดของวาล์วชนิดนี้จึงขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำ Diaphragm ว่าทนทานต่อการกัดกร่อนทางเคมีและทางเชิงกลจากชนิดของไหลและอุณหภูมิของไหลได้มากน้อยเพียงใด วัสดุที่ใช้ทำ Diaphragm ทั่วไปจะเป็นจำพวกยางธรรมชาติและพวก Elastomers (ยางสังเคราะห์ หรือ “Synthetic

Rubbers") เช่น Hypalon®, Neoprene เป็นต้น เรามักจะพบว่านิยมใช้ Diaphragm Valve กับของไหลจำพวกสารเคมีที่มีความเป็นกรดด่างสูงดังนั้นจึงมีหลักการทั่วไปว่า ยิ่ง Diaphragm ทนทานการกัดกร่อนจากสารเคมีได้สูง Diaphragm ยิ่งมีความยืดหยุ่นต่ำ ความสามารถในการยืดตัวปิดช่องทางการไหลต่ำ ในทางกลับกัน ยิ่ง Diaphragm ทนทานการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ต่ำ Diaphragm ยิ่งมีความยืดหยุ่นสูง ความสามารถในการยืดตัวปิดช่องทางการไหลสูง ปิดวาล์วได้สนิทนั่นเอง



รูปที่ 3-31 ส่วนประกอบหลักๆ ของ Weir Diaphragm Valve

จากจุดอ่อนของ Straight-through Diaphragm Valve ผู้ผลิตวาล์วจึงคิดค้นวาล์วที่มีหลักการทำงานใหม่เพื่อแก้ไขจุดอ่อนดังกล่าว ด้วยการออกแบบ Diaphragm Valve ใหม่เรียกว่า "Weir Diaphragm Valve" (ดูรูปที่ 3-31) โดยออกแบบให้หล่อโลหะทำเป็นสันเขื่อนภายในตัวเรือนวาล์วส่งผลให้เราใช้ Diaphragm ขนาดเล็กลงและทำให้การเคลื่อนที่ Diaphragm ระหว่างตำแหน่งปิด-เปิดสั้นลงด้วย ดังนั้นความจำเป็นที่ต้องการวัสดุที่ใช้ทำ Diaphragm ให้มีความยืดหยุ่นสูงๆ จึงลดน้อยลงไปเพื่อให้ยังคงสามารถทำหน้าที่ปิดวาล์วได้สนิทตามที่

ต้องการ ส่งผลทำให้ลดข้อจำกัดในการเลือกใช้วัสดุทำ Diaphragm โดยสามารถเลือกใช้วัสดุได้หลากหลายชนิด



ก. Straight-through Diaphragm

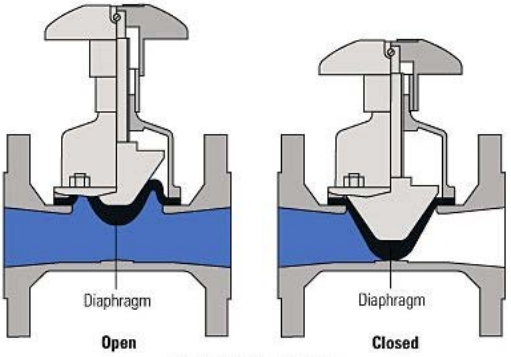


ข. Weir Diaphragm

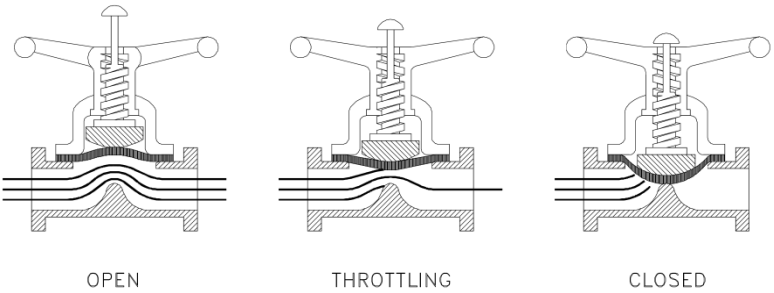
รูปที่ 3-32 ตัวอย่าง Diaphragm - Straight-through & Weir Diaphragm Valve

Diaphragm Valve มีให้เลือกใช้หลายขนาดและหลายชนิดวัสดุ ทั้งใช้งานทั่วไปและใช้กับสารเคมีที่มีความกัดกร่อนสูง รวมทั้งของไหลที่ไม่ต้องการปนเปื้อนสูง เช่น ในวงการผลิตยา เครื่องดื่มและอาหาร เป็นต้น ประกอบกับ Diaphragm Valve ถูกออกแบบให้ใช้ชิ้นส่วนจำนวนน้อยทำให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษา แต่ข้อเสียคือตัววัสดุที่ใช้ทำลิ้นวาล์ว Diaphragm ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดของวาล์วชนิดนี้เป็นปัจจัยสำคัญหลักที่ต้องพิจารณา เราไม่สามารถใช้ Diaphragm Valve กับงานของไหลในระบบท่อที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ดังนั้นโดยทั่วไป Diaphragm Valve ทนความดันได้สูงสุดไม่เกิน 200 Psi และอุณหภูมิ

สูงสุด 300 °F สำหรับวัสดุพวก Elastomer หรือไม่เกิน 400 °F สำหรับวัสดุพวกพลาสติก เช่น Viton ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนของของไหลพวกสารเคมีได้ ส่วนขนาด Diaphragm Valve โดยทั่วไปอยู่ในช่วง ½ - 12 นิ้ว



ก. Straight-through Diaphragm Valve



ข. Weir Diaphragm Valve

รูปที่ 3-33 ขั้นตอนการทำงาน Straight-through & Weir Diaphragm Valve

เมื่อใช้ Weir Diaphragm Valve ทำหน้าที่เป็นวาล์วหรี่ควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหล (Throttling) จะมี Flow Characteristic อยู่ระหว่าง “Linear” กับ “Quick-Opening” โดยในช่วงก้านวาล์วเคลื่อนที่ยกเปิดถึงระยะเคลื่อนที่ 50% จากระยะเคลื่อนที่ของก้านวาล์วทั้งหมดจะเป็น Linear และให้การไหลสูงสุดเท่ากับ 70% ของการไหลเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่ 100% แต่เมื่อหลังจาก

ก้านวาล์วเคลื่อนที่ยกเปิดถึงระยะเคลื่อนที่เกิน 50% ขึ้นไปการไหลเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อยมากเข้าสู่โหมด Quick-opening ดังนั้นหากต้องการใช้ Weir Diaphragm Valve ทำหน้าที่เป็นวาล์วหรี่ (Throttling) จึงควรเลือกขนาดให้ช่วงอัตราการไหลที่ต้องการควบคุมไม่เกินช่วงก้านวาล์วยกเปิดระดับถึง 50% (ให้การไหลสูงสุดเท่ากับ 70% ของการไหลเมื่อเปิดวาล์วเต็มที่ 100% และมี Flow Characteristic เป็น Linear)

4. Pinch หรือ Clamp Valve (ดูรูปที่ 3-34) เป็นการออกแบบวาล์วที่ง่ายที่สุดเพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลในท่อยางหรือวัสดุสังเคราะห์ยาง เป็นวาล์วในอุดมคติสำหรับงานที่ใช้กับของไหลที่ไม่สะอาด (Slurries) ของไหลที่มีอนุภาคของแข็งผสมอยู่หรือระบบท่อส่งจ่ายของแข็งด้วยความดันลม เช่น เนื้อปูนซิเมนต์ผง เป็นต้น เพราะกลไกการควบคุมการปิดเปิดไม่ต้องสัมผัสกับของไหลดังกล่าวขณะทำงาน ทำให้ลดปัญหาเรื่องการทำปฏิกริยาทางเคมีกัดกร่อนหรือการกัดกร่อนเชิงกลกับชิ้นส่วนดังกล่าว ใช้กับงานที่มีอุณหภูมิและความดันไม่สูงมากนัก ไม่ขอลงรายละเอียดเพราะอยู่นอกเรดาร์ความสนใจเราในตอนนี้นะครับ

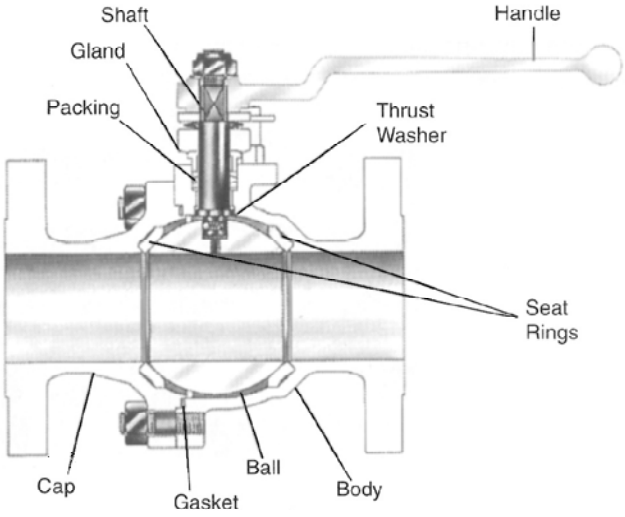


รูปที่ 3-34 Pinch or Clamp Valve

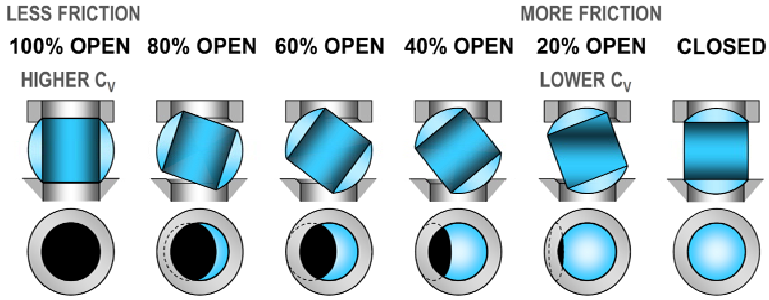
การแบ่งชนิดของวาล์วกลุ่มลิ้นวาล์วเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotary Motion)

1. Ball Valve ลิ้นวาล์ว หรือ Flow Control Element ซึ่งมีลักษณะเป็นลูกบอลทรงกลมเจาะรูตรงกลางแล้วนำไปติดตั้งภายในตัวเรือนวาล์ว ในการ

ทำงานเพื่อเปิดวาล์ว ทำโดยหมุนลิ้นวาล์วรอบแกนของมันซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหลจนกระทั่งรูที่เจาะตรงกลางของลูกบอลทรงกลมอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางการไหลผ่านช่องทางการไหลของวาล์ว (ดูรูปที่ 3-35) ดังนั้นตัวลูกบอลทรงกลมจะอยู่ขวางทางการไหลและสัมผัสกับของไหลตลอดเวลาขณะวาล์วทำงาน วาล์วจะอยู่ในตำแหน่งเปิดสุดเมื่อเปิดรูที่เจาะในลูกบอลทรงกลมได้แนวตรงกับช่องการไหล (Port) ของวาล์ว (ดูรูปที่ 3-36)



รูปที่ 3-35 ส่วนประกอบหลักๆ ของ Ball Valve

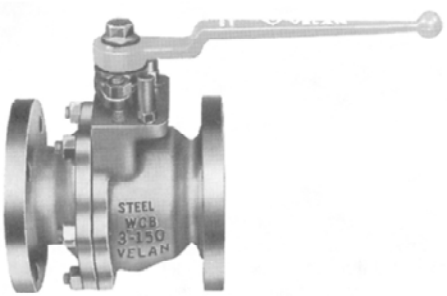


รูปที่ 3-36 รูปแบบการเปิดของลิ้นวาล์วของ Ball Valve

ด้วยความเป็นสมมาตรของลูกบอลทรงกลมนี้เองทำให้การติดตั้ง Ball Valve จึงไม่ต้องระบุทิศทางการติดตั้งสามารถใช้เป็นทางเข้าออกได้ทั้ง 2 ทาง ด้วยรูปแบบของ Ball Valve ทำให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เป็นวาล์วปิด-เปิด (Starting and Stopping Flow) และใช้เป็นวาล์วทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลในระบบท่อได้ด้วย การออกแบบ Ball Valve ที่ต้องพิจารณา

1.1. Body Construction การออกแบบตัวเรือนวาล์วให้เป็นรูปแบบใด ปัจจัยที่มีผลชี้ขาดคือผู้ออกแบบต้องการนำลูกบอลทรงกลมซึ่งทำหน้าที่ลิ้นวาล์วเข้าไปในตัวเรือนวาล์วอย่างไร เราจึงมาพิจารณา

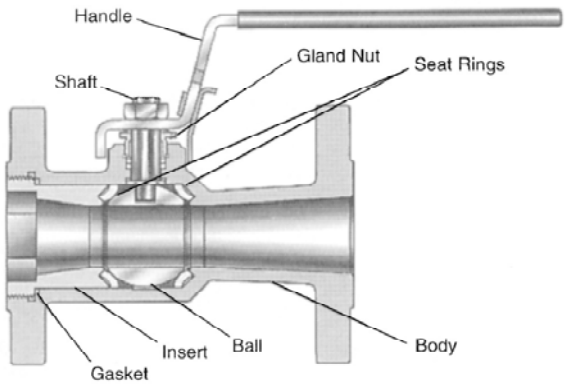
1.1.1. **Split Body** ตัวเรือนวาล์วจะประกอบด้วย 2 ชิ้น ชิ้นส่วนหลักเรียกว่า “Body” อีกชิ้นส่วนหนึ่งเรียกว่า “Cap” (ดูรูปที่ 3-37) เริ่มด้วยติดตั้ง Seat Ring หรือ Body Seat, แกนหมุนวาล์ว และตัวลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลมให้อยู่ในฝั่งตัวเรือนที่เรียกว่า Body และติดตั้ง Seat Ring ของลิ้นวาล์วอีกชิ้นหนึ่งให้อยู่ในฝั่งตัวเรือนที่เรียกว่า Cap จากนั้นนำ Body กับ Cap มาประกอบเข้าด้วยกันด้วยหน้าแปลนพร้อมซีลกันรั่วออกภายนอกตัวเรือนวาล์ว ในกรณีวาล์วขนาดเล็กการประกอบ Body กับ Cap เข้าด้วยกันอาจใช้ระบบเกลียวก็ได้ การออกแบบตัวเรือนวาล์วแบบนี้จึงมีแนวโน้มการรั่วของไหลออกนอกตัวเรือนวาล์วได้สูงในบริเวณรอยประกบต่อ Body กับ Cap



รูปที่ 3-37 Split Body Design ของ Ball Valve, ขนาด 3นิ้ว, Class 150, วัสดุตัวเรือนวาล์วทำด้วยเหล็กหล่อเกรด WCB, ผู้ผลิต VELAN

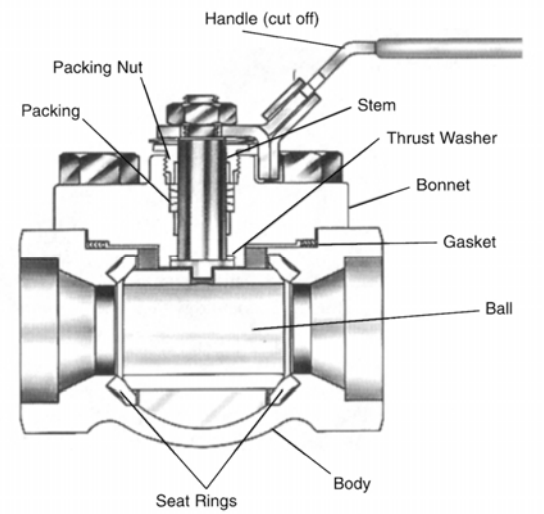
การออกแบบตัวเรือนวาล์วชนิดนี้ขนาดตั้งแต่ ½ - 36 นิ้ว โดยมีรูปแบบการติดตั้งวาล์วเข้าในระบบท่อขึ้นอยู่กับขนาด สำหรับวาล์วขนาดใหญ่จะออกแบบด้านปลายตัวเรือนวาล์วทั้งสองเป็นหน้าแปลนและสำหรับวาล์วขนาดเล็ก ½ - 2 นิ้วด้านปลายตัวเรือนวาล์วจะเป็นเกลียว

1.1.2. **End Entry** (ดูรูปที่ 3-38) การออกแบบตัวเรือนวาล์วแบบนี้จะคล้ายกับแบบ Split Body เพียงแต่ตัวเรือนวาล์วมีเพียงชิ้นเดียว การติดตั้งลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลมจึงถูกติดตั้งเข้าตัวเรือนวาล์วทางปลายด้านใดด้านหนึ่งจากนั้นใช้ชุดที่เรียกว่า “Insert” ยันตัวลิ้นวาล์วให้อยู่ภายในตัวเรือนวาล์ว ในขณะที่ตัว Insert เองจะถูกขันเกลียวยึดติดกับตัวเรือนวาล์วอีกทีหนึ่ง การปรับระยะหรือแรงกดบนลิ้นวาล์วจึงขึ้นอยู่กับระยะเกลียวที่ขันกวดอัดของตัว Insert พบการออกแบบตัวเรือนวาล์วแบบนี้ในวาล์วขนาด ½ - 6 นิ้วด้วยรูปแบบการเชื่อมต่อระบบท่อของด้านปลายวาล์วทั้งสองเป็นแบบหน้าแปลนและจะเป็นแบบเกลียวในวาล์วที่มีขนาดเล็กลงขนาด ½ - 2 นิ้ว



รูปที่ 3-38 End Entry Design ของ Ball Valve

1.1.3. **Top Entry** (ดูรูปที่ 3-39) การออกแบบตัวเรือนวาล์วแบบนี้จะใส่ลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลมจากทางด้านบนของตัวเรือนวาล์ว จากนั้นติดตั้งหน้าแปลนประกบเข้ากับตัวเรือนวาล์วเพื่อป้องกันการรั่วไหลออกจาก



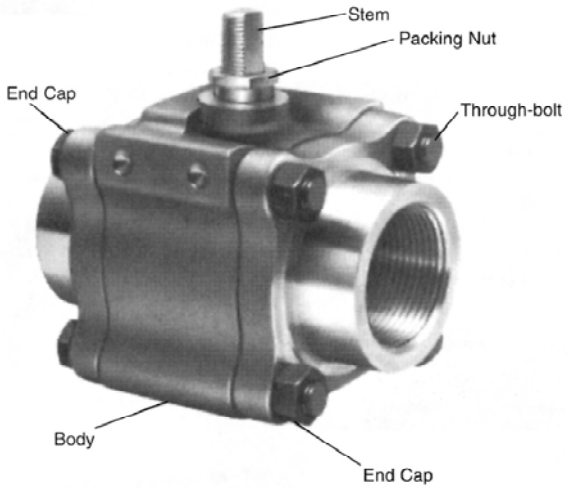


รูปที่ 3-39 Top Entry Design ของ Ball Valve

ตัวเรือนวาล์ว การออกแบบด้วยวิธีนี้มีข้อดีในเรื่องง่ายต่อการซ่อมบำรุงโดยไม่ต้องถอดวาล์วออกจากระบบท่อ ดังนั้นในกรณีต้องติดตั้งวาล์วเข้ากับระบบท่อด้วยวิธีการเชื่อมปลายวาล์วทั้ง 2 ด้าน ก็สามารถทำการเชื่อมโลหะเฉพาะตัวเรือนวาล์วเข้ากับระบบท่อให้เสร็จสิ้นจากนั้นจึงค่อยติดตั้งลิ้นวาล์วทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับซีลหรือปะเก็นหรือชิ้นส่วนภายในตัววาล์วอันเนื่องจากความร้อนจากการเชื่อมโลหะ ส่วน Thrust washer ที่ถูกติดตั้งเข้ากับแกนวาล์วพร้อมระบบซีลรอบแกนวาล์วก็เพื่อป้องกันความดันของไหลดันลิ้นวาล์วลูกบอลแล้วส่ง

ความดันต่อไปดีดแกนวาล์วให้หลุดออกไป การออกแบบวาล์วแบบ Top Entry มีขนาดใหญ่ไม่เกิน 24 นิ้วแต่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะพบเห็นมีขนาดไม่เกิน 4 นิ้ว ด้วยการออกแบบนี้จึงทำให้มีรูปแบบการเชื่อมต่อระบบท่อของด้านปลายวาล์วทั้งสองเป็นได้ทั้งหน้าแปลน (Flange), เกลียว (Thread), Socket-Weld และ Butt-Weld

1.1.4. **3-Piece** ตัวเรือนวาล์วถูกออกแบบให้สามารถแยกออกเป็น 3 ชิ้น ประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวเรือนเรียกว่า “Body” 1 ชิ้น และส่วนปิดหัวปิดท้ายตัวเรือน 2 ชิ้น เรียกว่า “Cap” การประกอบเข้าด้วยกันใช้วิธี Bolts & Nuts รอยทะลุทั้ง 3 ชิ้น (ดูรูปที่ 3-40) ในกรณีที่วาล์วมีขนาดใหญ่จะเปลี่ยนจาก Bolts เป็น Studs แทนพร้อมติดตั้งซีลกันรั่วตามแนวประกบตัวเรือนทั้ง 3 ชิ้นเข้าด้วยกัน ข้อดีสำหรับการออกแบบนี้คือเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการติดตั้งวาล์วด้วยการเชื่อมโลหะ อีกทั้งสะดวกต่อการซ่อมบำรุง สำหรับข้อเสียก็คงไม่พ้นรอยรั่วตามแนวประกอบของตัวเรือนวาล์วนั่นเอง พบตัวเรือนวาล์วแบบนี้ได้ในวาล์วที่มีขนาดตั้งแต่ ½ - 36 นิ้วด้วยรูปแบบการประกอบเข้ากับระบบท่อของด้านปลายวาล์วทั้งสองเป็นได้ทั้งหน้าแปลน (Flange), เกลียว (Thread), Socket-Weld และ Butt-Weld



รูปที่ 3-40 ชนิด 3-Piece Design ของ Ball Valve

ชั่งตวงวัดเราชอบใช้วาล์วประเภทนี้กับท่อทางเข้า-ออกถังตวงโลหะแบบมาตราแต่วาล์วจะมีขนาดใหญ่ไม่เกินกว่า 1½ นิ้ว (ดูเหมือนผู้ผลิตวาล์วจะผลิตวาล์ว 3-Piece Ball Valve ใหญ่สุดเท่านี้สำหรับ Calss 150) ปลายตัวเรือนวาล์วเป็นแบบเกลียว

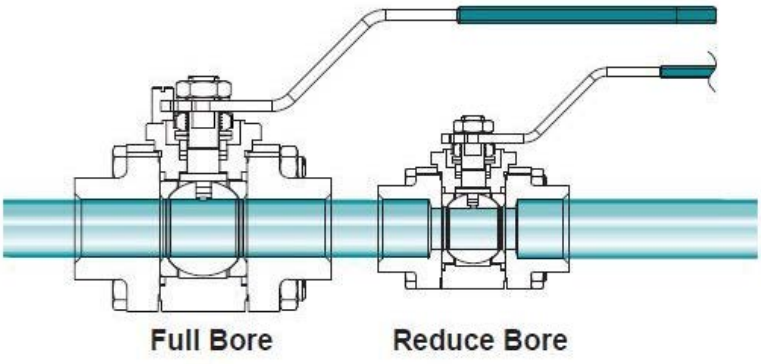
1.2. การออกแบบลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลม (Ball Design) การออกแบบลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลมมี 2 หลักการใหญ่ๆ คือ

1.2.1. **ขนาดช่องทางการไหล (Port Size)** ของลิ้นวาล์วสามารถแบ่งย่อยได้ 3 รูปแบบคือ

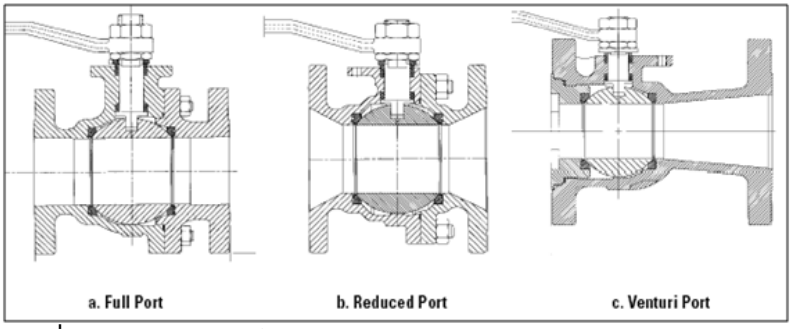
1.2.1.1. **Full Port** มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางการไหลเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วและมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในระบบท่อที่มีขนาดและชั้นทนความดันเท่ากันทำให้มีความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของไหลไหลผ่านช่องทางการไหลมีค่าต่ำมาก (ดูรูปที่ 3-41 ซ้ายมือ) แต่มีปัญหาในการจัดสร้างและใช้กับตัวเรือนวาล์วทุกชนิดไม่ได้ ในขณะเดียวกันทำให้วาล์วที่มีลิ้นวาล์วแบบ Full Port มีขนาดใหญ่มากและมีระยะหัวท้ายวาล์วยาวมากเมื่อเทียบกับลิ้นวาล์วชนิดอื่น ช่องทางการไหลแบบ Full Port เหมาะสำหรับการใช้ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการทำถังตวงโลหะแบบมาตราเพราะไม่มีแอ่งเว้าให้ของไหลค้างหลงเหลืออยู่ภายในวาล์วทำให้ไม่มีของไหลสะสมอยู่ในแต่ละครั้งซึ่งอาจไม่เท่ากันในแต่ละครั้งส่งผลให้ผลการสอบเทียบไม่น่าเชื่อถือ

1.2.1.2. **Regular Port (Standard Port)** มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางการไหลเล็กกว่าแบบ Full Port อยู่ในช่วงประมาณ 75-90% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Full Port เพื่อแลกมาซึ่งขนาดและน้ำหนักวาล์วที่ลดลง โดยเฉพาะระยะหัวท้ายวาล์วที่ลดลงส่งผลให้สามารถติดตั้งทดแทนกับ Gate Valve ที่มีขนาดเท่ากันได้

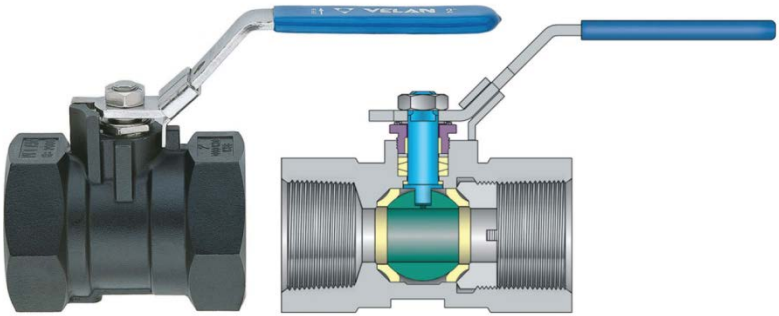
1.2.1.3. **Reduced Port** มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางการไหลเล็กกว่าแบบ Full Port อยู่ในช่วงประมาณ 60% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบ Full Port พบในวาล์วขนาดเล็ก (ดูรูปที่ 3-41 ขวามือ และ รูปที่ 3-43) และมีระยะติดตั้งในระบบท่อจำกัด



รูปที่ 3-41 เปรียบเทียบขนาดช่องทางการไหล Full Port กับ Reduced Port



รูปที่ 3-42 ช่องทางการไหล Full Port, Reduced Port และ Venturi Port



รูปที่ 3-43 One-piece Reduced Port

1.2.1.4. **V-Port** มีช่องทางการไหลในลิ้นวาล์วเป็นรูปตัว “V” (ดูรูปที่ 3-44 และรูปที่ 3-45) เพื่อใช้ในวาล์วควบคุมอัตราการไหล วาล์วตัวนี้น่าสนใจมากทีเดียว



รูปที่ 3-44 V-Port ของลิ้นวาล์วของ Ball Valve

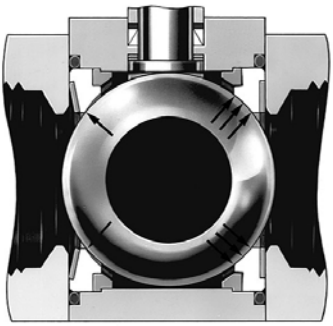


รูปที่ 3-45 V-Port Ball Valve

1.2.2. **ลักษณะการยึดจับลิ้นวาล์ว (Manner of Ball Support)** แบ่งย่อยการยึดจับลิ้นวาล์วลูกบอลภายในตัวเรือนวาล์วได้ 2 ลักษณะ

1.2.2.1. **Floating-Ball Design** เป็นการยึดจับลิ้นวาล์วในตัวเรือนวาล์วโดยใช้เพียง Body Seats เป็นตัวประกบลิ้นวาล์วทั้งหน้า

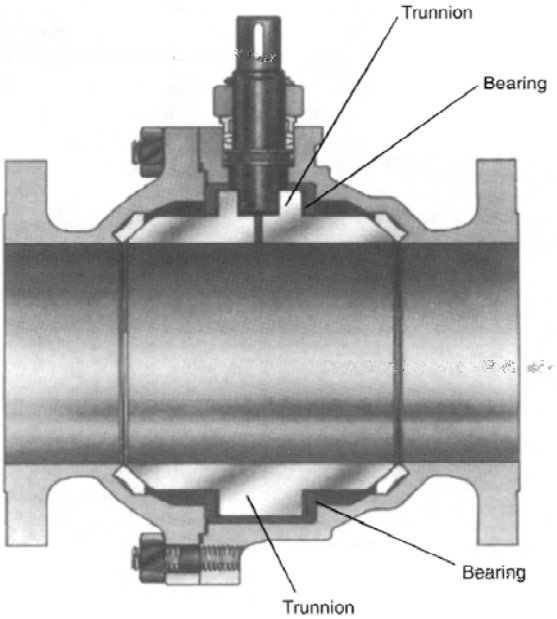
หลังทางเข้าออกวาล์ว โดยมีแกนวาล์วเสียบเข้าลิ้นวาล์วจากด้านบนเพื่อหมุนลิ้นวาล์ว ดังนั้นเมื่อหมุนแกนวาล์วจะทำให้ลิ้นวาล์วลูกบอลหมุนหรือลอยตัวนั้นเอง เพราะไม่มีชิ้นส่วนใดประคองหนุนบริเวณใต้ลิ้นวาล์วแต่อย่างใด (ดูรูปที่ 3-35, รูปที่ 3-38 และ รูปที่ 3-39) ขณะวาล์วทำงานเมื่อหมุนลิ้นวาล์วไปอยู่ในตำแหน่งปิดของไหลซึ่งมีความดันและอัดด้านทางเข้าวาล์วอยู่นั้นจะอัดลิ้นวาล์วให้ยิ่งแนบสนิทกับ Body Seat ที่อยู่ทางด้านตรงข้ามหรือด้านทางออกวาล์ว (ดูรูปที่ 3-46)



รูปที่ 3-46 แรงกระทำต่อลิ้นวาล์วลูกบอลที่ติดตั้งในรูปแบบ Floating-Ball Design ใน One-Piece Reduced Port (ของไหลความดันสูงอยู่ทางซ้ายมือ)

1.2.2.2. Trunnion-Mounted Ball Design (ดูรูปที่ 3-47) ตัวลิ้นวาล์วลูกบอลทรงกลมจะถูกออกแบบให้มีเพลาหรือขอบนูนต่อยื่นออกมาจากตัวลูกบอลทรงกลมทั้ง 2 ด้านคือด้านบนกับด้านล่างพร้อมทั้งเป็นเนื้อเดียวกับลูกบอล เราเรียกลักษณะเพลาบนลิ้นวาล์วลูกบอลนี้ว่า “Trunnion” (ดูรูปที่ 3-48 ขวามือ) จากนั้นทำการติดตั้งแบริงบนปลายเพลาทั้ง 2 ของลิ้นวาล์วลูกบอลเพื่อยึดเข้ากับตัวเรือนวาล์วหรือใช้เป็นสลักสอดเข้าในขอบนูน ทำให้ลิ้นวาล์วถูกยึดเข้ากับตัวเรือนวาล์วอย่างมั่นคงแข็งแรงไม่เคลื่อนที่ตามของไหลที่มากระทำต่อลิ้นวาล์วให้ไปเบียดอัดกับ Body Seat ด้านตรงข้ามเช่นเดียวกับแบบ Floating-Ball Design อีกต่อไป ดังนั้นการซีลป้องกันการรั่วไหลของไหลผ่านตัววาล์วขณะปิดวาล์วจะดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการออกแบบ Body Seats การออกแบบ

ลิ้นวาล์วแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับการออกแบบตัวเรือนวาล์วแบบ Split Body ต่างกับการออกแบบลิ้นวาล์วแบบ Floating-Ball Design ซึ่งใช้ร่วมกับรูปแบบตัวเรือนหลายชนิดได้ ข้อดีของลิ้นวาล์วแบบ Trunnion-Mounted Ball Design ก็คือใช้แรงหมุนแกนวาล์วไม่มากในการปิด-เปิดวาล์วดังนั้นจึงพบและใช้งานในวาล์วที่มีขนาดใหญ่และคู่กับตัวเรือนวาล์วแบบ Split Body



รูปที่ 3-47 Trunnion-mounted Ball Design



รูปที่ 3-48 Trunnion Balls

1.3. Seat Design ความแตกต่างของการออกแบบซีลลิ้นวาล์วขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำ จึงพอแบ่งเป็น 2 แบบ

1.3.1. **Soft Seat** เป็นซีลลิ้นวาล์วทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ แต่เป็นพวกวัสดุ Elastomeric เช่น TFE, Nylon, Buna-N, Neoprene, PFA หรือ PEEK ให้ผลการซีลป้องกันการรั่วได้ดีเยี่ยม แบ่งย่อยออกไปอีก 2 ลักษณะคือ “Jam Seat” และ “Flexible Seat” สำหรับ Jam Seat เป็น Resilient Seat Ring ที่วางแนบเข้ารูปทั้งบนตัวเรือนวาล์วและลิ้นวาล์ว โดยได้รับแรงอัดแรกเริ่มตอนประกอบติดตั้งจากลิ้นวาล์วลูกบอลแต่เนื่องจากวัสดุชนิด Resilient Seat Ring มีช่วงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแล้วกลับคืนตัวหรือมี “ช่วง Elasticity” ที่ค่อนข้างแคบทำให้เมื่อใช้งานในระบบท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันแล้ววัสดุดังกล่าวจะเสียรูปไม่คืนตัวรวมทั้งคุณสมบัติการซีลของวัสดุจะลดลงไปทันที

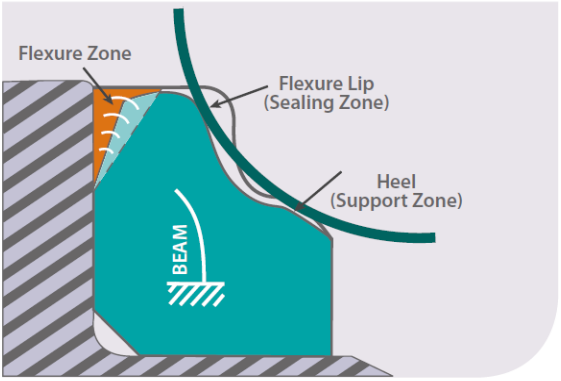


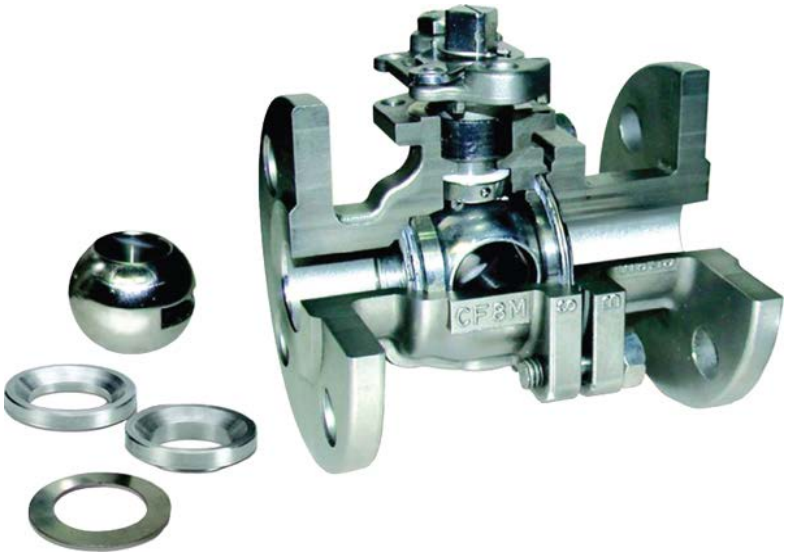
FIGURE 1- Flexible Lip Seat Design: The *Jamesbury* Flexible Lip Seat is a unique seat lip and heel design. Deflection of the flexible lip allows the seat to store energy. The flexible lip contacts the ball in the sealing zone, while the heel supports the ball as a bearing surface. The valve body design includes a specific flexure zone that allows the seat to flex but prevents excessive movement that would cause permanent deformation.

รูปที่ 3-49 Flexible Lip Seat

ในขณะที่ตัวเรือนวาล์วซึ่งเป็นโลหะมีอัตราการขยายตัวอันเนื่องจากความร้อน (Thermal Expansion) มากกว่าวัสดุชนิด Resilient Seat Ring ก็ยิ่งสร้างระยะช่องว่างระหว่างตัวเรือนกับตัวซีลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้แรงอัดแรกเริ่มตอนประกอบติดตั้งจากลิ้นวาล์วกดลงบนตัวซีลหายไปเป็นปัจจัยเพิ่มเข้าไปอีก สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุทำให้วาล์วรั่วจนไม่สามารถทำหน้าที่ของความเป็นวาล์วได้ เราจึงพบซีลแบบนี้ในวาล์วขนาดเล็กและใช้งานอุณหภูมิความดันปกติ ข้อเสียและข้อจำกัดการใช้งาน “Jam Seat” จึงถูกแก้ไขด้วยการออกแบบซีลใหม่ เรียกว่า“Flexible Seat” ซึ่งแบ่งย่อยลงไปอีกคือ “Lip” และ “Arch-shaped” (ดูรูปที่ 3-49)

1.3.2. **Metal Seat** เป็นซีลลิ้นวาล์วทำด้วยวัสดุโลหะ เช่น Stainless steel, Tungsten carbine, Monel เป็นต้น (ดูรูปที่ 3-50) การเลือกใช้วัสดุในการออกแบบซีลขึ้นอยู่กับการใช้งานและความต้องการ Soft Seat ให้ผลการซีลได้ดีเยี่ยมเมื่อเทียบกับ Metal Seat แต่มีปัญหาเรื่องการใช้งานที่อุณหภูมิสูงทำได้ไม่ดีเท่า Metal Seat ดังนั้น Metal Seat จึงใช้กับงานที่มีอุณหภูมิและความดันสูงหรือสภาพที่มีความกัดกร่อนทางเคมี (Corrosion) และกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) ได้ดี ส่วนการชดเชยคุณสมบัติเพื่อให้สู้กับ Soft Seat ได้จึงนำสปริงมาใช้ดัน Metal Seat เพื่อรักษาแรงกดบนผิวหน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Rings รวมทั้งรักษาแรงกดบนผิวหน้าสัมผัสระหว่าง Seat Rings กับตัวเรือนวาล์วให้คงที่มากที่สุด โดยเฉพาะ Ball Valve ที่มีลิ้นวาล์วแบบ Trunnion-Mounted Ball ยังต้องเพิ่มการติดตั้งสปริงเข้ากับ Metal Seat Rings ทั้ง 2 ด้านของลิ้นวาล์วทั้งนี้ก็เพราะตัวลิ้นวาล์วถูกติดตั้งให้อยู่กับที่นั่นเอง แต่สำหรับลิ้นวาล์วแบบ Floating Ball ต้องติดตั้งสปริงเข้ากับ Metal Seat Ring เพียงตัวเดียวก็ได้คือตัวทางเข้าวาล์วเพื่อการให้ตัวได้ของ Seat Ring เมื่อลิ้นวาล์วลูกบอลเคลื่อนที่ (ดูรูปที่ 3-46) นอกจากนี้ยังมีข้อควรระวังอีกจุดหนึ่งนั้นคือบริเวณพื้นที่สัมผัสระหว่าง Metal Seat กับตัวเรือนวาล์วเพราะเป็นการสัมผัสกันระหว่างโลหะกับโลหะทำให้โอกาสรั่วของของไหลมีสูงวิธีการแก้ไขก็คือติดตั้งซีล

ระหว่างผิวสัมผัสดังกล่าวโดยหากต้องใช้กับของไหลอุณหภูมิไม่สูงนักก็สามารถใช้วัสดุจำพวกเดียวกับ Soft Seat ได้ แต่ถ้าหากต้องใช้กับของไหลที่มีอุณหภูมิสูง Graphite หรือ Flexible Metal Ring จะถูกนำมาใช้แทนและจะทำหน้าที่เสมือนสปริงอีกชุดหนึ่งด้านหลัง Metal Seat



รูปที่ 3-50 Metal Seat ใน Ball Valve

1.4. การใช้งาน Ball Valve พบว่า Ball Valve ถูกนำไปใช้งานเป็นวาล์วปิด-เปิดเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุที่ว่า

- เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งเปิด จะไม่มีส่วนใดขวางช่องทางการไหลทำให้มีค่าความเสียดทานการไหลต่ำ อีกทั้งสามารถนำไปใช้งานกับของไหลไม่สะอาด หรือมีสารแขวนลอยหรือพวกสิ่งสกปรกได้
- มีขนาดให้เลือกใช้มากมายตั้งแต่ ½ -36 นิ้ว, ชั้นทนความดันจาก Vacuum จนถึง 2500 Psi, ชนิดวัสดุหลากหลายทั้งทองเหลือง, โลหะอัลลอยด์, Bronze แต่ไม่นิยมทำ Ball Valve จากเหล็กหล่อ นอกจากนี้ยังทนอุณหภูมิได้สูงส่วนจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วัสดุทำวาล์ว

- เป็นวาล์วที่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องปิด-เปิดบ่อย เนื่องจากหมุนวาล์วเพียง 90 องศาในการปิด-เปิดแต่ละครั้ง และใช้แรงหมุนก้านวาล์วในการปิด-เปิดน้อย

- สำหรับวาล์วที่ออกแบบช่องทางการไหลแบบ Full Port จะมีขนาดใหญ่มากและระยะระหว่างปลายวาล์วทั้ง 2 ด้านกว้างทำให้ต้องใช้ระยะการติดตั้งในระบบท่อมากเมื่อเทียบกับวาล์วชนิดอื่นที่มีขนาดเดียวกัน

- Ball Valve สามารถถูกใช้งานทำหน้าที่ควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหล (Throttling) ได้เช่นกัน โดยจะมีคุณสมบัติรูปแบบ “Valve Flow Characteristic” ในระหว่างรูปแบบ “Equal Percentage” สำหรับ Ball Valve แบบปกติทั่วไปจะมีคุณสมบัติการควบคุมปริมาณการไหลหรือหรี่วาล์วค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องใช้ลิ้นวาล์วชนิด Ball Valve แบบ V-Port (ดูรูปที่ 3-44) จะเหมาะและดีกว่า

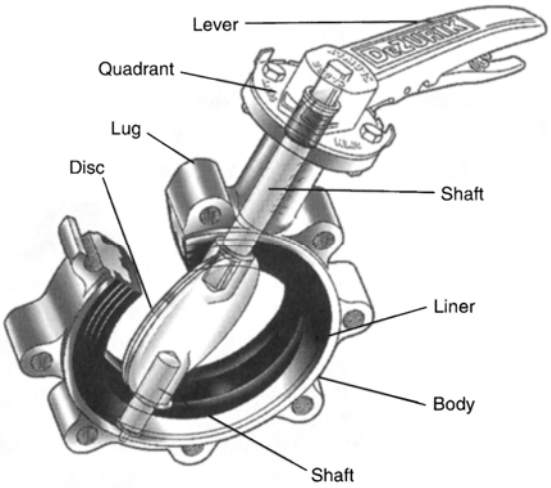
- รองรับอัตราการไหล (Flow Capacity) ได้สูงซึ่งพบว่าโดยทั่วไปจะรองรับอัตราการไหลได้สูงกว่า Globe Valve ประมาณ 2-3 เท่า

- ไม่เหมาะกับของไหลที่มีความเป็นสารขัดหยาบเพราะในช่วงที่ Ball Valve ไม่เปิดเต็มที่ Seat Rings ด้านทางออกของวาล์วจะสัมผัสโดยตรงกับของไหลซึ่งทำให้ของไหลที่มีคุณสมบัติความเป็นสารขัดหยาบอยู่ในตัวสร้างความเสียหายให้กับ Seat Rings (ดูรูปที่ 3-36)

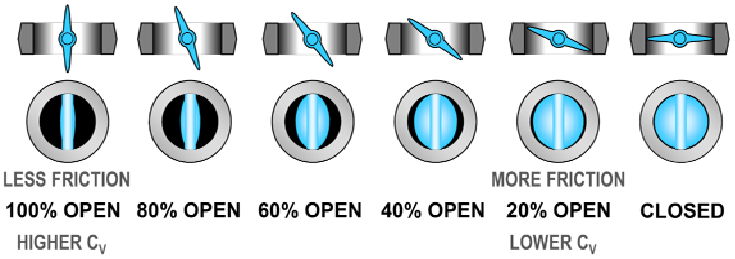
- ราคาไม่แพง และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

2. Butterfly Valve ในเบื้องต้น Butterfly Valve ถูกออกแบบบนพื้นฐานของตัวหน่วงการไหลภายในท่อหรือ “Pipe Damper” สำหรับลิ้นวาล์วหรือ Flow Control Element มีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมถูกติดตั้งภายในตัวเรือนวาล์วโดยมีแกนหมุนที่ถูกติดตั้งให้ตั้งฉากกับพื้นหรือขนานกับพื้น เมื่อลิ้นวาล์วหมุนรอบแกนซึ่งเป็นทั้งแกนของลิ้นวาล์วของมันเองกับแกนหมุนกลไกการหมุนลิ้น

วาล์วซึ่งเป็นแกนตั้งฉากกับทิศทางการไหลของไหลผ่านช่องทางการไหลของวาล์ว (Port) ในการทำหน้าที่ปิด-เปิดหรือหรี่วาล์ว ด้วยเหตุนี้ลิ้นวาล์วจึงสัมผัสกับของไหลตลอดเวลา (ดูรูปที่ 3-51) เมื่อลิ้นวาล์วหมุนเพื่อเปิดวาล์วนั้นลิ้นวาล์วจะทำหน้าที่แบ่งแยกของไหลออกเป็น 2 ส่วนรอบๆ ลิ้นวาล์วซึ่งเป็นแผ่นวงกลมที่สมมาตร จากลักษณะการติดตั้งและการทำงานของลิ้นวาล์วดังกล่าวจึงไม่ต้องระบุทิศทางในการติดตั้งวาล์วเข้ากับระบบท่อโดยสามารถใช้เป็นทางเข้าออกได้ทั้ง 2 ทาง ในกรณีที่แกนลิ้นวาล์วเยื้องศูนย์กับแกนหมุนลิ้นวาล์ว (ดูรูปที่ 3-55) ในการทำงานนั้นการติดตั้งต้องมีการระบุทิศทางเข้า-ออกอย่างชัดเจน



รูปที่ 3-51 Line Butterfly Valve



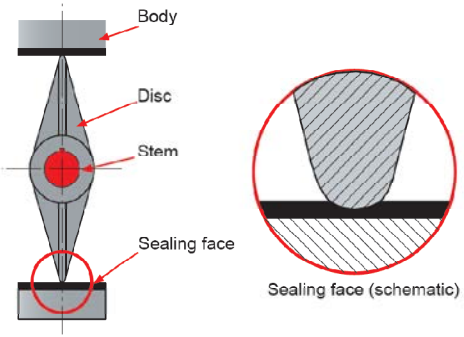
รูปที่ 3-52 รูปแบบการปิด-เปิดของลิ้นวาล์วชนิด Butterfly Valve

จากหลักการทำงานของ Butterfly Valve วาล์วชนิดนี้จึงอาจมีชื่อเล่นว่า “Quarter-Turn Valve” อีกชื่อหนึ่งทั้งนี้เพราะตัวลิ้นวาล์วหมุนจากตำแหน่งเปิดสุดไปยังตำแหน่งปิดสุดเพียง 90 องศา โดยทั่วไปเราจะพบ Butterfly Valve ได้ 2 รูปแบบด้วยกันคือ

2.1. Lined Butterfly Valve ดูรูปที่ 3-51 ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วนคือ ตัวเรือนวาล์ว (Body) จัดสร้างอยู่ในรูปวงแหวนโลหะรูปทรงง่ายๆ โดยมี Lug (อาจเป็นหน้าแปลนรูปแบบอื่นๆก็ได้) บนตัวเรือนวาล์วเพื่อใช้ในการประกอบเข้ากับระบบท่อ, ลิ้นวาล์ว (Disc) มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่มีแกนกลางเป็นแกนเดียวกับแกนหมุนของลิ้นวาล์ว โดยปลายของแกนหมุนทั้งบนและล่างจะร้อยทะลุส่วนเคลือบที่อยู่บนตัวเรือนวาล์ว ตัวเรือนวาล์วเป็นตัวประคองรองรับและยึดแกนหมุนดังกล่าวทั้งบนและล่างของลิ้นวาล์ว สำหรับแกนหมุนในส่วนด้านบนจะร้อยทะลุตัวเรือนวาล์วออกไปเชื่อมติดกับแกนด้ามจับมือหมุนวาล์วซึ่งโดยปกติแล้วทิศทางของด้ามจับมือหมุนวาล์วกับตัวแผ่นลิ้นวาล์วจะอยู่ในแนวทิศเดียวกันเพื่อสะดวกกับการสังเกตุตำแหน่งปิด-เปิดวาล์ว ด้ามจับมือหมุนจะถูกออกแบบให้มีที่ล็อคทุกๆ 10 องศาเพื่อสะดวกกับการใช้งาน ในขณะที่ลิ้นวาล์วจะถูกเคลือบด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะด้วยเช่นกัน ส่วนประกอบส่วนสุดท้ายของ Line Butterfly Valve คือส่วนเคลือบภายในตัวเรือน (Non-Metallic Body Liner) เป็นวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ เช่น Buna-N, EPT หรือ TFE เป็นต้น ในการออกแบบอาจออกแบบให้สารเคลือบดังกล่าวเคลือบติดถาวรกับตัวเรือนวาล์วหรือทำการฝังลงในร่องที่ถูกเซาะภายในตัวเรือนวาล์ว หรือ ฯลฯ แต่ไม่ว่าจะออกแบบอย่างไรสารเคลือบภายในตัวเรือนวาล์วต้องทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

- ทำหน้าที่เป็นซีล (Body Seat) รองรับลิ้นวาล์วซึ่งถูกออกแบบให้บริเวณวงตรงกลางสุดนูนขึ้นมารับกับลิ้นวาล์วเพื่อให้เกิดการบดอัดหน้าซีลให้แนบสนิทระหว่างลิ้นวาล์วกับ Body Seat เพื่อป้องกันการรั่วซึมของไหลออกทางด้านลิ้นวาล์วด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งภายในตัวเรือนวาล์ว (ดูรูปที่ 3-53)

- ทำหน้าที่ซีลปลายแกนหมุนทั้ง 2 ด้านของลิ้นวาล์วที่ร้อยทะลุส่วนเคลือบในตัวเรือนวาล์วเพื่อป้องกันการรั่วซึมของไหลออกไปภายนอกตัวเรือนวาล์ว

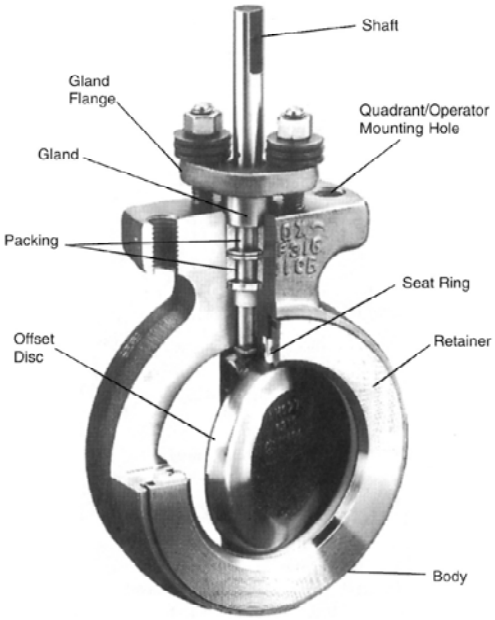


รูปที่ 3-53 Sealing structure of centered seal butterfly valve

Lined Butterfly Valve ก็มีข้อด้อยในบางด้านด้วยเช่นกัน นั้นคือการซ่อมบำรุงรักษาซีลระหว่างลิ้นวาล์วกับตัวเคลือบภายในตัวเรือนวาล์วบริเวณปลายแกนหมุนของลิ้นวาล์วเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการเสียดสีอยู่เป็นประจำทุกครั้งที่เราหมุนลิ้นวาล์ว ในขณะเดียวกันไม่สามารถสร้างแรงบดอัดระหว่างหน้าสัมผัสลิ้นวาล์วกับตัวเคลือบภายในตัวเรือนวาล์วให้สูงมากเพียงพอต่อการใช้งานที่มีความดันของไหลสูงๆ ได้ดังนั้นวาล์วชนิดนี้จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่ความดันไม่สูงมากนัก และที่สำคัญคือส่วนเคลือบภายในตัวเรือนวาล์ (Non-Metallic Body Liner) ซึ่งเป็นวัสดุไม่ใช่โลหะจึงไม่สามารถทนทานต่ออุณหภูมิใช้งานสูงมากนัก (ดูรูปที่ 3-54) เบ็ดเสร็จก็คือใช้งานที่อุณหภูมิและความดันที่ไม่สูงมากนัก



รูปที่ 3-54 ตัวอย่างส่วนเคลือบภายในตัวเรือนวาล์ว

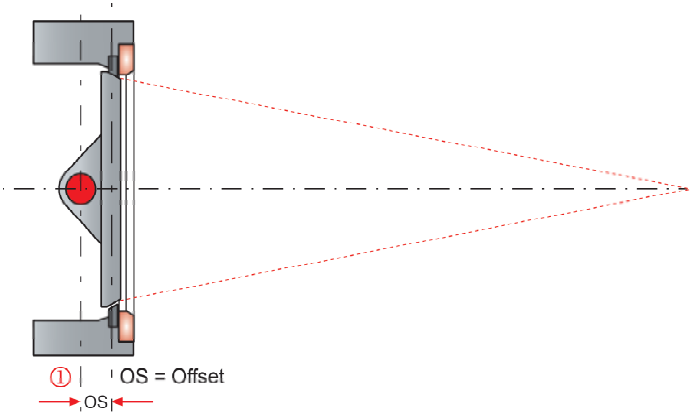


รูปที่ 3-55 High-performance Butterfly Valve

2.2. High-Performance Butterfly Valve (ดูรูปที่ 3-55) เป็นวาล์วที่ออกแบบเพื่อกำจัดข้อด้อยของวาล์วแบบ Lined Butterfly Valve คือซีลสึกหรอกับซีลรั่ว อีกทั้งจัดให้มี Metal Seat เพื่อทดแทนส่วนเคลือบภายในตัวเรือน (Non-Metallic Body Liner) High-Performance Butterfly Valve ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ตัวเรือนวาล์ว (Body) ซึ่งจัดสร้างเช่นเดียวกับแบบ Lined Butterfly Valve เพียงแต่มีการกลึงขึ้นรูปเพื่อติดตั้ง Body Seat หรือ Seat Ring บนตัวเรือนวาล์ว พร้อมจัดทำรูปแบบการประกอบเชื่อมต่อเข้ากับระบบท่อของด้านปลายตัวเรือนวาล์วทั้งสองเป็นแบบ Lug, Wafer หรือหน้าแปลน (Flange) ก็ได้ ส่วนประกอบที่สองคือ Seat Ring และส่วนประกอบที่สามคือ ลิ้นวาล์ว (Disc) ยังคงมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมสมมาตรเช่นเดิมเพียงแต่ออกแบบให้มีสภาวะการเยื้องศูนย์ (Off-Set หรือ Eccentric) ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางตัวแผ่นลิ้นวาล์ว, แกนหมุนของลิ้นวาล์ว, เส้นผ่าน

ศูนย์กลางตัวเรือนวาล์วและหน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring โดยออกแบบให้แกนหมุนอยู่ด้านหลังลิ้นวาล์วในแนวขนานกับแกนลิ้นวาล์ว ดูรูปที่ 3-55 ผลที่ตามมาคือเกิดการเยื้องศูนย์ 3 รูปแบบ คือ

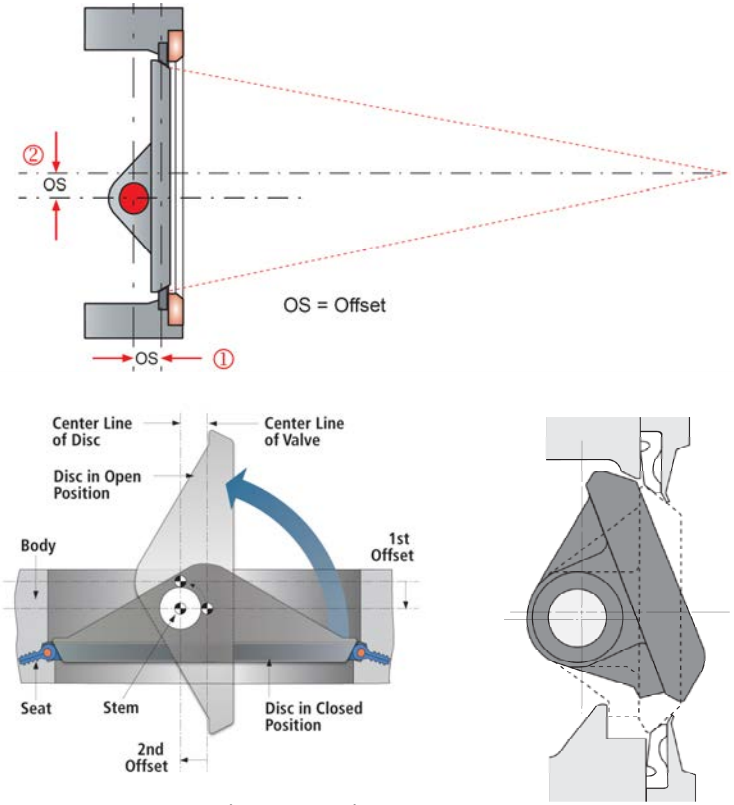
- รูปแบบแรก “Single Eccentric” เป็นการติดตั้งลิ้นวาล์วให้เยื้องศูนย์โดยมีระยะเยื้องศูนย์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางแกนเพลาหมุนลิ้นวาล์ว (Shaft Centre Line) กับเส้นผ่านศูนย์กลางแกนกลางตัวแผ่นลิ้นวาล์ว (Disc Trunnion Centre Line) ส่งผลให้มีการเยื้องศูนย์ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ทำให้มีการซีล 360 องศารอบลิ้นวาล์วซึ่งเป็นแผ่นวงกลม (ดูรูปที่ 3-56)



รูปที่ 3-56 การเยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์ว 1 ระยะเยื้อง (Single Eccentric Bearing of the Butterfly Disc)

- รูปแบบที่สอง “Double Eccentric” เป็นการติดตั้งลิ้นวาล์วให้เยื้องศูนย์ 2 ระยะเยื้อง โดยระยะเยื้องที่หนึ่งเป็นระยะเยื้องศูนย์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางแกนเพลาหมุนลิ้นวาล์ว (Shaft Centre Line) กับเส้นผ่านศูนย์กลางแกนกลางแผ่นลิ้นวาล์ว (Disc Trunnion Centre Line) ระยะเยื้องที่สองคือเยื้องศูนย์ด้านข้างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางแกนตัวเรือนวาล์ว (Body Centre Line) กับเส้นผ่านศูนย์กลางตัวแผ่นลิ้นวาล์ว (Disc Centre Line) บวก

กับการออกแบบให้ผิวสัมผัสรอบลิ้นวาล์วเป็นลิ่ม (Tapper) ทำให้การหมุนลิ้นวาล์วให้ผิวสัมผัสรอบลิ้นวาล์วอัดเข้ากับ Seat Ring เมื่อปิดวาล์วรวมทั้งการหมุนลิ้นวาล์วแยกผิวสัมผัสรอบลิ้นวาล์วออกจาก Seat Ring เมื่อเปิดวาล์วเรียบเนียน โดยการเคลื่อนที่แกนหมุนกับลิ้นวาล์วขณะเคลื่อนที่เข้าหา Seat Ring เสมือนการเคลื่อนตัวของลูกเบี้ยว (Cam) ที่ตำแหน่งปลายสุดของลูกเบี้ยวเป็นตำแหน่งปิด-เปิดวาล์ว (ดูรูปที่ 3-57) ผลที่ได้คือลดการสึกหรอของผิวหน้าสัมผัสระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring อีกทั้งใช้แรงในการหมุนแกนลิ้นวาล์วน้อยลง



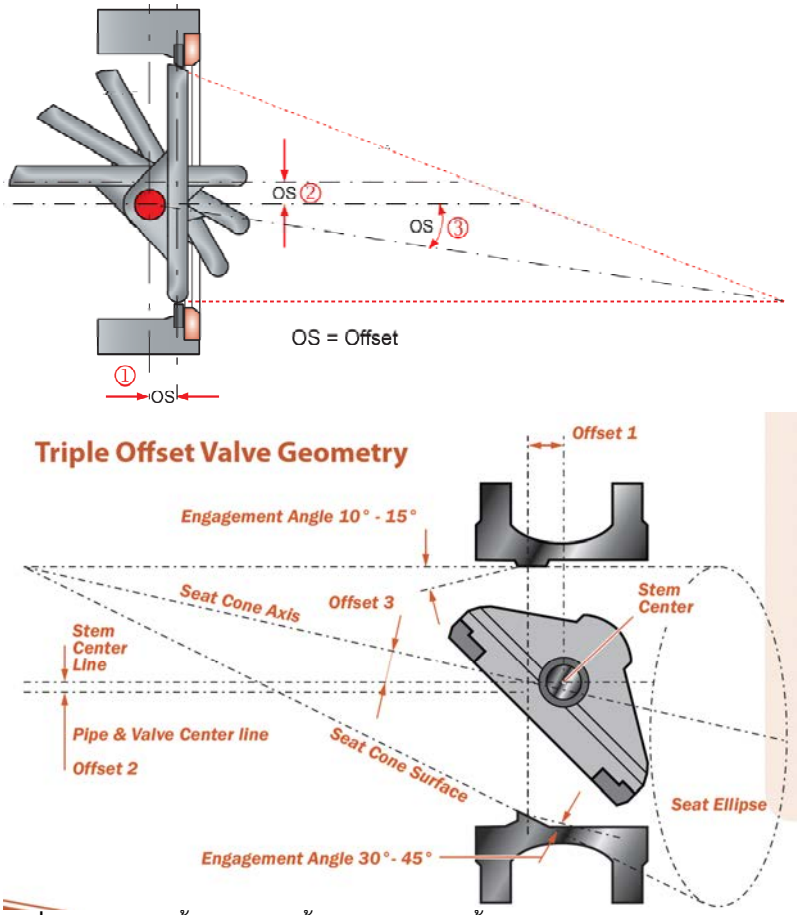
รูปที่ 3-57 การเยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์ว 2 ระยะเยื้อง (Double Eccentric Bearing of the Butterfly Disc)

- รูปแบบที่สาม “Triple Eccentric” เป็นการติดตั้งลิ้นวาล์วให้เยื้องศูนย์ 3 ระยะเยื้อง โดยเพิ่มระยะเยื้องจากรูปแบบที่ 2 Double Eccentric อีกหนึ่งระยะเยื้องคือ ระยะเยื้องที่สามเป็นระยะเยื้องในการซีลลิ้นวาล์ว (the eccentric in the sealing) ซึ่งเป็นมุมที่เกิดจากการลากเส้นสมมุติของจุดตัดหน้าสัมผัสการซีลทั้งบนและล่างมาตัดกันจากนั้นลากจากจุดตัดดังกล่าวไปยังเส้นผ่านศูนย์กลางตัวเรือนวาล์ว (Body Centre Line) จะได้ระยะเยื้องศูนย์ของมุม ดังในรูปที่ 3-58

นอกจากนี้ยังมีการออกแบบปรับปรุงเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนรูปร่างและโครงร่างของลิ้นวาล์วเพื่อลดแรงบิดผันแปร (Dynamic Torque) และแรงต้าน (Drag) ในขณะที่เพิ่มหรือสามารถรับความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) ได้สูงขึ้น

ปลายแกนหมุนลิ้นวาล์วจะติดตั้ง Spacer เพื่อยกลิ้นวาล์วให้อยู่ในระดับตำแหน่งที่ต้องการระหว่างลิ้นวาล์วกับช่องทางไหลในตัวเรือนวาล์วให้ได้แนวระดับเดียวกันโดยปลายสุดของแกนลิ้นวาล์วอาจติดตั้งลูกปืนแบริ่งเพื่อลดแรงเสียดทาน ทำให้ต้องจัดวิธีการซีล Spacer กับแกนลิ้นวาล์วไม่ให้ของไหลรั่วลงมาสัมผัสโดนแบริ่งด้านล่าง ส่วน spacer ด้านบนแกนหมุนลิ้นวาล์วอาจติดตั้ง Stuffing Box, Packing Gland และ Glade Flange เพื่อบีบอัดซีลที่พันอยู่รอบแกนลิ้นวาล์วใน Stuffing Box ขณะลิ้นวาล์วหมุนทำงานเพื่อป้องกันของไหลรั่วออกไปภายนอกตัวเรือนวาล์ว (ดูรูปที่ 3-55) สำหรับ Seat Ring อาจทำด้วยวัสดุโลหะ (Metal Set) หรือไม่ใช่โลหะซึ่งปกติจะอ่อนนุ่มกว่าหรือที่เรียกว่า “Soft Seat” ลิ้นวาล์วประเภทหลังจะให้ตัวมากกว่าและสร้างสภาวะซีลระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ได้สนิทสมบูรณ์กว่าซีลซึ่งทำด้วยโลหะประกอบกับการออกแบบให้ผิวหน้าสัมผัสของลิ้นวาล์วเป็นลิ่ม (Tapered Disc) ทำให้ความดันของไหลที่อยู่ด้านทางเข้าช่วยกดอัด Seat Ring ให้ยิ่งแนบสนิทกับลิ้นวาล์วได้ดียิ่งขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสภาวะซีลของวาล์ว ด้วยเหตุนี้วาล์วชนิดนี้จึงสามารถนำไปใช้งานได้ที่ความดันสูง กว่าแบบ Lined Butterfly Valve สำหรับวาล์วชนิดนี้จะพบได้ในขนาดตั้งแต่ 2 – 72 นิ้ว

และมีชั้นทนความดันได้สูงถึง 1500 Psi สำหรับ Soft Seat และ 2500 Psi สำหรับ Metal Seat รองรับของไหลอุณหภูมิตั้งแต่ 50 – 500 °F สำหรับ Soft Seat เช่น TFE และได้สูงกว่า 1000 °F สำหรับ Metal Seat เช่น Stainless Steel เป็นต้น



รูปที่ 3-58 การเยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์ว 3 ระยะเยื้อง (Triple Eccentric Bearing of the Butterfly Disc)



รูปที่ 3-59 ตัวอย่าง Butterfly Valve เยื้องศูนย์ของลิ้นวาล์ว 3 ระยะเยื้อง

2.3. การใช้งาน High-Performance Butterfly Valve โดยปกติถูกใช้ควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลหรือวาล์วหรี่ (Throttling) เป็นหลัก แต่สามารถใช้เป็นวาล์วปิด-เปิด ได้เช่นกัน สำหรับ Lined Butterfly Valve ซึ่งมีลักษณะของลิ้นวาล์วปกติโดยทั่วๆไปจะสะท้อนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการไหลของไหลเทียบกับตำแหน่งระยะหมุนของลิ้นวาล์วขณะทำงานหรือที่เรียกว่า “Valve Flow Characteristic” ในรูปแบบ Equal Percentage นั้นคือเมื่อช่วงเริ่มต้นเมื่อลิ้นวาล์วเปิดเล็กน้อยของไหลจะไหลผ่านวาล์วปริมาณน้อยและการเปลี่ยนตำแหน่งของลิ้นวาล์วมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลน้อย ในทางกลับกัน เมื่อวาล์วเปิดถึงช่วงระยะหนึ่งที่มากพอจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเปิดของลิ้นวาล์วที่เพิ่มขึ้นเท่ากันจะทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในปริมาณสัดส่วนที่มาก ทำให้การควบคุมการไหลในช่วงวาล์วเปิดมากนี้ทำได้ไม่ดี พบว่าลิ้นวาล์วของ Lined Butterfly Valve หมุนเปิดได้สูงสุดได้ไม่เกิน 60 องศาเท่านั้นเอง

ในส่วน High-Performance Butterfly Valve มีรูปแบบ “Valve Flow Characteristic” ในระหว่างรูปแบบ Equal Percentage กับรูปแบบ Linear ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการไหลจึงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนระยะการหมุนตลอดช่วงการหมุนเปลี่ยนตำแหน่งของลิ้นวาล์วอย่างที่ควรเป็นในรูปแบบ Linear ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงการไหลเมื่อลิ้นวาล์วหมุนด้วยระยะเท่าๆกันการปลี่ยนแปลงการไหลก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่มากเหมือนอย่าง

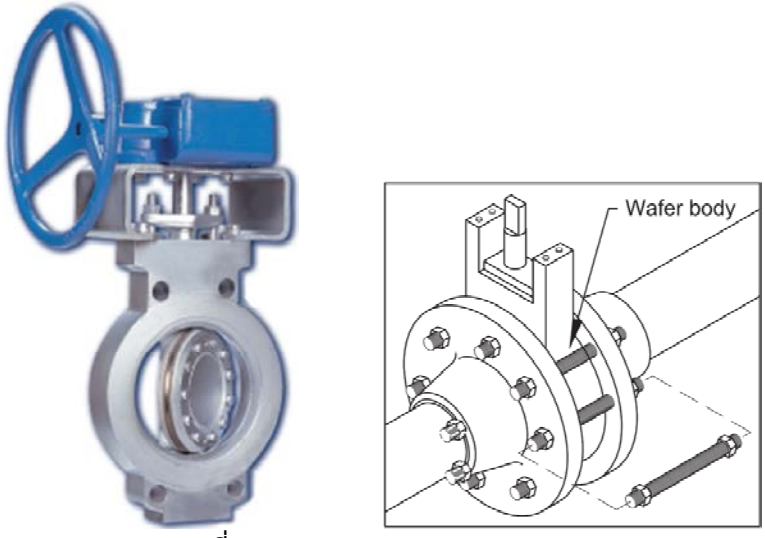
รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ควรเป็นอย่างในรูปแบบ Equal Percentage ด้วยเหตุนี้ทำให้วาล์วชนิดนี้ปรับเปลี่ยนการไหลได้ตลอดช่วงการหมุนลิ้นวาล์ว 90 องศา

สำหรับในภาพรวม Butterfly Valve มีข้อดี คือ

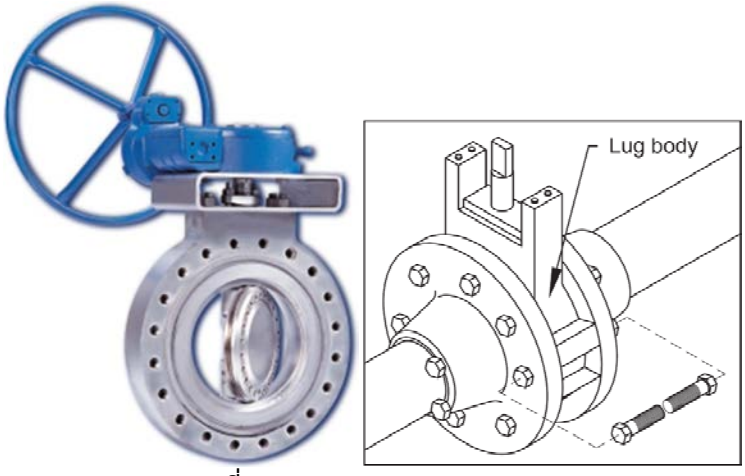
- มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับวาล์วชนิดหรือรูปแบบอื่นๆ และมีขนาดถึง 72 นิ้ว ดังนั้นหากระบบท่อของไหลอุณหภูมิไม่สูงและความดันปานกลางสำหรับระบบท่อใหญ่ๆ แล้ว Butterfly Valve ช่วยแก้ไขปัญหาชีวิตผู้ออกแบบระบบท่อได้ดีทีเดียว
- ด้วยรูปแบบการประกอบเชื่อมต่อระบบท่อของด้านปลายวาล์วทั้งสองเป็นแบบ Wafer และ Lug ทำให้ขนาดวาล์วแคบมาก ส่งผลให้มีน้ำหนักเบา ราคาถูกเมื่อเทียบกับวาล์วชนิดอื่นที่มีขนาดวาล์วเดียวกัน
- เหมาะกับงานที่ต้องปิด-เปิดวาล์วบ่อย และทำงานได้คล่องตัวเพราะหมุนวาล์วเพียง 90 องศาในการปิด-เปิด
- สามารถใช้งานกับของไหลสกปรก และ Slurries เนื่องจากตัววาล์วมีแอ่งเว้าในตัวเรือนวาล์วน้อยจึงไม่เป็นที่กักเก็บและสะสมอนุภาคแขวนลอยซึ่งอยู่ในของไหล หากเคลือบลิ้นวาล์วด้วยสารที่เหมาะสม (Resilient Material) เราสามารถใช้งานวาล์วชนิดนี้กับของไหลสกปรกและหากมีอนุภาคที่ปนเข้ามาเป็นอนุภาคที่มีความแข็งแรง (Abrasive Material) ลิ้นวาล์วจะสามารถทนการเสียดสีและทนทานต่อการสึกกร่อนจากอนุภาคดังกล่าวได้

แล้วข้อด้อยละมีอะไรบ้าง เราพบว่าไม่มีการผลิต Butterfly Valve ขนาดเล็กกว่า 2 นิ้วโดยเฉพาะ Lined Butterfly Valve ยิ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานในด้านอุณหภูมิและความดันที่ต่ำ ในขณะที่ High-Performance Butterfly Valve ที่ติดตั้ง Soft Seat เองก็มีปัญหาด้านการใช้งานที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่หากติดตั้ง Metal Seat ถึงแม้ทนอุณหภูมิและความดันได้สูงขึ้นแต่มีปัญหาในเรื่องความสมบูรณ์ในการทำหน้าที่ปิดวาล์วที่ให้ซีลสนิทหากใช้วาล์ทำหน้าที่เป็นวาล์วปิด-เปิดเพราะให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจเนื่องจากวาล์วจะรั่วซึมอีกทั้งต้องใช้แรงหมุนมากและยิ่งต้องการแรงหมุนมากยิ่งขึ้นตามขนาดของวาล์วเนื่องจากโดย

ธรรมชาติของวาล์วชนิดนี้ตัวลิ้นวาล์วอยู่ในช่องทางการไหลและขวางทางไหลของของไหลเต็มที่ทำให้มีแรงเสียดทานและแรงต้านทานสูงจากการไหลของไหลกระทำต่อลิ้นวาล์ว ดังนั้นหากต้องเลือกใช้งานจำเป็นต้องหาอุปกรณ์มาช่วยหมุนแกนลิ้นวาล์วหรือหัวขับวาล์ว (Actuator) ทำให้ทั้งราคาและน้ำหนักของวาล์วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3-60 Wafer-type Butterfly Valve

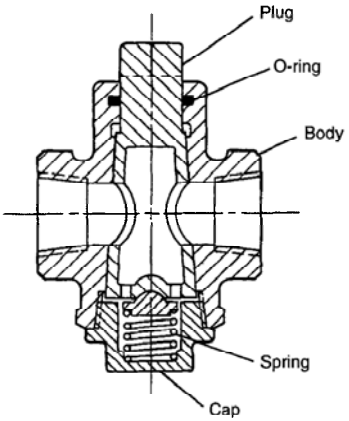


รูปที่ 3-61 Lug-type Butterfly Valve

3. Plug Valve ลิ้นวาล์ว หรือ Flow Control Element มีรูปทรงเป็นทรงกระบอก (Cylinder) หรือทรงกรวยตัด (Truncated Cone) เจาะเป็นช่องเพื่อให้เป็นช่องทางการไหลของวาล์ว เรียกว่า “Plug” (คราวนี้ไม่เรียกว่า Disc) เนื่องจากทำงานด้วยการหมุนรอบแกนลิ้นวาล์วซึ่งตั้งฉากกับช่องทางการไหล ลิ้นวาล์วจึงสัมผัสกับของไหลขณะทำงานเช่นเดียวกับลิ้นวาล์วของ Butterfly Valve เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งเปิดรูที่เจาะไว้บนลิ้นวาล์วหรือ Plug จะตรงได้แนวเดียวกับทิศทางการไหลของไหล ด้วยลักษณะลิ้นวาล์วที่มีรูปทรงสมมาตรดังนั้นการติดตั้งและการทำงานของลิ้นวาล์วดังกล่าวจึงไม่ต้องระบุทิศทางในการติดตั้งวาล์วเข้ากับระบบท่อซึ่งสามารถใช้เป็นทางเข้าออกได้ทั้ง 2 ทาง พบว่าช่องที่เจาะในลิ้นวาล์วในกรณีที่ลิ้นวาล์วเป็นทรงกระบอกนั้นช่องเจาะจะเป็นรูปทรงกลมหรือทรงสี่เหลี่ยม แต่ถ้าหากลิ้นวาล์วเป็นทรงกรวยตัดช่องเจาะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid) แทน จากรูปแบบลักษณะการทำงานของวาล์วจึงเหมาะใช้เป็นวาล์วปิด-เปิด และเปลี่ยนทิศทางการไหล

Lubricated Plug Valve รูปแบบพื้นฐานง่ายๆ ของ Plug Valve (ดูรูปที่ 3-62) ประกอบด้วยตัวเรือนวาล์วที่มีทรงเป็นกรวยตัด, Plug ที่มีรูปทรงกรวยตัดเช่นกันและ Bottom Cap ซึ่งติดตั้งสปริงด้านล่างของกรวยตัดคอยทำหน้าที่ผลัก Plug ให้แนบสนิทกับตัวเรือนวาล์วซึ่งทำหน้าที่อีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นซีลไปในตัว ดังนั้นจะรั่วไม่รั่วก็ขึ้นอยู่กับความดันสปริงกับผิวสัมผัสระหว่าง Plug กับตัวเรือนวาล์ว โดยมีแกนต่อออกไปจากตัวลิ้นวาล์วทางด้านปลายเล็กของกรวยตัดเพื่อใช้หมุนปิด-เปิดพร้อมมีโอริ่งป้องกันของไหลรั่วซึมตามแนวแกนวาล์วปัญหาต่างๆจึงตามมา เช่นการกลึงชิ้นงานทั้ง Plug และตัวเรือนให้แนบสนิททำได้ยาก ในขณะเดียวกันเมื่อมีพื้นที่สัมผัสระหว่าง Plug กับตัวเรือนวาล์วยิ่งมากก็ยิ่งทำให้เพิ่มแรงเสียดทานมากขึ้นด้วยผลตามมาจึงต้องใช้แรงในการหมุนลิ้นวาล์วมากขึ้น หากเลือกวัสดุที่มีผิวสามารถเกิดการยึดติดได้ง่ายหรือไม่ก็เกิด Galling ได้ง่ายประกอบกับหากยิ่งไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานโอกาสยึดติดกันของลิ้นวาล์วกับตัวเรือนวาล์วยิ่ง

มาก ดังนั้นเราจะบพบวาล์วชนิดนี้มีขนาดเล็ก ¼ -2 นิ้วและทนความดันได้สูงสุดประมาณ 250 Psi



รูปที่ 3-62 ลักษณะ Plug Cock แบบดั้งเดิม

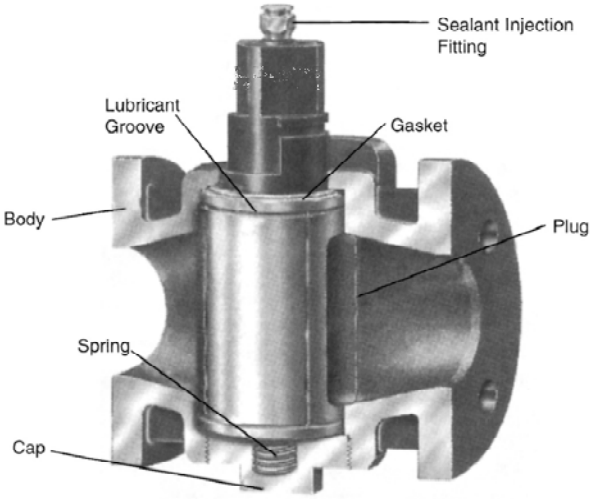
การแก้ไขปัญหาแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสระหว่าง Plug กับตัวเรือนวาล์วด้วยการอัดสารหล่อลื่นเข้าบริเวณผิวนอกรอบตัว Plug ด้วยทำการเซาะร่องไว้บนผิวนอกตัว Plug ทั้งในแนวตั้งตามแกน Plug และในแนววงรอบ Plug ด้านบนและล่างเพื่อการหล่อลื่นและซีลกันรั่วก็เป็นอีกวิธีหนึ่งดังในรูปที่ 3-63

Nonlubricated Plug Valve จะมี 2 รูปแบบพื้นฐาน คือ

- **Lift-type Valve** จัดให้มีกลไกหรือวิธีการยกลิ้นวาล์ว (Tapered Plug) ขึ้นเล็กน้อยขณะเปิดเพื่อให้ลิ้นวาล์วขยับห่างจากหน้าสัมผัสซีลเล็กน้อยพอให้สามารถหมุนลิ้นวาล์วได้

- **Sleeved Plug Valve** หรือ **Elastomer Sleeve** หรือ **Plug Coated** (ดูรูปที่ 3-64 และ รูปที่ 3-65) แทนที่จะใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสลิ้นวาล์วกับตัวเรือนวาล์ว ก็จัดสร้างปลอก (Sleeve) ถาวรทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะอีกทั้งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำๆ เช่น TFE เป็นต้น ฝังแนบกับตัวเรือนวาล์วแล้วให้ทำหน้าที่แทรกกลางระหว่างลิ้นวาล์ว Plug กับตัวเรือนวาล์วโดยใช้ชิ้นส่วน Thrust Collar สร้างแรงกดลิ้นวาล์ว Plug ให้แนบ

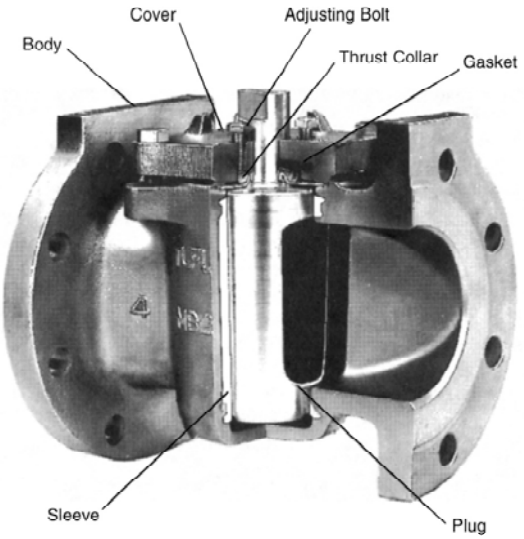
สนิทกับปลอกดังกล่าว การปรับแรงกดดังกล่าวสามารถเพิ่มหรือลดด้วยการขันกวดอัดหรือคลาย Adjusting Bolts การผลิตวาล์วชนิดนี้มีขนาดตั้งแต่ ½ - 18 นิ้ว ทนความดันได้สูงประมาณ 1500 Psi มีทั้งทำด้วยวัดสุเหล็กหล่อ, เหล็ก Carbon Steel, Stainless Steel เป็นต้น



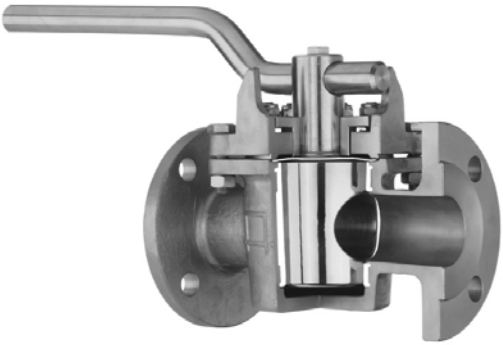
รูปที่ 3-63 Lubricate Plug Valve

การออกแบบช่องทางการไหลของวาล์ว (Port) มีผลต่อขนาดของลิ้นวาล์วหรือ Plug กับตัวเรือนวาล์วของ Plug Valve ดังนั้นการออกแบบขนาดช่องทางการไหลพอแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

- **100% Port** เป็น Plug Valve ที่มีช่องทางเปิดเป็นช่องทางการไหลมีขนาดพื้นที่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของท่อที่วาล์วประกอบต่อเชื่อมอยู่ซึ่งอาจมีรูปร่างทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมคางหมูขึ้นอยู่กับรูปร่างของลิ้นวาล์ว Plug แต่ช่องเจาะขนาด 100% Round Port จะทำให้ Plug Valve มีขนาดใหญ่ที่สุด ช่องทางการไหลขนาดนี้จะถูกใช้เมื่อต้องการความเสียดทานการไหลต่ำสุดในระบบท่อนั้นๆ ด้วยเหตุนี้จึงต้องเลือกใช้ Plug ที่มีรูปทรงกระบอกได้เท่านั้นเพื่อเจาะช่อง 100% Round Port ให้มีรูปร่างหน้าตา Port ที่ว่านี้ดังในรูปที่ 3-65



รูปที่ 3-64 Sleeved Plug Valve



รูปที่ 3-65 Sleeved Plug Valve มีช่องทางเปิดรูปวงกลม 100%

- **40% - 100% Regular Port** เป็นแบบที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไป นั้นหมายถึงเป็น Plug Valve ที่มีช่องทางเปิดเป็นช่องทางการไหลมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 40% - 100% ของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่วาล์วประกอบต่อเชื่อมอยู่ พบส่วนใหญ่จะมีขนาดช่องทางการไหลอยู่ที่ 60-70% นอกจากนี้ยังแบ่งตัวเรือนวาล์วออกเป็น 2 รูปแบบคือ Regular Pattern Body กับ Short Pattern

Body ทั้งนี้เมื่อวัดระยะจากปลายถึงปลายตัวเรือนวาล์วแบบ Short Pattern Body จะมีระยะความยาวเดียวกับ Gate Valve ที่มีขนาดวาล์วเท่ากัน ส่วน Regular Pattern Body จะมีระยะยาวกว่า

- **40% -50% Venturi Plug Port** เป็น Plug Valve ที่มีช่องทางเปิดเป็นช่องทางการไหลมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 40% -50% ของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่วาล์วประกอบต่อเชื่อมอยู่ ทำให้ตัวเรือนวาล์วเรียวแคบลงตามลิ้นวาล์ว Plug



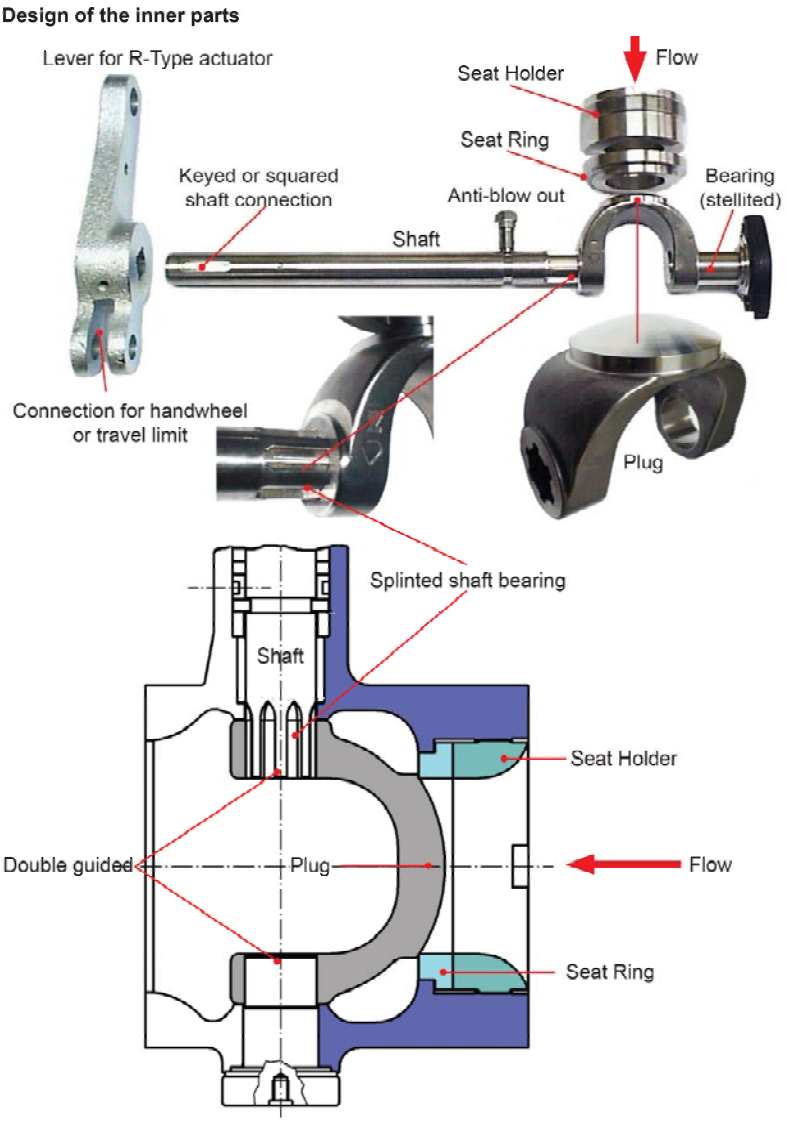
รูปที่ 3-66 รูปแบบของ Ports ชนิดต่างๆของ Plug Valve



รูปที่ 3-67 รูปแบบของ Ports ที่ต่างจากรูปที่ 3-66 ของ Plug Valve

จากลักษณะการทำงานของ Plug Valve จึงถูกใช้เป็นวาล์วปิด และวาล์วเปลี่ยนทิศทาง เนื่องจากเป็นวาล์วที่จัดสร้างในรูปแบบที่ง่ายและสามารถซ่อมแซมได้โดยไม่ต้องถอดออกจากระบบท่อ สามารถทำงานปิด-เปิดได้ราบเรียบ มีขนาดตั้งแต่ ½ 36 นิ้ว ทนความดันได้สูงสุดประมาณ 2500 Psi มีวัสดุหลากหลายให้เลือกเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น ทองเหลือ เหล็กหล่อ เหล็กเหนียว และโลหะอัลลอยด์ทนการกัดกร่อน เป็นต้น เนื่องจากมีช่องทางการไหล (Port) ที่กว้างและไม่มีสิ่งกีดขวางเช่นเดียวกับ Ball Valve จึงสามารถใช้งานได้ทั้งของไหลที่สะอาดและไม่สะอาด ใช้ได้กับก๊าซ, ของเหลวไฮโดรคาร์บอน และอาจเจอในระบบท่อน้ำในบางครั้ง การปิด-เปิดวาล์วทำด้วยการหมุนแกนวาล์วเพียง 90 องศาทำให้เหมาะกับงานที่ต้องปิด-เปิดบ่อยๆ เนื่องจากมีความสะดวก แต่ในขณะเดียวกันจากหลักการทำงานถือว่าเป็นวาล์วที่มีตัวเรือนวาล์วใหญ่เมื่อเทียบกับวาล์วชนิดอื่นที่มีขนาดเดียวกัน

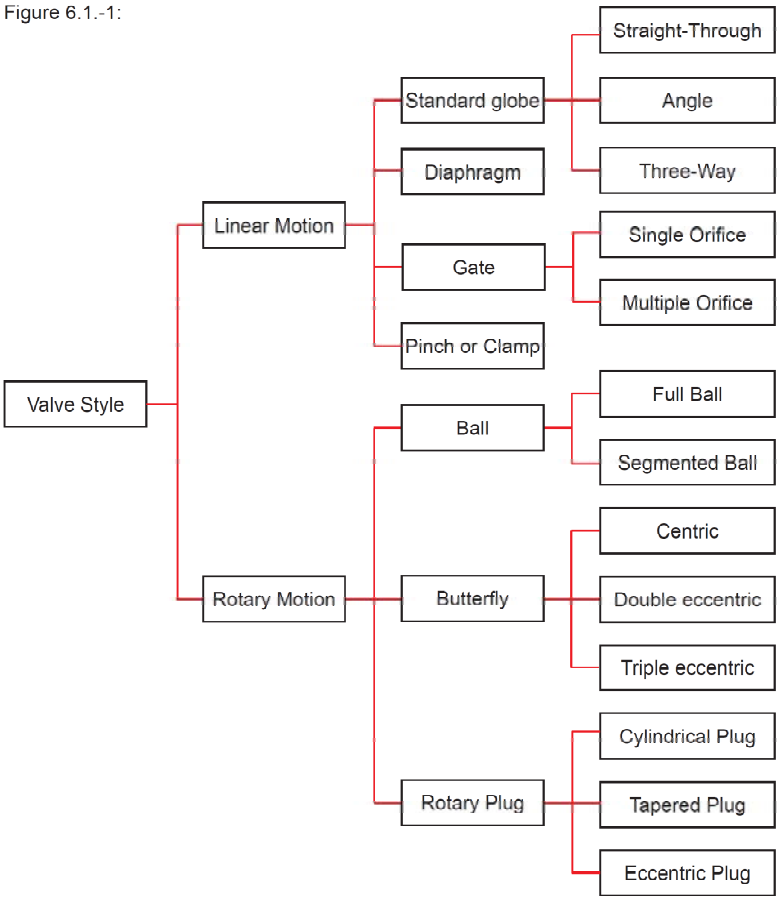
และด้วยรูปแบบลักษณะการทำงานของ Plug Valve นี้เองจึงเหมาะถูกใช้เป็นวาล์วปิด-เปิดและเปลี่ยนทิศทางการไหล Plug Valve ไม่เหมาะนำมาใช้เป็นวาล์วควบคุม (Flow Control Valve) เนื่องจากไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีลักษณะการทำงานแบบการหรี่วาล์วหรือการควบคุมเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลที่เรียกว่า “Throttling” เนื่องจากรูปแบบการไหลจะคล้ายกับ Gate Valve เพราะอัตราการไหลผ่านวาล์วสูงเกิดขึ้นที่ระยะหมุนก้านวาล์วจากตำแหน่งปิดเพียงเล็กน้อยทำให้การเปลี่ยนแปลงการไหลของไหลเทียบกับตำแหน่งระยะหมุนลิ้นวาล์วมีความสัมพันธ์ที่ชันมากในตอนเริ่มต้นเปิดวาล์วแล้วชันน้อยมากเมื่อเปิดวาล์วไปเกือบสุดในวาล์วชนิดนี้ ทำให้อัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วหรือที่เรียกว่า “Valve Flow Characteristic” ในรูปแบบ “Quick Opening” พูดให้เข้าใจง่ายๆ คือ เปิดวาล์วนิดเดียวก็ได้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากนั้นถึงจะเปิดวาล์วไปเรื่อยๆ ก็เพียงทำให้อัตราการไหลผ่านวาล์วเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อย ยกเว้น Plug Valve ที่มีช่องทางการไหลแบบ Diamond Port สำหรับ Rotary Plug ในรูปแบบของ Eccentric Plug ดูรูปที่ 3-68



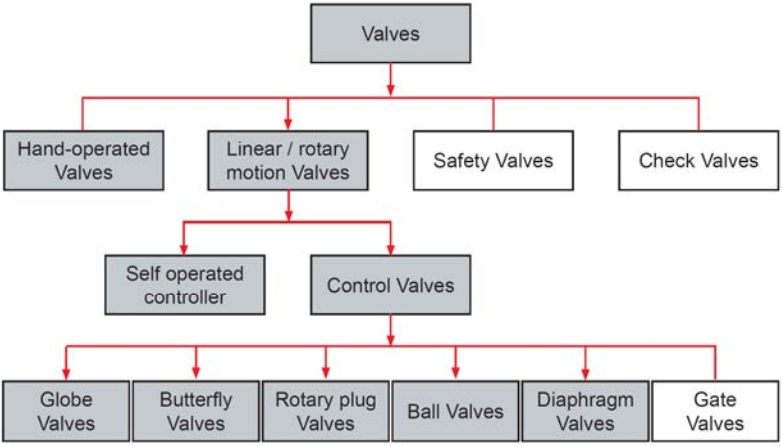
รูปที่ 3-68 Rotary Plug ในรูปแบบของ Eccentric Plug

เมื่อมาถึงจุดนี้แล้วเราพอทราบหลักการทำงานของวาล์วแต่ละชนิดและสรุปหลักการทำงานดังในรูปที่ 3-69 ได้อีกรูปแบบหนึ่ง ต่อไปเป็นการนำวาล์วแต่ละ

ชนิดดังกล่าวไปใช้งานในรูปของวาล์วควบคุม (Control Valve) ดังแสดงในรูปที่ 3-70



รูปที่ 3-69 การแบ่งรูปแบบของวาล์วที่เราได้เจออีกรูปแบบหนึ่ง



รูปที่ 3-70 วาล์วควบคุม (Control Valve)

	Globe	Butterfly	Ball	Diaphragm
Size	$0.5-40\ cm$	$2-500\ cm$	$1.5-90\ cm$	$0.5-50\ cm$
T_{max}	$650\ ^{\circ}C$	$1200\ ^{\circ}C$	$750\ ^{\circ}C$	$175\ ^{\circ}C$
P_{max}	$10-500\ bar$	$5-400\ bar$	$5-100\ bar$	$2-15\ bar$
Apps	Good for extreme conditions	Large size. Good with viscose fluids.	Good for slurries but not gritty materials.	Good for difficult fluids: corrosive, suspended solids, sticky liquids.

รูปที่ 3-71 เปรียบเทียบในภาพรวมของวาล์วแต่ละชนิด บนพื้นฐานอุณหภูมิและความดัน

	Globe	Butterfly	Ball	Diaphragm
+	Wide variety of types. Nose and cavitation handling. Good accuracy.	Cheaper than globe valves if $d > 5\ cm$. High capacity. Wide range.	Moderate cost. Hight capacity. Good rangeability. Low pressure drop. Low leakage.	Low cost. Simple construction. Low leakage.
-	Hight cost. Moderate rangeability.	Hight torque for shut-off. Nose and cavitation. Sensitive to specification errors.	High friction. High torque. Vulnerable to seal wear, dead space in body cavity. Noise, cavitation.	Limited operating conditions. Poor rangeability. Maintenance costs high due to diaphragm wear.

Table 1. Find candidate valves by considering general features of each type.

	Type of Valve				
	Gate	**Plug (Ball)**	**Globe**	**Butterfly**	**Diaphragm**
Type of Service	On/off (Sliding)	On/off (Rotary)	Throttling	Throttling	Throttling
Advantages	Virtually no pressure loss across the valve face Can be used when the fluid contains suspended solids	Similar properties to gate valves Lightweight, compact design High capacity Good rangeability Tight shut-off	Good sealing characteristics Can be used in frequent open/ closing service Quick change of trim without removing valve from line High capacity God rangeability Low-noise trim available Smooth control	Lightweight, compact design Minimal pressure loss across valve face Low cost High throughput capacity Smaller shaft and actuator	Almost no leakage; process fluid is isolated from valve stem Self-cleaning
Disadvantages	Poor sealing characteristics	Sealability poor with metal seats used at high temperatures Limited-temperature range with resilient seats Choke flow problems Cavitation problems Requires removal for maintenance	High-pressure losses due to contorted path through the valve Low-noise trim reduces capacity	Poor sealing characteristics Good control limited to 60-deg. opening Tight shut-off requires special lining: plus over-sized shaft and actuators Lining imposes temperature limitations	Limited operating pressure Limited temperature High wear and tear Poor control over 50%-opening
Sealing Method	Gate face slides parallel to the seal surface. Gate and seal in constant shear contact	Radial seal, shaped to conform with ball surface	Disk motion is perpendicular to valve seat. Only contact is in fully closed position	Throttle blade is mashed into mated seal	Diaphragm material is forced onto valve seat. Only contact is in fully closed position
Recommendations	Not for frequent valve opening/ closing service Not for when throttling control is required	Not for service with highly corrosive fluids Most suitable for handling slurries	For flow regulation When tight shut-off is required	Low-pressure applications	Water-treatment service Chemical and abrasive service

รูปที่ 3-72 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียในภาพรวมของวาล์วแต่ละชนิด

วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว
(Control Valves in Dynamic Measuring Systems)
ตอนที่ 4 ปัจจัยที่กำหนดคุณลักษณะวาล์ว
(Valve Parameters)

ปัจจัยที่กำหนดคุณลักษณะวาล์ว

วาล์วเป็นอุปกรณ์หนึ่งในหลายอุปกรณ์ซึ่งทำงานร่วมกันในกระบวนการควบคุม กระบวนการผลิต หรือกระบวนการหนึ่งๆ ที่ถูกใช้ในการควบคุมการไหลของไหลภายในระบบท่อ เป็นต้น **วิธีการควบคุมการไหลดังกล่าวได้ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความเสียดทานที่วาล์วสร้างขึ้นด้วยการเปลี่ยนระยะเคลื่อนที่ของก้านวาล์วที่ส่งผลไปยังลิ้นวาล์ว หรือ Flow Control Element เพิ่มความเสียดทานเข้าไปหรือลดความเสียดทานลงมาในระบบท่อที่ติดตั้งวาล์วนั้นๆ** ดังนั้นเมื่อวาล์วเริ่มทำการปิด ความเสียดทานของระบบจะถูกกำหนดโดยวาล์วและความเสียดทานจะเพิ่มมากขึ้นจนสามารถปิดการไหลของไหลในระบบท่อได้นั้นเอง ด้วยเหตุนี้หากเราเลือกขนาดวาล์วไม่เหมาะสมและสอดรับกับระบบท่อ (ปั๊ม, Check Valve, Gate Valve, Reducer, Strainer และ ฯลฯ) ของเราแล้ว กระบวนการควบคุมก็ยากที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากเลือกขนาดวาล์วที่ใหญ่กว่าความต้องการของระบบหรือกระบวนทำงานนั้นๆผลตามมาคือการควบคุมการไหลของไหลกระทำได้ยาก แต่หากเลือกวาล์วที่มีขนาดเล็กกว่าความต้องการของระบบหรือกระบวนทำงานนั้นๆเราก็ต้องสูญเสียความเสียดทานตกคร่อมวาล์วสูงมากกว่าจะได้อัตราการไหลที่ต้องการหรืออาจไม่ได้อัตราการไหลที่ต้องการก็ได้ ส่งผลกระทบไปยังปั๊มต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อสร้างความดันให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการ การเกิด Cavitation ภายในวาล์วก็เริ่มเป็นหัวข้อเรื่องที่

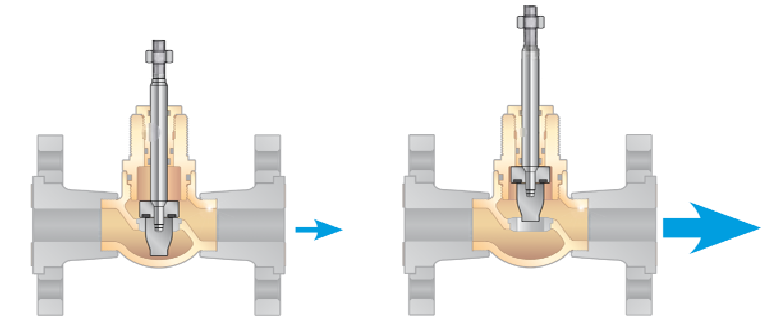
น่าเป็นห่วงตามมาโดยอัตโนมัติในทันที การเปลี่ยนแปลงสิ่งหนึ่งสิ่งใดย่อมส่งผลต่ออีกหลายสิ่ง ส่วนจะมากน้อยเพียงใดก็ค่อยๆๆๆๆๆ ว่ากัน

เพื่อให้เราสามารถเลือกวาล์วที่เหมาะสมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว เราต้องเริ่มเรียนรู้ทำความเข้าใจปัจจัยที่กำหนดคุณลักษณะวาล์ว (Valve Parameters) ที่สำคัญๆ ดังต่อไปนี้

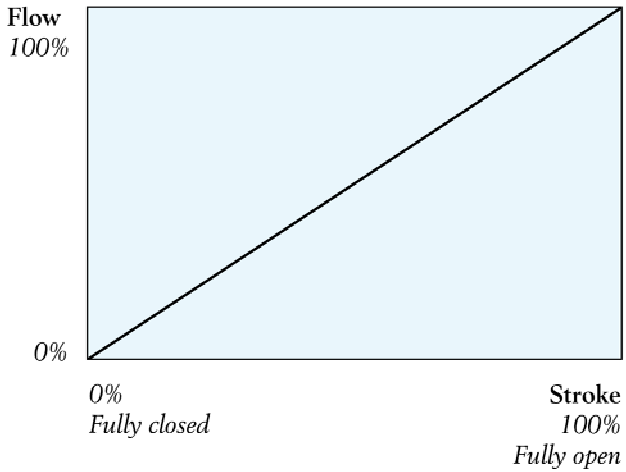
1. Valve Flow Characteristic

เป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งในการเลือกวาล์ว เพื่อให้ได้ชนิดของวาล์ว (Valve Type) ที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งานในกระบวนการหนึ่งๆ Flow Characteristic เป็นลักษณะประจำตัวของวาล์วที่มีอยู่ในวาล์วแต่ละชนิดที่แตกต่างกันในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว (Valve Stem) โดยคิดระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วเปลี่ยนจาก 0 % (ปิดสุด) - 100% (เปิดสุด) โดยวัดค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขเมื่อความดันตกคร่อมวาล์ว (Pressure Droop) มีค่าคงที่โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 1 Bar (ดูรูปที่ 4-1)

ในรูปที่ 4-2 (ก) เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อระยะยกของก้านวาล์วหรือตำแหน่งการเปิดของลิ้นวาล์วซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่ ในที่นี้เราได้เป็นกราฟความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังนั้นหากทดสอบวาล์วที่ความดันตกคร่อมต่างกันก็จะได้กราฟเป็นเชิงเส้นตรงเช่นกันแต่อาจมีความชันของเส้นกราฟต่างกันดังในรูปที่ 4-2 (ข) เพื่อลดความสับสนและความยุ่งยากในการบ่งบอกสมรรถนะของวาล์วด้วยชุดเส้นกราฟจำนวนมากดังในรูปที่ 4-2 (ข) โดยให้เขียนกราฟความสัมพันธ์เทียบเป็นค่าจำนวน “% สูงสุด” แทนนั้นคือ “% อัตราการไหลสูงสุด” เทียบกับ “%ระยะยกก้านวาล์วสูงสุด” ผลที่ตามมาเราจึงได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพื่อแสดงค่าความสัมพันธ์ของ Flow Characteristic ของวาล์วที่ถูกผลิตออกมา ค่านี้เองเรียกว่า **“Inherent Flow Characteristic”** (ดูรูปที่ 4-4)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว

วาล์วชนิดต่างกันจะมี Flow Characteristic ต่างกัน ทั้งนี้ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อ Flow Characteristic ก็คือ ชนิดของวาล์วและการออกแบบช่องทางการไหล (Port) ภายในตัวเรือนวาล์วเป็นปัจจัยหลักสำคัญ ช่องทางการไหลจะเป็นพื้นที่ช่องว่างระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring หรือ Body Ring ในบาง

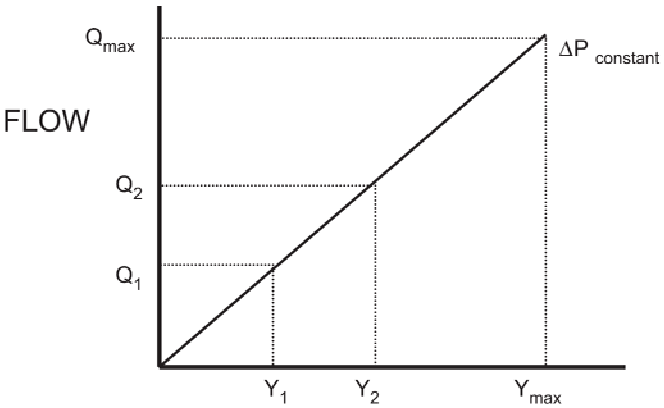


Figure 2

(ก)

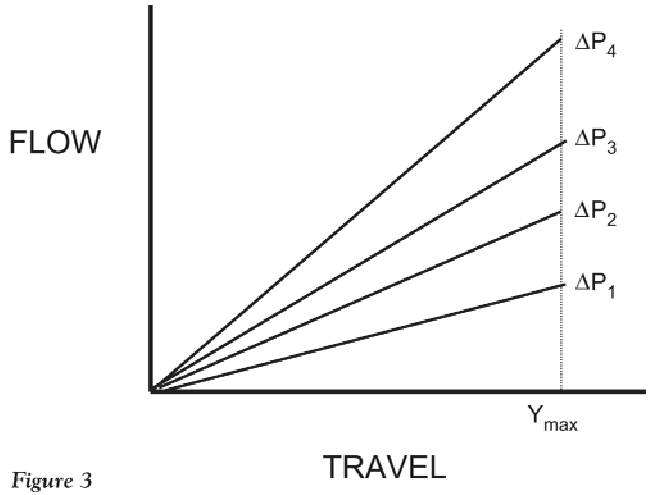


Figure 3

(ข)

รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วที่มีค่าความดันตกคร่อมคงที่แตกต่างกัน

ครั้งจะเรียกว่า “Orifice Pass Area” หรือ “Valve Throat” เป็นพื้นที่ที่ของไหลไหลผ่านวาล์ว ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตวาล์วจึงต้องจัดทำกราฟหรือตารางเพื่อแสดงค่าความสัมพันธ์ของ Flow Characteristic ของวาล์วที่ถูกผลิตออกมา ค่านี้เองเรียกว่า **“Inherent Flow Characteristic”** เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบวาล์วภายใต้สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการฯ และความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าผู้ผลิตวาล์วจะให้ข้อมูลดังกล่าวในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient (C_V) เทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว ดังในรูปที่ 4-3 ซึ่งค่า Flow Coefficient (C_V) เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลโดยตรงซึ่งเราจะกล่าวในเนื้อหาบทถัดๆๆ ไป

พบว่าวาล์วที่มีขนาดใดๆ หรือมี Inherent Flow Characteristic รูปแบบใดๆ เมื่อเทียบที่อัตราการไหลปริมาตร (Volume Flowrate) เดียวกันและความดันตกคร่อมเท่ากันจะมี Orifice Pass Area เท่ากัน. แต่วาล์วที่มี Flow Characteristic ต่างกันจะให้ระยะการเปิดของวาล์วแตกต่างกันเพื่อให้ได้ Orifice Pass Area เท่ากัน.

SIZE		Relative opening h									
DN	INCH	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
15	0.5	0.161	0.367	0.639	0.997	1.438	1.949	2.566	3.185	3.773	4.3
15/1	0.5/1	0.086	0.171	0.277	0.39	0.551	0.78	1.064	1.4	1.78	2.21
15/2	0.5/2	0.006	0.012	0.033	0.071	0.122	0.184	0.263	0.378	0.614	1.07
20	0.75	0.161	0.367	0.639	0.997	1.438	1.949	2.566	3.185	3.773	4.3
20/1	0.75/1	0.086	0.171	0.277	0.39	0.551	0.78	1.064	1.4	1.78	2.21
20/2	0.75/2	0.006	0.012	0.033	0.071	0.122	0.184	0.263	0.378	0.614	1.07
25	1	0.204	0.523	0.865	1.416	2.138	3.048	4.164	5.394	7.036	9
25/1	1/1	0.161	0.367	0.639	0.997	1.438	1.949	2.566	3.185	3.773	4.3
25/2	1/2	0.086	0.171	0.277	0.39	0.551	0.78	1.064	1.4	1.78	2.21
25/3	1/3	0.006	0.012	0.033	0.071	0.122	0.184	0.263	0.378	0.614	1.07
40	1.5	0.754	1.546	2.604	4.102	6.083	8.353	12.39	17.27	21.62	26
40/1	1.5/1	0.353	0.734	1.239	2.008	2.826	3.93	5.427	7.426	9.441	11.5
50	2	0.754	1.546	2.604	4.102	6.083	8.353	12.39	17.27	21.62	26
50/1	2/1	0.353	0.734	1.239	2.008	2.826	3.93	5.427	7.426	9.441	11.5
80	3	1.04	2.67	4.42	7.24	10.93	15.58	21.28	27.57	35.96	46
80/1	3/1	0.73	1.86	3.08	5.04	7.60	10.84	14.81	19.18	25.02	32
100	4	1.81	4.65	7.69	12.59	19.00	27.09	37.01	47.95	64.54	80
100/1	4/1	1.22	3.14	5.19	8.50	12.83	18.29	24.98	32.36	42.22	54

C_v/d^2	0.22	0.70	1.65	2.81	4.06	5.34	6.43	6.95	7.8	12.0
F_L	0.93	0.93	0.92	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83
x_T	0.69	0.69	0.72	0.63	0.61	0.62	0.65	0.69	0.71	0.70
z	0.70	0.63	0.50	0.37	0.36	0.35	0.31	0.30	0.28	0.28

รูปที่ 4-3 ตัวอย่างความสัมพันธ์ C_V เทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว

เราแบ่ง Inherent Flow Characteristic ออกได้ 3 ลักษณะหลักคือ

1.1. Linear Flow Characteristic วาล์วที่มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังในรูปที่ 4-4 ถือว่าเป็นคุณสมบัติในอุดมคติสำหรับวาล์วนั้นๆ ตัวอย่างเช่นที่ระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว 50% วาล์วสามารถให้ของไหลไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 50% ของอัตราการไหลสูงสุดที่วาล์วยอมให้ของไหลไหลผ่านด้วยความดันตกคร่อมคงที่ (ค่าเท่าใดนั้นต้องดูกันในแต่ละผู้ผลิต) หรือ ระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว 80% วาล์วสามารถให้ของไหลไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 80% ของอัตราการไหลสูงสุดที่วาล์วยอมให้ของไหลไหลผ่านด้วยความดันตกคร่อมคงที่ เป็นต้น จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์ว หรือที่เรียกว่า “Gain” ซึ่งค่อยๆ กล่าวกันต่อไป แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำวาล์วที่มี Inherent Flow Characteristic แบบ Linear ไปติดตั้งเข้ากับระบบท่อซึ่งโดยปกติการไหลภายในท่อจะเปลี่ยนแปลงทั้งอัตราการไหล, อุณหภูมิและความดันของไหลภายในท่อตลอดจนปัจจัยอื่นๆอยู่ตลอดเวลาทำให้ความดันตกคร่อมวาล์ว, อุณหภูมิและความดันตลอดจนอัตราการไหลผ่านวาล์วเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นคุณลักษณะการทำงานที่ให้ผลเป็นเชิงเส้นก็จะบิดเบี้ยวแปลงรูปไปทันทีส่วนจะมากน้อยเพียงใดต้องตรวจสอบจากภาคสนามจริง

วาล์วที่มีลักษณะ Linear Flow Characteristic เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน เช่น

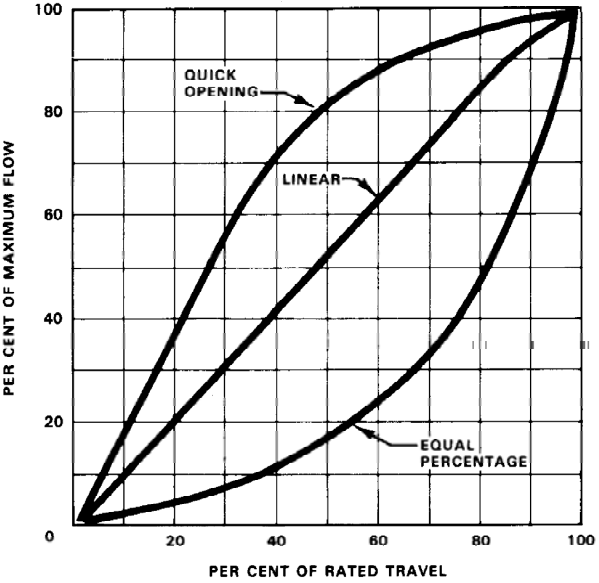
- งานควบคุมระดับของเหลวในกระบวนการใดๆ (Level Control Applications) หรือ
- งานควบคุมหรืองานประยุกต์ใช้งานที่ต้องการควบคุมการไหลและให้มี Gain คงที่หรือต้องการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับการเคลื่อนของลิ้นวาล์ว

- งานที่สัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop)

1.2. Equal-Percentage Flow Characteristic ในช่วงลิ้นวาล์วอยู่ใกล้กับ Seat Ring หรือ Body Ring หรือช่วงระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพียงเล็กน้อยใกล้ตำแหน่งปิด (0% - 40%) การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่านวาล์วเมื่อเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วมีค่าน้อย (ดูรูปที่ 4-4) แต่การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่านวาล์วเมื่อเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วจะมีค่ามากเมื่อลิ้นวาล์วอยู่ในตำแหน่งใกล้เปิดเต็มที่หรือช่วงระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วมากกว่าประมาณ 40% ขึ้นไป ดังนั้นวาล์วที่มีคุณสมบัติ Equal-Percentage Flow Characteristic จึงมีความสามารถควบคุมการไหล (Throttling Control) ที่มีความแม่นยำสูงในช่วงระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพียงเล็กน้อยใกล้ตำแหน่งปิด (0% - 40%) แต่จะเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อลิ้นวาล์วใกล้ตำแหน่งเปิดเต็มที่ (Wide-Open Position)

วาล์วที่มีลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic พบว่าจะเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน เช่น

- งานควบคุมระดับความดันในกระบวนการใดๆ (Pressure Control Applications) หรือ
- งานที่สัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว หรือ
- งานที่คาดว่ามีการเปลี่ยนแปลงความดันตก (Pressure Drop) มาก
- ในระบบหรือกระบวนการใดๆที่มีความดันด้านทางเข้าของระบบหรือกระบวนการน้อยลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น พบว่าวาล์วส่วนใหญ่จะมีลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic
- ใช้เมื่อนึกอะไรไม่ออกหรือยังสงสัยว่าควรเลือกวาล์วลักษณะไหน??



รูปที่ 4-4 Inherent Flow Characteristic

สมการโดยทั่วไปของลักษณะ Inherent Equal-Percentage Flow Characteristic

$$Q = Q_m R^{\left[\frac{x}{T}-1\right]} \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (GPM)

x = ระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว (in.)

T = ระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วมากที่สุด (Maximum Valve Travel) (in.)

Q_m = อัตราการไหลสูงสุด (GPM)

R = ช่วงการใช้งานของวาล์ว (Valve Rangeability) เช่น 18:1, 44:1, 60:1, 9.3:1 เป็นต้น

เรามาดูกันว่าทำไมถึงเรียกว่า Equal-Percentage Flow Characteristic ตัวอย่างเช่นถ้าให้ระยะยกเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว 30% ทำให้วาล์วปล่อยของไหลผ่านวาล์วไป 5 gpm และเมื่อเพิ่มระยะยกเคลื่อนที่ของก้านวาล์วไปที่ 40% ทำให้วาล์วปล่อยของไหลผ่านวาล์วเพิ่มขึ้นเป็น 8 gpm จากนั้นหากเพิ่มระยะยกเคลื่อนที่ของก้านวาล์วขึ้นไปอีกจนมีค่าเท่ากับ 50% ของระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วทั้งหมดแล้วทำให้วาล์วปล่อยของไหลผ่านวาล์วไป 12.8 gpm ดังนั้นถือว่าวาล์วดังกล่าวมีคุณลักษณะเป็น **Equal-Percentage Flow Characteristic เพราะการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วที่เท่ากันทุกครั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วมีค่าคงที่เท่ากันทุกครั้ง** เพราะขั้นแรกระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วเพิ่มขึ้น 10% (จากระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์ว 30 % ไปที่ 40%) ทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไป 60% (จากอัตราการไหล 5 gpm ไปที่ 8 gpm เท่ากับ ((8-5)*100/5) = 60%) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ 10% ของระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วที่เท่ากันทุกครั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อัตราการไหล 60% คงที่เท่ากันทุกครั้งนั่นเอง

Table 1: Comparison of Equal Percentage Change Between Lift and Flow

Stem		Flow	
Lift (%open)	Change	Flow Rate	Change
30%		5 gpm	
	10%		60%
40%		8 gpm	
	10%		60%
50%		12.8 gpm	

รูปที่ 4-5 EQ % Inherent Flow Characteristic

1.3. Quick-Opening Flow Characteristic เป็นวาล์วที่ให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงลิ้นวาล์วอยู่ใกล้กับ Seat Ring หรือ Body Ring หรือช่วงระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพียงเล็กน้อยใกล้ตำแหน่งปิด (0% - 40%) จากนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลจะลดลงเรื่อยๆ จนไม่มี

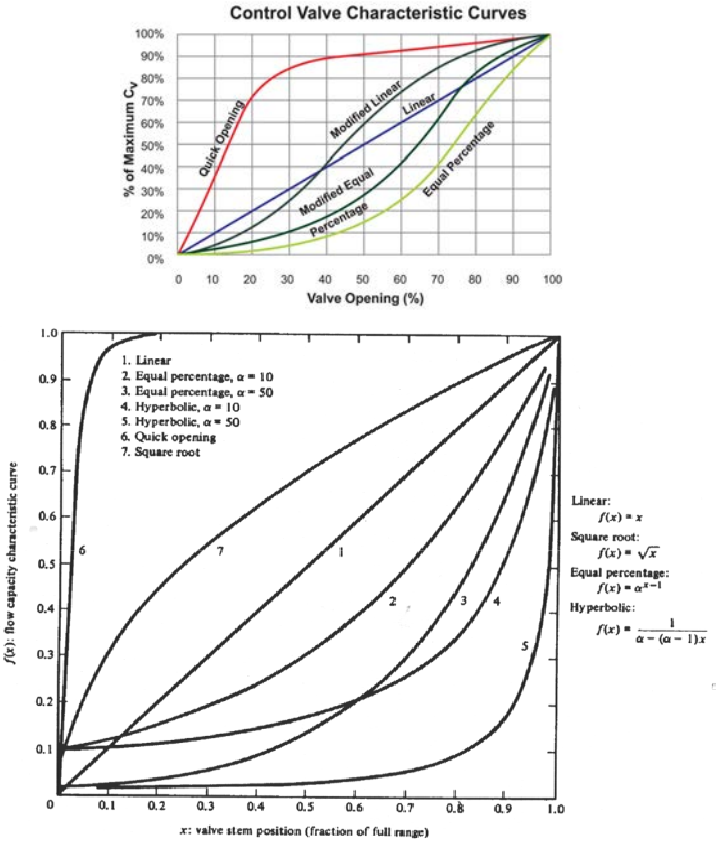
การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเมื่อลิ้นวาล์วใกล้ตำแหน่งเปิดเต็มที่ (Wide-Open Position) ดูรูปที่ 4-4

ควรนำวาล์วลักษณะ Quick-Opening Flow Characteristic ใช้งาน

- บ่อยครั้งวาล์วลักษณะ Quick-Opening Flow Characteristic ถูกนำไปใช้งานสำหรับการปิด-เปิด (ON-OFF) ระบบที่ต้องการอัตราการไหลจำนวนมากอย่างรวดเร็วเพียงระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเพียงเล็กน้อย ผลที่ตามมาจึงเหมาะกับงานควบคุมความดันด้วยการระบายความดันออกไปจากระบบหรือกระบวนการใดๆ (Relief Pressure Applications)
- ในหลายกรณีที่เลือกใช้วาล์วลักษณะ Quick-Opening Flow Characteristic ทดแทนวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic เนื่องจากวาล์วลักษณะ Quick-Opening Flow Characteristic จะมีคุณสมบัติเชิงเส้นเช่นเดียวกันกับ Linear Flow Characteristic จนถึงอัตราการไหลไม่เกิน 70% ของอัตราการไหลสูงสุด หลังจากนั้นคุณสมบัติเชิงเส้นหรือความชันของเส้นตรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เราไม่ค่อยพบวาล์วชนิดนี้ในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

ผู้ผลิตวาล์วจะเป็นผู้ระบุ Flow Characteristic ของวาล์วที่ตนผลิตออกมาและเรียกว่า “Inherent Flow Characteristic” เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบวาล์วแต่ละชนิด, แต่ละรุ่น (Model), แต่ละขนาดหรือแต่ละปัจจัยองค์ประกอบภายในตัววาล์วนั้นๆ ภายใต้สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการฯ โดยขณะทดสอบได้กำหนดให้ความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่เพราะต้องการให้คุณลักษณะของวาล์ว (Characteristic of the Valve) เป็นเพียงปัจจัยเดียวในการควบคุมการไหลในระบบทดสอบ คุณลักษณะของวาล์วดังกล่าวจึงเป็น “Inherent Flow Characteristic” ของตัววาล์วล้วนๆ ซึ่งค่าดังกล่าวไม่ได้สะท้อนสมรรถนะจริงของวาล์วเมื่อนำไปติดตั้งจริงในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการหนึ่งๆ อีกทั้งความดันตกคร่อมวาล์วที่ถูกติดตั้งในระบบท่อของระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการหนึ่งๆ เองก็มีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามการไหลและ

เปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่างๆของระบบฯ เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิดพบว่าความดันตกคร่อมมากที่สุดของระบบฯ จะย้ายมาอยู่ที่ตำแหน่งของวาล์ว (Pressure Shift at Valve) เพียงตำแหน่งเดียวโดยความดันตกคร่อมของระบบท่อหรืออุปกรณ์อื่นๆในระบบฯ หรือกระบวนการฯ มีค่าน้อยลงมากทันทีเมื่อเทียบกับความดันตกคร่อมวาล์วในขณะนั้นเพราะของไหลหยุดไหลเนื่องจากความดันตกคร่อมมีค่าสูงสุดจนของไหลไม่สามารถไหลผ่านวาล์วได้นั้นเอง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เองจึงมีผลอย่างมากต่อคุณลักษณะของวาล์วในส่วน Inherent Flow Characteristic ภายหลังการติดตั้งวาล์ว



รูปที่ 4-6 Inherent Flow Characteristic ในรูปแบบต่างๆ

TABLE 2 Control-Valve-Characteristic Recommendations for Liquid-Level, Pressure, and Flow Control*

Liquid-Level Systems

Control Valve Pressure Drop	Best Inherent Characteristic
Constant ΔP	Linear
Decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load >20% of minimum-load ΔP	Linear
Decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load <20% of minimum-load ΔP	Equal percentage
Increasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load <200% of minimum-load ΔP	Linear
Increasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load >200% of minimum-load ΔP	Quick opening

Pressure Control Systems

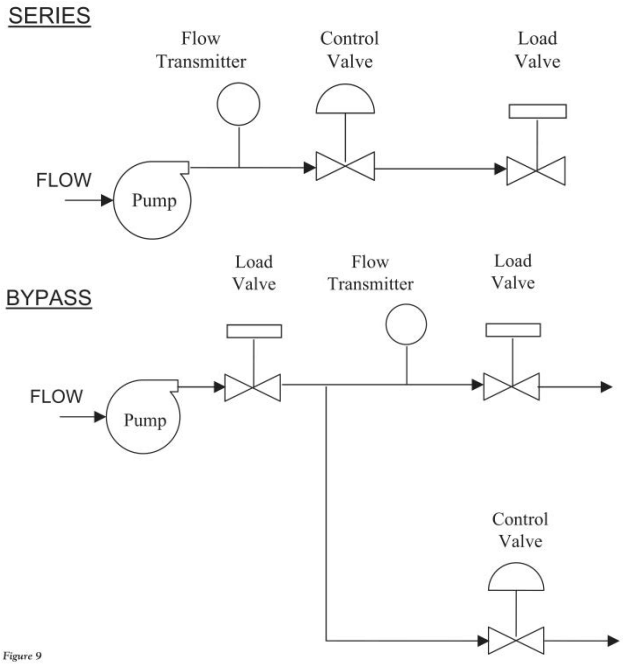
Application	Best Inherent Characteristic
Liquid process	Equal percentage
Gas process, small volume, less than 10 ft of pipe between control valve and load valve	Equal percentage
Gas process, large volume (process has receiver, distribution system, or transmission line exceeding 100 ft of nominal pipe volume), decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load >20% of minimum-load ΔP	Linear
Gas process, large volume, decreasing ΔP with increasing load, ΔP at maximum load <20% of minimum load ΔP	Equal percentage

Flow Control Processes

Flow measurement signal to controller	Location of control valve in relation to measuring element	Best Inherent Characteristic	
		Wide range of flow set point	Small range of flow but large ΔP change at valve with increasing load
Proportional to flow	In series	Linear	Equal percentage
	In bypass†	Linear	Equal percentage
Proportional to flow squared	In series	Linear	Equal percentage
	In bypass	Equal percentage	Equal percentage

* Based on a combination of applied control theory and actual experience. (*Fisher Controls International, Inc.*)
† When control valve closes, flow rate increases in measuring element.

รูปที่ 4-7 แนะนำการใช้งานวาล์วควบคุมในแต่ละ Flow Characteristic กับลักษณะงานควบคุมระดับของเหลว (Liquid-Level), ควบคุมความดัน (Pressure Control), และควบคุมการไหล (Flow Control)



รูปที่ 4-8 ตำแหน่งติดตั้งวาล์วควบคุมในระบบควบคุมการไหล (Flow Control Processes) ในลักษณะ “**Series**” และ “**Bypass**”

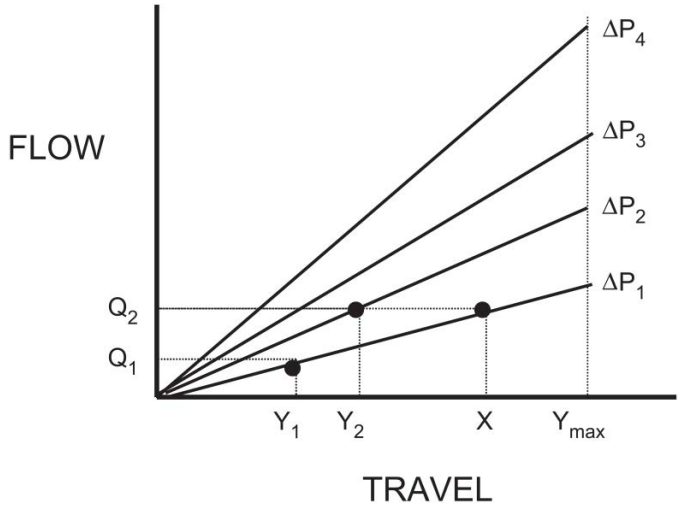
TABLE 6.1f
Valve Characteristics Selection Guide

Service	*Valve* ($\Delta p_{max}/\Delta p_{min}$) *Under 2:1*	*Valve* ($\Delta p_{max}/\Delta p_{min}$) *Over 2:1 but Under 5:1*
Orifice-type flow	Quick-opening	Linear
Flow	Linear	Equal %
Level	Linear	Equal %
Gas pressure	Linear	Equal %
Liquid pressure	Equal %	Equal %

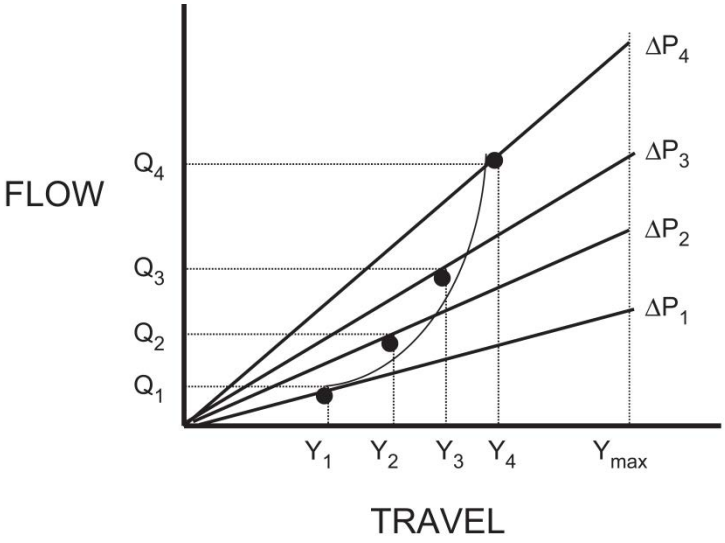
รูปที่ 4-9 ตำแหน่งติดตั้งวาล์วควบคุมในระบบ “**Series**” และ “**Bypass**”

ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 4-10 (ก) เมื่อกระบวนการหนึ่งเริ่มทำงานอัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสมดุลมีอัตราการไหลเท่ากับ Q_1 มีระยะยกก้านวาล์วเท่ากับ Y_1 มีความดันตกคร่อมวาล์วเท่ากับ ΔP_1 (กราฟดังกล่าวนี้ยังไม่ใช่กราฟที่เขียนบนความสัมพันธ์เทียบกับค่า “% สูงสุด” เช่น “% อัตราการไหลสูงสุด” เทียบกับ “% ระยะยกก้านวาล์วสูงสุด”) หากระบบหรือกระบวนการหนึ่งเพิ่มอัตราการไหลเป็น Q_2 มีระยะยกก้านวาล์ว Y_2 มีความดันตกคร่อมวาล์วเท่ากับ ΔP_2 แทนที่เป็นระยะยกก้านวาล์ว X เพื่อให้มีความดันตกคร่อมวาล์วคงที่เท่ากับ ΔP_1 ทั้งนี้เพราะในความเป็นจริงไม่สามารถทำให้ความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าคงที่ได้ ในเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วภายในท่อเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดความเสียดทานสูญเสียสูงมากขึ้นตามมา ส่งผลให้ความดันตกคร่อมในแต่ละอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในระบบท่อก็จะเพิ่มสูงขึ้นนั้นเองโดยเฉพาะวาล์ว ส่งผลต่อมาคือเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นจาก Q_2 เป็น Q_3 และ Q_4 จะมีระยะยกก้านวาล์วจาก Y_2 เป็น Y_3 และ Y_4 ตามลำดับและอธิบายด้วยเหตุผลเช่นเดิม เมื่อเรานำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วจะพบว่าคุณลักษณะของวาล์ว Inherent Linear Flow Characteristic ถึงแม้ให้ความเป็นเชิงเส้นตรงหลายเส้นภายใต้ค่าความดันตกคร่อมคงที่ที่แตกต่างกันแต่จะเปลี่ยนไปเป็นกราฟลักษณะเส้นโค้งแทนดังในรูปที่ 4-10 (ข)

ดังนั้นจึงมีการกำหนดตัวแปรที่เรียกว่า **“Valve Authority”** เป็นตัวบ่งบอกการเบี่ยงเบนของคุณลักษณะวาล์วภายหลังการติดตั้งวาล์วเข้าระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการหนึ่งๆ จากคุณลักษณะวาล์วเดิมซึ่งระบุโดยผู้ผลิตที่เรียกว่า “Inherent Flow Characteristic” (อาจเรียกว่า “Stand Alone”) เปลี่ยนไปเป็น **“Installed Flow Characteristic”** (อาจเรียกว่า “System”) ซึ่ง**เป็นผลของคุณลักษณะโดยรวมระหว่างคุณลักษณะของวาล์ว (Inherent Flow Characteristic) เองกับคุณลักษณะของระบบท่อหรือระบบที่ติดตั้งวาล์ว (System)** ไม่ใช่เป็นผลของการทำให้ความดันทำงานของระบบเปลี่ยนแปลง ค่า Valve Authority เขียนในรูปสมการจะได้ว่า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านวาล์วเทียบกับระยะยกตัวเคลื่อนที่ของก้านวาล์วที่มีค่าความดันตกคร่อมคงที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการทำงานจริง

$$N = \frac{\Delta P_{valve}}{\Delta P_{system}} \quad (4\text{-}2)$$

เมื่อ N = Valve Authority (ไม่มีหน่วย)

ΔP_{valve} = Full Flow Valve Pressure Drop

ΔP_{system} = System Pressure Drop (including the valve)

และเราสามารถระบุ Installed Flow Characteristic ได้จากค่าความสัมพันธ์ Valve Authority (N) กับ Inherent Flow Characteristic ด้วยสมการ

$$Q_{installed} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N}}{\frac{1}{N} - 1 + \frac{1}{k^2}}} \quad (4\text{-}3)$$

เมื่อ $Q_{installed}$ = Actual Installed Flow Rate, Decimal Percentage (มีค่าระหว่าง **0.0 - 1.0**)

N = Valve Authority, Decimal Percentage (มีค่าระหว่าง **0.0 - 1.0**)

$k = \frac{Q}{Q_m}$ = Inherent Flow Rate, Decimal Percentage (มีค่าระหว่าง **0.0 - 1.0**)

Q = อัตราการไหลขณะเวลานั้น

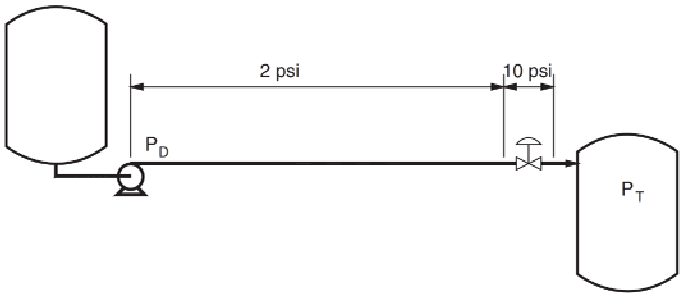
Q_m = อัตราการไหลสูงสุดของระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการหนึ่งๆ

สำหรับวาล์วควบคุมในอุดมคติแล้วจึงควรเป็นวาล์วที่มีค่า Control Valve Gain (K_v) คงที่ตลอดช่วงอัตราการไหลนั้นคือมีคุณลักษณะของการทำงานที่เรียกว่า **Linear "Installed" Flow Characteristic** ซึ่งงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เป็นอีกงานหนึ่งที่ต้องการวาล์วที่มีคุณสมบัติ

ดังกล่าวเพื่อใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification), การสอบเทียบ (Calibration) และการใช้งานระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวในการซื้อขายจริงๆ

Flow System Dominated by Control Valve

เมื่อสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop)



รูปที่ 4-11 ตัวอย่างระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้ง

ตัวอย่างในรูปที่ 4-11

กำหนดให้ของเหลวในระบบมีค่าความถ่วงจำเพาะ (S.G.) เท่ากับ 1.0 ถูกปั๊มจากถังทางด้านซ้ายมือไปยังถังทางขวามือที่อัตราการไหลออกแบบที่ 60 gpm โดยความดันด้านทางออกของปั๊มเท่ากับ P_D (บนสมมุติฐานให้ความดันด้านทางออกปั๊มมีค่าคงที่ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงต้องนำกราฟสมรรถนะของปั๊มมาพิจารณาตามอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปดังตัวอย่างในรูปที่ 4-12) ไปยังถังปลายทางซึ่งมีความดันภายในถังเท่ากับ P_T ในส่วนความดันตกคร่อมพบว่า

- ความดันสูญเสียในระบบท่อมีค่าเท่ากับ 2 psi
- ความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP_V) เท่ากับ 10 psi ที่สภาวะออกแบบ

ด้วยเหตุนี้ความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบสำหรับการไหลของเหลวที่มี (Total pressure drop available; ΔP_T) จึงมีค่าเท่ากับ 12 psi ดังนั้นเมื่อพิจารณาความดันตกคร่อมวาล์วจึงเป็นสัดส่วน 10*100/12 = 83.33% ($\%\Delta P_V > 50\%$) จึงถือว่าเป็นระบบที่มีสัดส่วนความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว

พิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุด เราหาขนาด

- ประยุกต์ใช้งาน C_V กับท่อ จะได้ว่า

$$C_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{2}{1}}} = 42.4 \ \text{gpm/psi}^{1/2}$$

ดังนั้นที่อัตราการไหลสูงสุดในระบบท่อ สมมุติว่าเราเลือกใช้วาล์วที่มีค่า C_V สูงมากที่ค่าอนันต์นั้นคือ $\Delta P_V = 0$ (ไม่มีความดันตกคร่อมวาล์วเพราะเลือกวาล์วที่มีขนาดใหญ่มากๆ เพื่อให้ได้ค่า C_V สูงมากๆ) ความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบสำหรับการไหลของเหลวที่มี (ΔP_T) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 psi จะเกิดขึ้นกับระบบท่อเพียงอย่างเดียว แล้วการไหลผ่านท่อจะมีค่าอัตราการไหลสุงสุดอยู่ที่

$$q = C_V \sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}} = 42.4 \sqrt{\frac{12}{1}} = 147 \ \text{gpm/psi}^{1/2}$$

- การหาขนาดของวาล์วโดยใช้ C_V

$$C_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P_V}{G_f}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{10}{1}}} = 19 \ \text{gpm/psi}^{1/2}$$

เมื่อ C_V = Valve Flow Coefficient (GPM/psi$^{1/2}$)

q = อัตราการไหล (GPM)

ΔP_V = ความดันตกคร่อมวาล์ว (psi);

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเหลวที่กำหนดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (น้ำที่ 60 °F มีค่า G_f เท่ากับ 1)

เราให้ค่า $C_{V,100}$ เป็นค่า C_V ที่ลิ้นวาล์วเปิดเต็มที่ 100% และมีค่าเท่ากับ 19 ดังนั้นเมื่อวาล์วเปิดเต็มที่ 100% จะให้การไหลของเหลวผ่านวาล์วเท่ากับ 60 gpm ในกรณีที่เราเลือกวาล์วที่มีค่า $C_{V,100}$ เพิ่มสูงขึ้น หมายถึงเราเพิ่มขนาดของวาล์วให้ใหญ่ขึ้น (ในกรณีเป็นวาล์วชนิดเดียวกัน) ซึ่งเราต้องตรวจสอบผลที่ตามมาเมื่อเพิ่มค่า $C_{V,100}$ ให้สูงขึ้นใน 2 ประเด็น คือ

- การไหลเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อก้านวาล์วยกตัวเต็มที่ 100% แต่จะไม่สามารถมีอัตราการไหลสูงกว่า 147 gpm
- การไหลด้วยอัตราการไหล 60 gpm จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งการยกก้านวาล์วในตำแหน่งที่ % น้อยลงกว่าเดิม

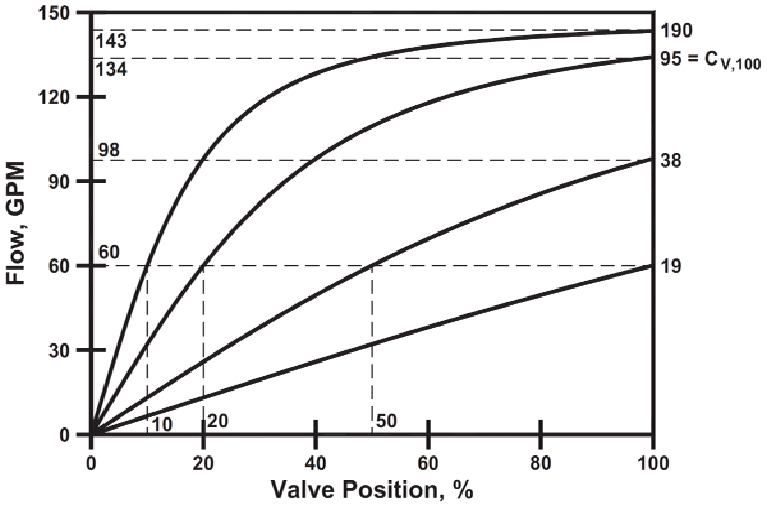
ก. กรณีเลือกใช้วาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic เมื่อทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและพิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุดเพียงค่าเดียว (ส่วนที่เหลือของเส้นกราฟต้องคำนวณจริงทั้งหมด) ผลการคำนวณเป็นไปตามรูปที่ 4-12 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ค่าที่อัตราการไหลสุงสุดดังในรูปที่ 4-13

ในรูปที่ 4-12 เมื่อเราเลือกใช้ $C_{V,100}$ = 19 ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 60 gpm แต่เมื่อเราเพิ่มขนาดวาล์วเป็น 2 เท่าด้วยการเพิ่มค่า $C_{V,100}$ เป็น 2 เท่า หรือ $2C_{V,100}$ = 38 นำค่าไปเปิดใน Catalog ของผู้ผลิตวาล์วที่เป็นชนิดเดียวกัน และมีลักษณะ Linear Flow Characteristic ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 98 gpm แต่ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 50% (ดูรูปที่ 4-13) การเพิ่มขนาดของวาล์วด้วยการเพิ่ม $C_{V,100}$ จนถึง 10 เท่าหรือ $10C_{V,100}$ = 190 ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 10%

ผลสรุปในกรณีเลือกวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ให้มีขนาดเกินพอดีหรือ Oversize ในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้งวาล์ว

$C_{V,100}$	Q for M = 100%	M for Q = 60 GPM	Comments
$C_{V,SIZE}$	60 GPM	100%	Exhibits only a small departure from linearity.
2 $C_{V,SIZE}$	98 GPM	50%	Exhibits a larger but still small departure from linearity.
5 $C_{V,SIZE}$	134 GPM	20%	Exhibits a significant departure from linearity.
10 $C_{V,SIZE}$	143 GPM	10%	Relationship is very nonlinear. If the valve is more than 50% open, the sensitivity is nearly zero. The operator would observe that "once this valve is more than 50% open, it has no effect on the process."

รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบผลการเพิ่มขนาดวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic พิจารณาจากการเพิ่ม $C_{V,100}$ ต่ออัตราการไหลและระยะก้านวาล์วยกตัว (M)



รูปที่ 4-13 ตัวอย่างผลกระทบจากการเลือกใช้วาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ที่มีขนาดเกินพอดีในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้ง

ผลที่ได้ก็คือ Installed Flow Characteristic จะเปลี่ยนจากลักษณะ Linear Flow Characteristic ไปในทิศทางแนวโน้มของวาล์วลักษณะ Quick-Opening Flow Characteristic ดังในรูปที่ 4-13

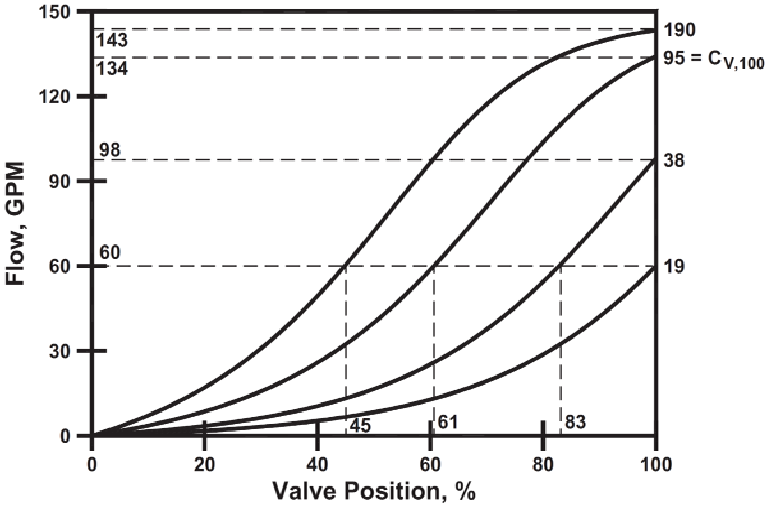
ข. กรณีเลือกใช้วาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic เมื่อทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและพิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุดเพียงค่าเดียว (ส่วนที่เหลือของเส้นกราฟต้องคำนวณจริงทั้งหมด) ผลการคำนวณเป็นไปตามรูปที่ 4-14 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ค่าที่อัตราการไหลสุงสุดดังในรูปที่ 4-15

ในรูปที่ 4-14 เมื่อเราเลือกใช้ $C_{V,100}$ = 19 ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 60 gpm แต่เมื่อเราเพิ่มขนาดวาล์วเป็น 2 เท่าด้วยการเพิ่มค่า $C_{V,100}$ เป็น 2 เท่า หรือ $2C_{V,100}$ = 38 นำค่าไปเปิดใน Catalog ของผู้ผลิตวาล์วที่เป็นชนิดเดียวกัน และมีลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 98 gpm แต่ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 83% (ดูรูปที่ 4-15) การเพิ่มขนาดของวาล์วด้วยการเพิ่ม $C_{V,100}$ จนถึง 10 เท่าหรือ $10C_{V,100}$ = 190 ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 45%

ผลสรุปในกรณีเลือกวาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ให้มีขนาดเกินพอดีหรือ Oversizing ในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้งผลที่ได้ก็คือ Installed Flow Characteristic จะเปลี่ยนจากลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ไปในทิศทางแนวโน้มของวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ดังในรูปที่ 4-15 ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานที่เราต้องการในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว การเลือกขนาดวาล์วลักษณะนี้ให้มีขนาด Oversizing ถือว่าพอให้อภัยได้

$C_{V,100}$	Q for M = 100%	M for Q = 60 GPM	Comments
$C_{V,SIZE}$	60 GPM	100%	Exhibits the nonlinear behavior typical of equal-percentage characteristics.
2 $C_{V,SIZE}$	98 GPM	83%	Exhibits the nonlinear behavior typical of equal-percentage characteristics.
5 $C_{V,SIZE}$	134 GPM	61%	Decreasing sensitivity behavior appears at high valve openings.
10 $C_{V,SIZE}$	143 GPM	45%	Decreasing sensitivity behavior is more pronounced at large valve openings. An equal-percentage valve that operates at less than 50% open is grossly oversized.

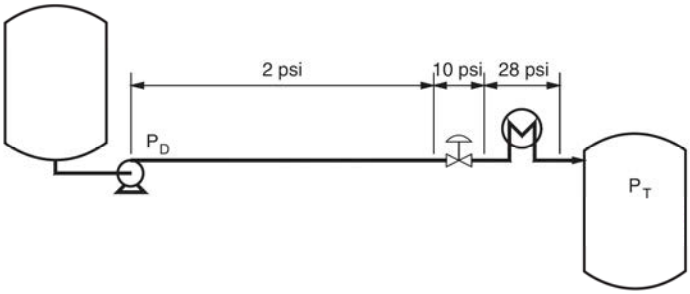
รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบผลการเพิ่มขนาดวาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic พิจารณาจากการเพิ่ม $C_{V,100}$ ต่ออัตราการไหลและระยะก้านวาล์วยกตัว (M)



รูปที่ 4-15 ตัวอย่างผลกระทบจากการเลือกใช้วาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ที่มีขนาดเกินพอดีในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้ง

Flow System Dominated by Process

เมื่อสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop)



รูปที่ 4-16 ตัวอย่างระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว

ตัวอย่างในรูปที่ 4-16

จากระบบหรือกระบวนการเดิมในรูปที่ 4-11 เราทำการเพิ่ม Heat Exchanger เข้าไปให้อยู่ระหว่างวาล์วควบคุมกับถังปลายทางซึ่งมีความดันภายในถังเท่ากับ P_T ของเหลวในระบบมีค่าความถ่วงจำเพาะ (S.G.) เท่ากับ 1.0 ถูกปั๊มจากถังด้านซ้ายมือไปยังถังทางขวามือที่อัตราการไหลออกแบบที่ 60 gpm โดยความดันด้านทางออกของปั๊มเท่ากับ P_D ในส่วนความดันตกคร่อมพบว่า

- ความดันสูญเสียในระบบท่อจากปั๊มถึงวาล์วควบคุมมีค่าเท่ากับ 2 psi
- ความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP_V) เท่ากับ 10 psi ที่สภาวะออกแบบ
- ความดันตกคร่อม Heat Exchanger (ΔP_{HE}) เท่ากับ 28 psi ที่สภาวะออกแบบ

ด้วยเหตุนี้ความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบสำหรับการไหลของเหลวที่มี (Total pressure drop available; ΔP_T) จึงมีค่าเท่ากับ 40 psi ดังนั้นเมื่อพิจารณาความดันตกคร่อมวาล์วจึงเป็นสัดส่วน 10*100/40 = 25% ที่สภาวะออกแบบ จึงถือว่า

เป็นระบบที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว

พิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุด เราหาขนาด

- ประยุกต์ใช้งาน C_V กับท่อกับ Heat Exchanger จะได้ว่า

$$C_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{30}{1}}} = 11.0 \quad gpm/psi^{1/2}$$

ดังนั้นที่อัตราการไหลสูงสุดในระบบท่อ สมมุติว่าเราเลือกใช้วาล์วที่มีค่า C_V สูงมากที่ค่าอนันต์นั้นคือ $\Delta P_V = 0$ (ไม่มีความดันตกคร่อมวาล์วเพราะเลือกวาล์วที่มีขนาดใหญ่มากๆ เพื่อให้ได้ค่า C_V สูงมากๆ) ความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบสำหรับการไหลของเหลวที่มี (ΔP_T) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 40 psi จะเกิดขึ้นกับระบบท่อกับ Heat Exchanger แล้วการไหลผ่านท่อจะมีค่าอัตราการไหลสุงสุดอยู่ที่

$$q = C_V \sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}} = 11.0 \sqrt{\frac{40}{1}} = 69.6 \quad gpm/psi^{1/2}$$

- การหาขนาดของวาล์วโดยใช้ C_V

$$C_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P_V}{G_f}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{10}{1}}} = 19 \quad gpm/psi^{1/2}$$

เราให้ค่า $C_{V,100}$ เป็นค่า C_V ที่ลิ้นวาล์วเปิดเต็มที่ 100% และมีค่าเท่ากับ 19 ดังนั้นเมื่อวาล์วเปิดเต็มที่ 100% จะให้การไหลของเหลวผ่านวาล์วเท่ากับ 60 gpm ในกรณีที่เราเลือกวาล์วที่มีค่า $C_{V,100}$ เพิ่มสูงขึ้น นั้นหมายถึงเราเพิ่มขนาดของวาล์วให้ใหญ่ขึ้น (ในกรณีเป็นวาล์วชนิดเดียวกัน) ซึ่งเราต้องตรวจสอบผลที่ตามมาเมื่อเพิ่มค่า $C_{V,100}$ ให้สูงขึ้นใน 2 ประเด็น คือ

- การไหลเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อก้านวาล์วยกตัวเต็มที่ 100% แต่จะไม่สามารถมีการไหลสูงกว่า 147 gpm
- การไหลด้วยอัตราการไหล 60 gpm จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งการยกก้านวาล์วในตำแหน่งที่ % น้อยลงกว่าเดิม

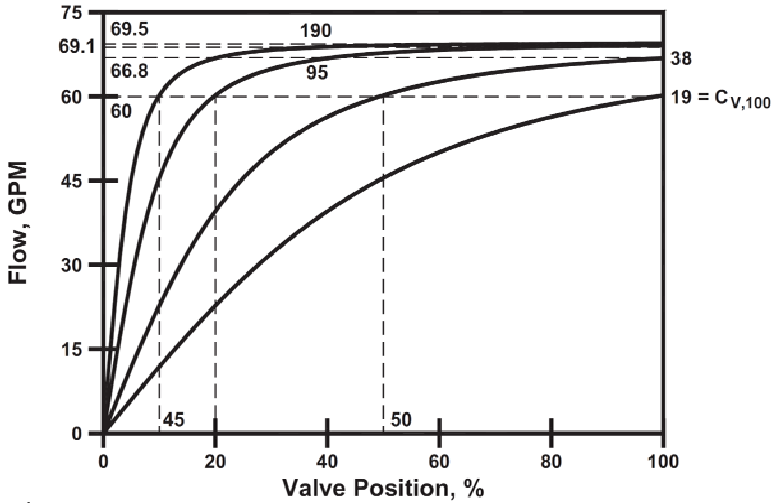
ก. กรณีที่เลือกใช้วาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic เมื่อทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและพิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุดเพียงค่าเดียว (ส่วนที่เหลือของเส้นกราฟต้องคำนวณจริงทั้งหมด) ผลการคำนวณเป็นไปตามรูปที่ 4-17 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ค่าที่อัตราการไหลสุงสุดดังในรูปที่ 4-18

ในรูปที่ 4-17 เมื่อเราเลือกใช้ $C_{V,100}$ = 19 ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 60 gpm แต่เมื่อเราเพิ่มขนาดวาล์วเป็น 2 เท่าด้วยการเพิ่มค่า $C_{V,100}$ เป็น 2 เท่า หรือ $2C_{V,100}$ = 38 นำค่าไปเปิดใน Catalog ของผู้ผลิตวาล์วที่เป็นชนิดเดียวกัน และมีลักษณะ Linear Flow Characteristic ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 66.8 gpm แต่ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 50% (ดูรูปที่ 4-18) การเพิ่มขนาดของวาล์วด้วยการเพิ่ม $C_{V,100}$ จนถึง 10 เท่าหรือ $10C_{V,100}$ = 190 ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 10%

ผลสรุปในกรณีเลือกวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ให้มีขนาดเกินพอดีหรือ Oversize ในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์วเดิมทีแม้เราจะเลือกวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic แต่เนื่องจากความดันสูญเสียของทั้งระบบเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับอัตราการไหลยกกำลังสอง ดังนั้นถึงแม้เราเลือกวาล์วที่มีขนาดพอดีแล้วก็ตามแต่ Installed Flow Characteristic ของวาล์วให้ผลไปในทางที่ไม่เป็นเชิงเส้นส่งผลให้เมื่อทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้ใหญ่เกินความจำเป็น หรือ Oversizing ยิ่งส่งผลกระทบให้ Installed Flow Characteristic ของวาล์วยิ่งสูญเสียความเป็นเชิงเส้นมากขึ้น จึงไม่ควรเลือกวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ใช้กับระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว ดังในรูปที่ 4-18

$C_{V,100}$	Q for M = 100%	M for Q = 60 GPM	Comments
$C_{V,SIZE}$	60 GPM	100%	Exhibits decreasing sensitivity characteristics.
2 $C_{V,SIZE}$	66.8 GPM	50%	Exhibits even stronger decreasing sensitivity characteristics.
5 $C_{V,SIZE}$	69.1 GPM	20%	Above an opening of 50%, the valve has almost no effect on flow.
10 $C_{V,SIZE}$	69.5 GPM	10%	Above an opening of 25%, the valve has almost no effect on flow.

รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบผลการเพิ่มขนาดวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic พิจารณาจากการเพิ่ม $C_{V,100}$ ต่ออัตราการไหลและระยะก้านวาล์วยกตัว (M)



รูปที่ 4-18 ตัวอย่างผลกระทบจากการเลือกใช้วาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ที่มีขนาดเกินพอดีในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว

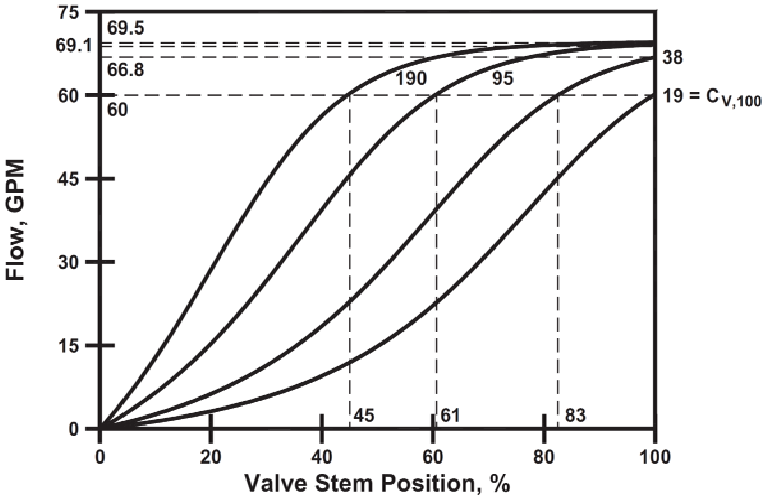
ข. กรณีเลือกใช้วาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic เมื่อทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและพิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุดเพียงค่าเดียว (ส่วนที่เหลือของเส้นกราฟต้องคำนวณจริงทั้งหมด) ผลการคำนวณเป็นไปตามรูปที่ 4-19 และเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ค่าที่อัตราการไหลสุงสุดดังในรูปที่ 4-20

ในรูปที่ 4-19 เมื่อเราเลือกใช้ $C_{V,100}$ = 19 ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 60 gpm แต่เมื่อเราเพิ่มขนาดวาล์วเป็น 2 เท่าด้วยการเพิ่มค่า $C_{V,100}$ เป็น 2 เท่า หรือ $2C_{V,100}$ = 38 นำค่าไปเปิดใน Catalog ของผู้ผลิตวาล์วที่เป็นชนิดเดียวกัน และมีลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ที่ระยะเปิดวาล์วเต็มที่หรือระยะยกตัวก้านวาล์ว 100% จะให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลสูงสุด 66.8 gpm แต่ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 83% (ดูรูปที่ 4-20) การเพิ่มขนาดของวาล์วด้วยการเพิ่ม $C_{V,100}$ จนถึง 10 เท่าหรือ $10C_{V,100}$ = 190 ถ้าต้องการให้การไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลเพียง 60 gpm ต้องใช้ระยะยกตัวก้านวาล์ว 45%

เราจะเห็นได้ว่าเนื่องจากเป็นระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว การเพิ่มขนาดวาล์วด้วยการเพิ่มค่า C_V จึงแทบไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการไหลสูงสุดได้เนื่องจากมีความดันตกคร่อมวาล์วน้อย ($\%\Delta P_V$ = 25%) ทำให้ที่ตำแหน่งยกก้านวาล์วสูง กราฟจะมีลักษณะราบเรียบ การเลือกวาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ให้มีขนาดเกินพอดีหรือ Oversizing ให้ผลของ Installed Flow Characteristic จากลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ไปในทิศทางแนวโน้มของวาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic ในช่วงกว้างโดยเฉพาะช่วงระยะยกก้านวาล์วที่ 30%-70%

$C_{V,100}$	Q for M = 100%	M for Q = 60 GPM	Comments
$C_{V,SIZE}$	60 GPM	100%	Reasonably linear from a valve opening of 50% up.
2 $C_{V,SIZE}$	66.8 GPM	83%	Quite linear between M = 40% and M = 80%.
5 $C_{V,SIZE}$	69.1 GPM	61%	Reasonably linear below 61%, but above 61%, the effect on flow decreases rapidly.
10 $C_{V,SIZE}$	69.5 GPM	45%	The operators observe that "once the valve is more than 50% open, it has no effect on the process."

รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบผลการเพิ่มขนาดวาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic พิจารณาจากการเพิ่ม $C_{V,100}$ ต่ออัตราการไหลและระยะก้านวาล์วยกตัว (M)



รูปที่ 4-20 ตัวอย่างผลกระทบจากการเลือกใช้วาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic ที่มีขนาดเกินพอดีในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว

ระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว นั้นคือความดันตกคร่อมวาล์วน้อย ($\%\Delta P_V \leq 50\%$) เราจึงควรเลือกใช้วาล์วลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic

ในระบบหรือกระบวนการที่มีสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ทำการติดตั้ง นั้นคือความดันตกคร่อมวาล์วมาก ($\%\Delta P_V \geq 50\%$) เราจึงควรเลือกใช้วาล์วลักษณะ Linear Flow Characteristic แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาใช้รูปที่ 4-7 เป็นหลัก

2. Rangeability; R (ช่วงการใช้งานควบคุมการไหลได้ของวาล์ว)

มีเอกสารบางแหล่งอาจกำหนดให้ Rangeability คือ อัตราส่วนระหว่างการไหลที่สามารถควบคุมได้สูงสุดต่อการไหลที่สามารถควบคุมได้ต่ำสุด ดังนั้นวาล์วที่มีค่า Rangeability กว้างมากเท่าใดยิ่งเป็นที่ต้องการเนื่องจากแสดงว่าวาล์วดังกล่าวนั้นสามารถควบคุมช่วงอัตราการไหลได้กว้างตลอดช่วงระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์ว ด้วยเหตุนี้จึงอยู่ในรูปสมการ

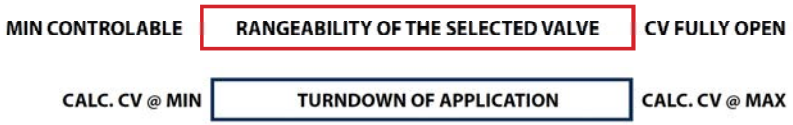
$$R = \frac{Q_{Max.Controllable\ Flow}}{Q_{Min.Controllable\ Flow}} \qquad (4\text{-}4)$$

และมีเอกสารบางแหล่งกำหนดให้ Rangeability คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Flow Coefficient (C_V) มากที่สุดหรือวาล์วเปิดเต็มที่ต่อค่า Flow Coefficient (C_V) น้อยที่สุดของค่า C_V ที่ผู้ผลิตระบุตาม Inherent Flow Characteristic ของวาล์วหรือค่า C_V ต่ำที่สุดที่สามารถควบคุมได้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าเมื่อทดสอบค่า C_V ที่ผู้ผลิตระบุแล้วยังคงให้ค่าไม่เบี่ยงเบนไปจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISA ก็จะได้อีกรูปแบบความสัมพันธ์หนึ่งคือ

$$R = \frac{C_{V\ Max.}}{C_{V\ Min.}} \qquad (4\text{-}5)$$

Rangeability จะมีความหมายแตกต่างจาก Turndown ที่เราอาจพบในตัวมาตรวัด (Flowmeter) เป็นต้น โดย Rangeability มีความหมายในเชิงของช่วงของการควบคุมได้ในขณะที่ Turndown มีความหมายในเชิงความต้องการนำไปใช้งานคือเป็นสัดส่วนค่า C_V ที่คำนวณได้ที่สภาวะเงื่อนไขสูงสุดกับค่า C_V ที่คำนวณได้ที่สภาวะเงื่อนไขต่ำสุด **ดังนั้นในการเลือกวาล์วต้องเลือกให้ Rangeability มีค่ามากกว่า Turndown**

เมื่อเรามี Rangeability หรือช่วงการใช้งานควบคุมการไหลได้ของวาล์วในทางกลับกัน ก็ต้องมีช่วงที่วาล์วไม่สามารถควบคุมการไหลได้ เช่น บริเวณระยะยกเคลื่อนที่ก้านวาล์วเมื่อลิ้นวาล์วใกล้ชิดกับ Seat Ring การควบคุมระยะยกหรือเคลื่อนที่ของก้านวาล์วอาจไม่เสถียรเนื่องจากจะเกิดการไหลของไหลผ่านคอคอดทำให้เกิดการแปรปรวนทั้งความเร็วของไหลที่มีค่าสูงมากๆ และความดันที่มีค่าต่ำมากๆ ในบริเวณดังกล่าว เราจึงต้องมาคำนวณหาอัตราการไหลที่วาล์วไม่สามารถควบคุมการไหลได้ ดังตัวอย่างข้างล่าง



รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบ Rangeability กับ Turndown ของวาล์ว

ตัวอย่าง คำนวณหาอัตราการไหลที่วาล์วไม่สามารถควบคุมการไหลของวาล์วขนาด 6 นิ้ว ชนิด Globe Valve ซึ่งมีค่า Flow Coefficient (C_V) เท่ากับ 350 และมี Rangeability (R) เท่ากับ 10.4 : 1 บนสมมุติฐานที่ตำแหน่งเปิดวาล์วเต็มที่ (Full Flow หรือ Wide Open) มีความดันตกคร่อมวาล์ว 5 psig (แต่จากที่เราได้กล่าวไว้ในเรื่อง Pressure Shift at Valve (อยู่ในเนื้อหาถัดไป) จะพบว่าจริงๆแล้วค่าความดันตกคร่อมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ Pressure Shift ทำให้ค่าความดันตกคร่อมไม่คงที่ แต่ในที่นี้ถือว่าพอประมาณๆ ไปก็แล้วกัน ยิ่งทำงานมากเราจะยิ่งพบว่าไม่มีอะไรวัดได้เลยจริงๆ ชิ

พับผ้า.. ได้แต่พอประมาณๆๆ) ดังนั้นอัตราการไหลที่วาล์วไม่สามารถควบคุมการไหลของวาล์ว (Uncontrollable Flow Rate) มีค่าเท่ากับ

$$\text{Uncontrollable Flow Rate} = \left(\frac{C_V}{R}\right)\sqrt{\Delta P} = \left(\frac{350}{10.4}\right)\sqrt{5} = 75 \text{ gpm} \quad (4\text{-}6)$$

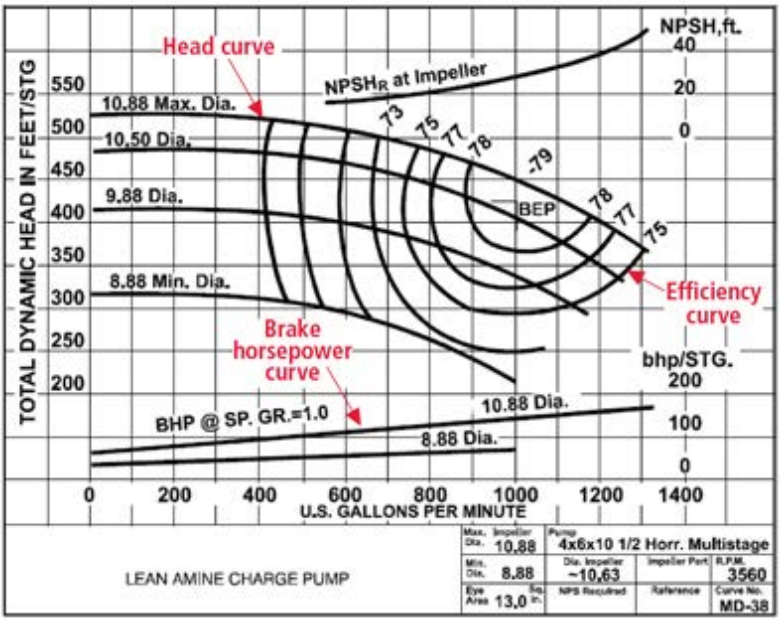
3. Pressure Shift at Valve

เรื่องนี้น่าสนใจเพราะบอกเราให้ทราบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน ณ ตำแหน่งติดตั้งวาล์วในระบบท่อทุกครั้งที่วาล์วเปลี่ยนแปลงตำแหน่งปิด-เปิดและเป็นเหตุให้ความดันตกคร่อมวาล์วไม่คงที่ (คิดและจิตนาการให้ทัน..ใครจินตนาการไม่ทันก็แล้วกันไป....) การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมวาล์วเนื่องจากของไหลไหลผ่านวาล์วมาจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัยหลักๆ คือ

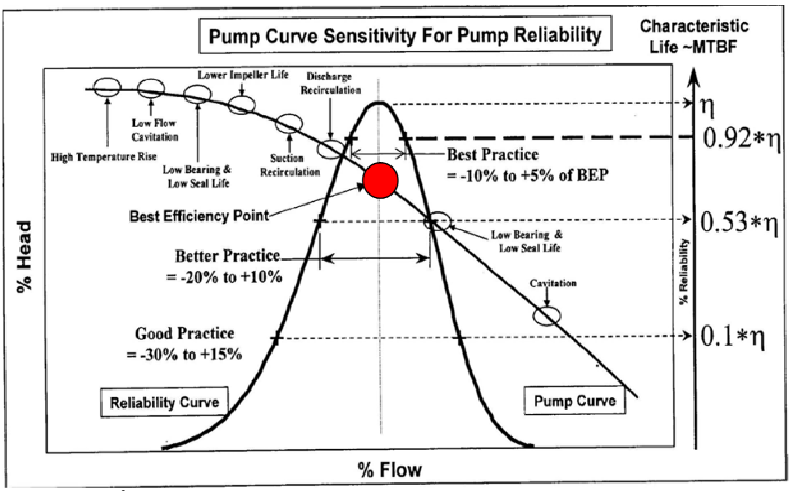
ปัจจัยที่หนึ่ง คุณลักษณะปั๊ม (Pump Characteristic) หรือสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance) ซึ่งเป็นคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันด้านทางออกของปั๊ม (ดูรูปที่ 4-22) จากคุณลักษณะของปั๊มโดยทั่วไปพบว่าเมื่อปั๊มเพิ่มความดันด้านทางออกจะทำให้ปั๊มส่งของไหลด้วยอัตราการไหลลดลง ออ! ในที่นี้จะตีกรอบว่าเราใช้ปั๊มชนิด Centrifugal Pump ก่อน.. ตกลงตามนี้นะ

ปัจจัยที่สอง ความเสียดทานสูญเสียภายในท่อคำนวณได้จากสมการ Darcy's Formular หาความเสียดทานสูญเสียในท่อดังในสมการ (4-7) จะเห็นได้ว่าค่าความดันสูญเสียเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของไหลภายในท่อยกกำลังสองหรืออัตราการไหลภายในท่อยกกำลังสอง (เนื่องจาก $Q = vA$) ดูรูปที่ 4-24 ดังนั้นเราจึงพบว่าความเสียดทานสูญเสียภายในท่อลดลงเมื่ออัตราการไหลลดลง (h_L ลดลง เมื่อ Q ลดลง เพราะ v ลดลง)

$$h_L = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \quad (4\text{-}7)$$

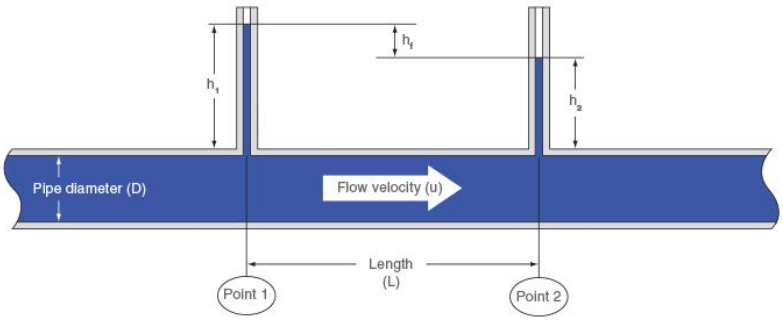


รูปที่ 4-22 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance)



รูปที่ 4-23 Pump Curve Sensitivity For Pump Reliability

เมื่อเราหรี่วาล์วลง จากกราฟสมรรถนะของปั๊มในรูปที่ 4-22 ปั๊มจะมีการอั้นความดันทางด้านออกปั๊มไว้จนสูงขึ้นทำให้อัตราการไหลที่ปั๊มผลิตได้ลดลงสอดรับกับความดันปั๊มมีค่าเพิ่มขึ้น ความดันที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา ณ บริเวณจุดของไหลไหลผ่านวาล์วในขณะที่อัตราการไหลลดลงจนกระทั่งถึงตำแหน่งอัตราการไหลกับความดันสอดคล้องต้องกันกับที่ปั๊มผลิตได้ตลอดจนความเสียดทานของระบบท่อจะปรับเข้าสู่สภาวะสมดุลจุดใหม่ที่สัมพันธ์กับการทำงานของปั๊มรวมทั้งตำแหน่งเปิดวาล์วตำแหน่งใหม่ พิจารณาตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มในรูปที่ 4-22 ให้เลือกกราฟเส้นที่รอบการหมุนของปั๊มคงที่ 3560 rpm และ Impeller ขนาด 10.5 นิ้ว ที่อัตราการไหล 1000 U.S. Gallons per Minute (U.S. GPM) มีความดันของไหลด้านทางออกปั๊มประมาณ 400 feet เมื่ออัตราการไหลค่อยๆลดลงจาก 1,000 U.S. GPM. เป็น 600 U.S. GPM. จะมีความดันของไหลด้านทางออกปั๊มจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 475 feet ความดันที่เพิ่มขึ้นในระบบมีค่าเท่ากับ 75 feet ความดันที่เพิ่มขึ้นหายไปไหน?



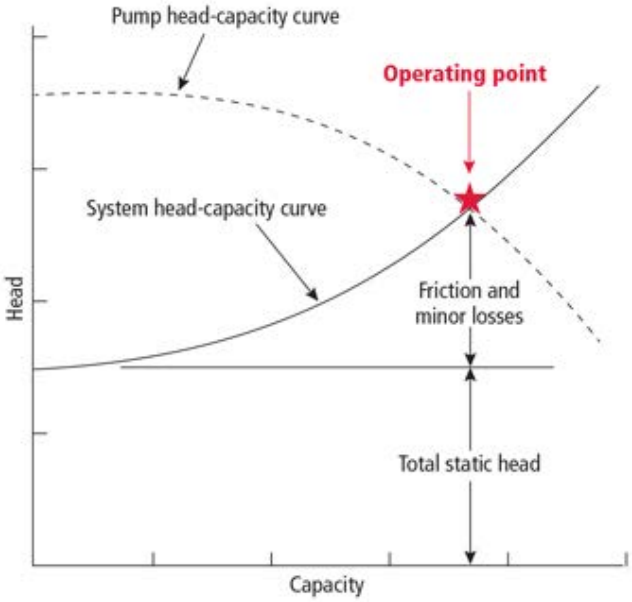
รูปที่ 4-24 ความเสียดทานสูญเสียภายในท่อ (Head Loss)

ดังนั้นปริมาณความดัน/แรงดันปั๊มที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลลดลงในระบบจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสมรรถนะของปั๊ม หากปั๊มมีกราฟสมรรถนะสูงชัน (Steep Pump Curve) ที่รอบการหมุนคงที่ค่าหนึ่งของปั๊ม (ดูรูปที่ 4-23) ปั๊ม

ดังกล่าวยิ่งสร้างความดันอัดเข้าระบบมากกว่าปั๊มที่มีกราฟสมรรถนะสูงชันน้อยกว่าหรือราบเรียบที่รอบการหมุนคงที่ค่าหนึ่งเมื่ออัตราการไหลลดลงในจำนวนที่เท่ากัน โดยเฉพาะปั๊มที่มีกราฟสมรรถนะราบเรียบ (Flat Pump Curve) ที่รอบการหมุนคงที่ค่าหนึ่ง นั้นคือมีค่าความดันปั๊มเกือบคงที่แม้อัตราการไหลเปลี่ยนไปซึ่งสมรรถนะของปั๊มในรูปแบบนี้เป็นที่นิยมและต้องการในมุมของการออกแบบควบคุมการทำงานของระบบหรือกระบวนการใดๆ แต่ในแง่การทำงานด้านอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพอาจไม่เหมาะสม เป็นต้น

ในการออกแบบระบบท่อและการเลือกปั๊มเราจำเป็นต้องหาความเสียดทานสูญเสีย (Pressure Loss) ทั้งระบบท่อมีค่าเท่าไรซึ่งรวมทั้งวาล์วและอุปกรณ์ในระบบท่อทั้งหมดเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลง จากนั้นนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันสูญเสียของระบบ เรียกว่า “System Curve” หรือ “System Resistance” (ดูรูปที่ 4-25) แล้วทำการเลือกปั๊มให้สามารถสร้างความดันให้มากและเกินพอในระดับที่เหมาะสมและมากกว่าความดันสูญเสียในระบบท่อซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จาก “กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance Curve)” เมื่อนำเส้นกราฟ 2 เส้นคือ “System Curve” กับ “Pump Performance Curve” มาเขียนเปรียบเทียบกันสิ่งที่ได้จะเป็นจุดตัดกันของกราฟทั้ง 2 เส้น ที่เรียกว่า “Operating Point” เป็นจุดที่คาดว่าระบบท่อของระบบหรือกระบวนการหนึ่งน่าจะทำงานที่อัตราการไหลจากการคำนวณ ($Q_{calculated}$) ที่จุดนี้และเป็นจุดที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานของปั๊มและอุปกรณ์ในระบบทั้งหมด ในขณะเดียวกันอาจไม่เป็นที่ต้องการในบางมิติ เช่น ในเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มที่ต้องการหรือในแง่มุมความสะดวกและความแม่นยำในการควบคุมระบบ เช่นการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วเกินไปเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เป็นต้น ก็ต้องตัดสินใจกันไป ทั้งนี้อาจเลือกปั๊มหลายรุ่น หลายยี่ห้อมาเปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหลักๆ เพราะเมื่อเลือกปั๊มที่มีสมรรถนะต่างกันผลลัพธ์จะต่างกัน

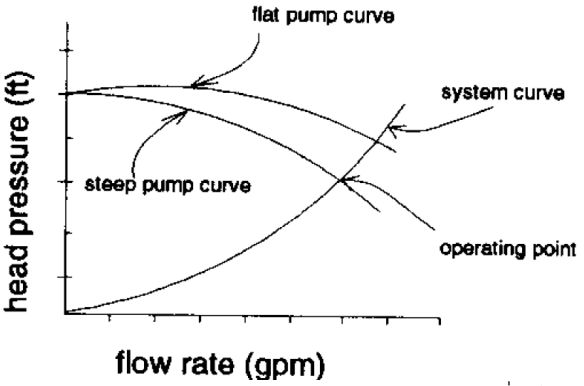
แต่เมื่อเราใช้งานระบบจริงๆ อาจพบว่าเราไม่ได้ใช้งานที่อัตราการไหลที่จุดตัดกันของกราฟหรือที่เรียกว่า “Operating Point” อย่างที่คำนวณไว้แต่ระบบหรือกระบวนการนั้นๆ อาจทำงานที่อัตราการไหลต่ำกว่าหรือสูงกว่าจุดตัดดังกล่าวก็เป็นได้ หรือเมื่อเลือกปั๊มหรือทำการซ่อมแซมปั๊มและต้องเปลี่ยนปั๊มตัวใหม่ที่ต่างชนิดออกไปจากปั๊มเดิมก็อาจให้ผลของจุดตัดกันของกราฟ “System Curve” กับ “Pump Performance Curve” ของระบบหรือกระบวนการทั้ง 2 เส้น ที่เรียกว่า “Operating Point” ต่างกัน ก็อาจเป็นได้ ตัวอย่างดังในรูปที่ 4-26



รูปที่ 4-25 “Operating Point” ของระบบท่อในกระบวนการหนึ่ง

เมื่อได้ระบบท่อและติดตั้งอุปกรณ์พร้อมทำงาน เมื่อวาล์วซึ่งอยู่ในระบบท่อหรี่ปิดลง วาล์วจะทำตัวเสมือนตัวเพิ่มความเสียดทานสูญเสียกระทำต่อการไหลในระบบ นั้นคือเพิ่มความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) ดูรูปที่ 4-27 (ก) เราอธิบายรูปแบบการเพิ่มความดันสูญเสียของวาล์วดังนี้ ให้สถานะเริ่มต้นของการทำงานของวาล์วที่อยู่ในตำแหน่งเปิดเต็มที่ 100% ให้ของไหลในระบบไหลผ่าน

ตามปกติโดยสภาวะการทำงานอยู่ที่ตำแหน่ง “A” (ดูรูปที่ 4-27 (ข)) คือที่อัตราการไหล 100% จากนั้นเริ่มทำการปิดวาล์ว จะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆกัน 2 เหตุการณ์ เหตุการณ์แรกคืออัตราการไหลในระบบลดลงทำให้ความดันที่ผลิตโดยปั๊มเพิ่มมากขึ้นโดยสภาวะการทำงานจะไล่ไปตาม “กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance Curve)” หรือ “Pump Curve” ย้อนกลับไปยังตำแหน่ง “B”



รูปที่ 4-26 จุด System Operating Point ต่างกันหรือเปลี่ยนไปเมื่อเลือกปั๊มต่างชนิดกัน

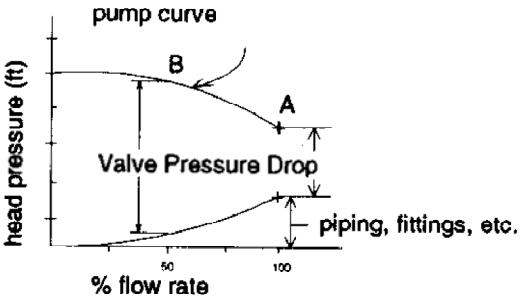
อีกเหตุการณ์หนึ่ง ในขณะที่อัตราการไหลลดลงจากการหรี่ปิดวาล์วทำให้ความเร็วของไหลในระบบท่อลดลงส่งผลให้ความเสียดทานสูญเสียภายในระบบท่อลดลง (นั้นคือความดันสูญเสียของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบก็ลดลง) โดยไล่ไปตามเส้นกราฟความเสียดทานสูญเสียระบบ (System Curve) ย้อนกลับมายังตำแหน่งในแนวเดียวกันกับจุด “B” (ลากเส้นแนวดิ่งจากจุด B ลงมาตัดเส้นกราฟ System Curve) เป็นค่าความเสียดทานสูญเสียในระบบที่มีซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายของการหรี่วาล์วให้ลดอัตราการไหลเป็น 40% ค่าโดยประมาณ

ผลต่างความดัน ณ ตำแหน่ง “B” (อัตราการไหลลดลงเหลือ 40%) ระหว่าง Pump Performance Curve หรือ Pump Curve กับ System Curve มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับวาล์วเปิดที่ตำแหน่ง “A” (อัตราการไหล 100%) ผลต่าง

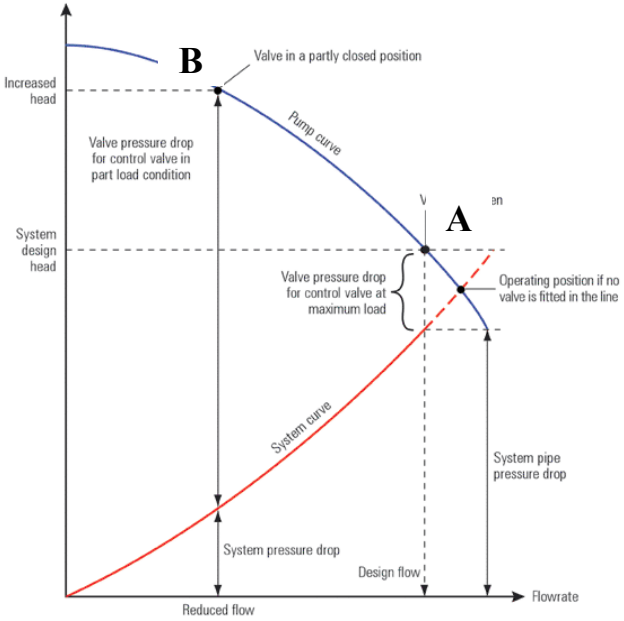
ความดันดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นเป็นผลรวมของความดันสูญเสียของท่อรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆในระบบท่อซึ่งมีค่าลดลงและปั๊มจะส่งความดันเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลลดลง ส่งผลให้ผลต่างความดันดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นนั้นจึงถูกนำไปฝากไว้ที่วาล์วเพื่อให้วาล์วทำหน้าที่เพิ่มความดันสูญเสียของระบบด้วยการสร้างความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop; ΔP) เพื่อสร้างจุดตัดในจิตนาการของกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มกับกราฟความเสียดทานสูญเสียของระบบใหม่ เป็นเส้น “Throttled System” (จุดตัดที่ 1 ในรูปที่ 4-28 คือจุดตัด “B” ในรูปที่ 4-27) และถือเป็น “Operating Point” ใหม่ทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนตำแหน่งปิด-เปิดวาล์ว เพราะวาล์วจะทำหน้าที่เพิ่มความเสียดทาน (ความดัน) สูญเสียในระบบใหม่เพื่อสร้างจุดตัดในจิตนาการใหม่ทุกครั้งด้วยเช่นกัน ซึ่งในรูปที่ 4-28 วาล์วต้องสร้างความเสียดทาน (ความดัน) สูญเสียในระบบให้มีค่าเท่ากับผลต่างความดันจุด “1” กับจุด “3” และนี้คือเหตุผลที่ผู้ผลิตให้ค่า Flow Coefficient (C_V) และ Inherent Flow Characteristic ประจำตัววาล์วเป็นค่าเบื้องต้น ส่วน “Installed” Flow Characteristic จะเป็นอย่างไรต้องดูเมื่อนำวาล์วไปติดตั้งจริงในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการนั้นๆเป็นรายกรณีไป ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 4-31

หากกลับไปดูการแนะนำการใช้วาล์วที่มีลักษณะ Linear Flow Characteristic ไปใช้กับงานที่สัดส่วนค่าความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop) นั้น ดูรูปที่ 4-28 จะอธิบายความได้ว่าผลต่างความดัน “1” กับ “3” ($H_P - H_S$) จะต้องมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับผลต่างความดัน “1” กับความดันเท่ากับ 0 barg (H_P) ในขณะเดียวกันหากผลต่างความดัน “1” กับ “3” ($H_P - H_S$) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลต่างความดัน “1” กับความดันเท่ากับ 0 barg (H_P) หรือสัดส่วนค่าความดันตกคร่อมของทั้งระบบที่ติดตั้งวาล์ว (Total System Pressure Drop) มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความดันตกคร่อมวาล์ว ก็แนะนำให้ใช้วาล์วที่มีลักษณะ Equal-Percentage Flow Characteristic

นอกจากนี้หากเราพิจารณาในด้านผลต่างความดันที่ปั๊มสร้างให้กับระบบเทียบกับความเสียดทาน (ความดัน) สูญเสียในระบบยิ่งมีค่าแตกต่างกันมากกันเท่าไร (ค่าผลต่างความดันจุด “1” กับจุด “3” ในรูปที่ 4-28) หมายถึงยิ่งสูญเสียเงินตราหรือกำไรทิ้งไปมากเท่านั้น เพราะต้องเสียค่าไฟให้ปั๊มงั้ยครับ

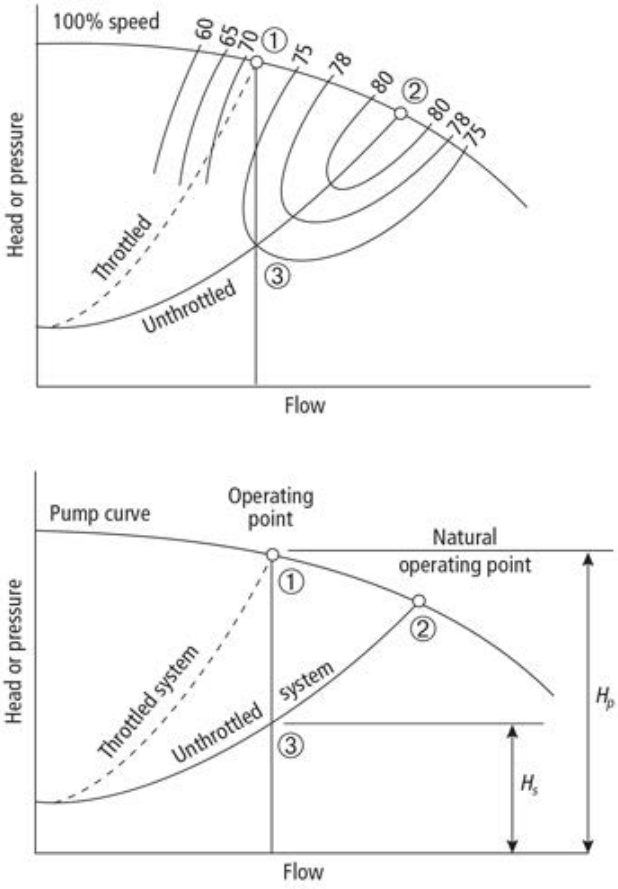


(ก)



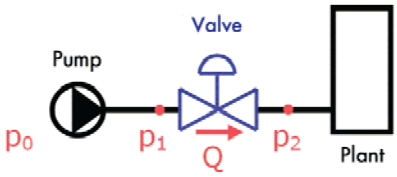
(ข)

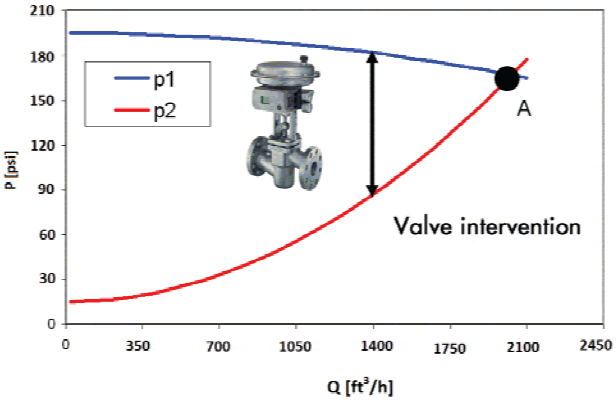
รูปที่ 4-27 Valve Pressure Shift

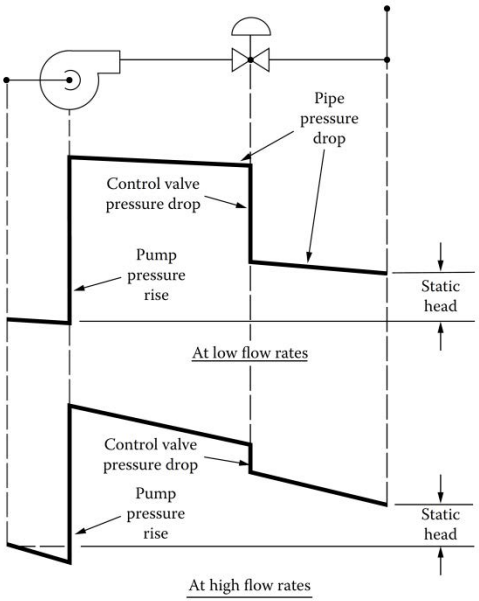


รูปที่ 4-28 การหรี่วาล์วจะสร้างเส้นกราฟความดันสูญเสียของระบบใหม่เมื่อหรี่วาล์ว (Throttled System)

ความดันที่สร้างเข้าไปในระบบโดยปั๊มทั้งหมดจะเกิดขึ้นที่วาล์วทั้งหมด เมื่อวาล์วหรี่ปิดลงหรือปิดลงบางส่วน และการทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่ วาล์วจะทำหน้าที่เพิ่มความดันสูญเสียของระบบ (System Curve) ด้วยการสร้างความดันตกคร่อมวาล์ว (Valve Pressure Drop) เพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความดันในระบบดังที่กล่าวมาให้มีน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ด้วยการรักษา

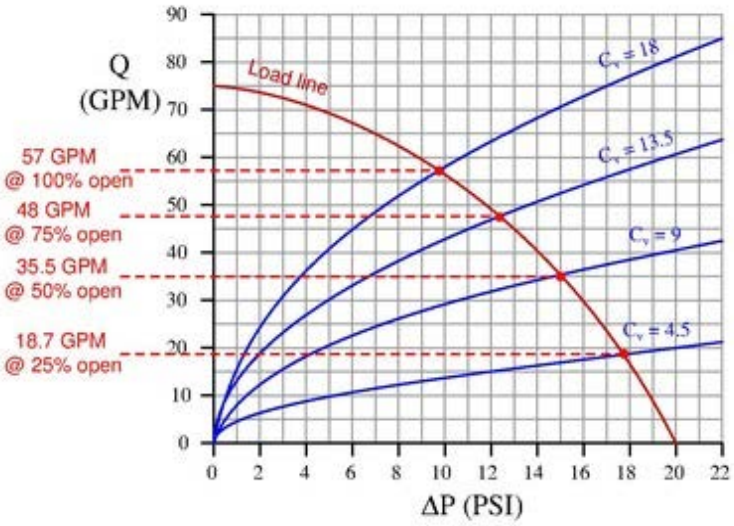




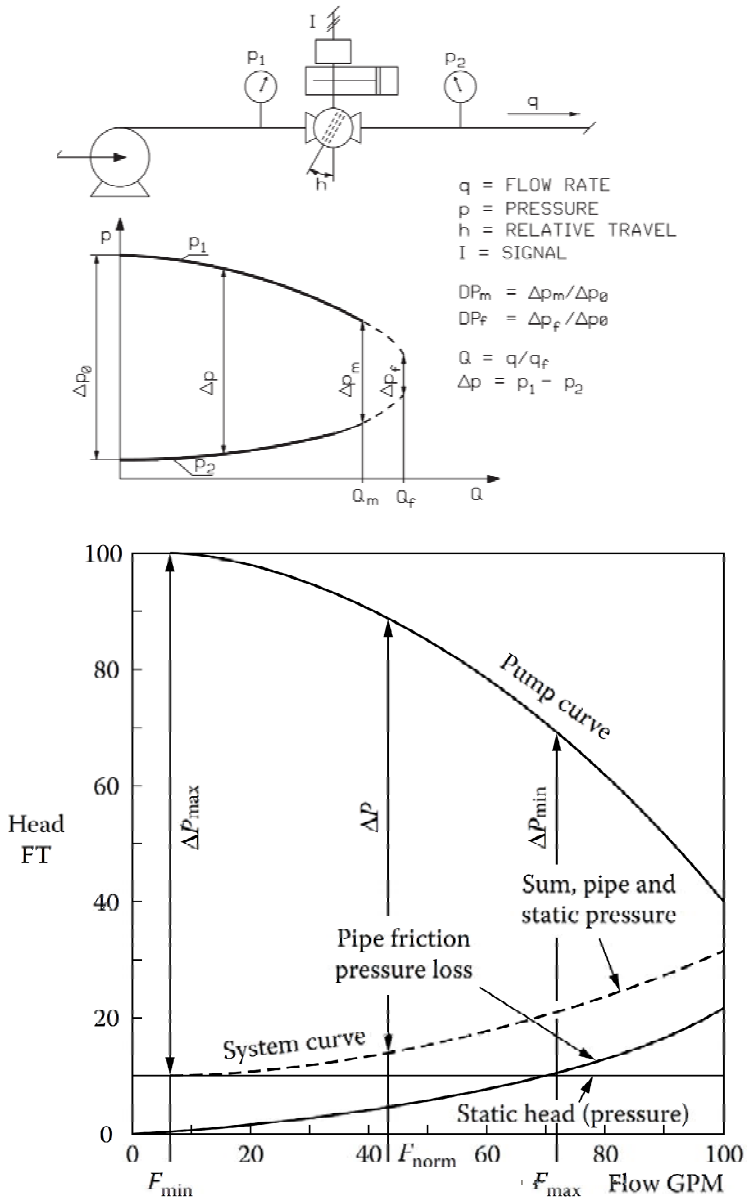


รูปที่ 4-29 ความดันของปั๊มและความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าแตกต่างกันเมื่ออัตราการไหลต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมวาล์วสัมพัทธ์ให้มีน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเนื่องจากการหรี่วาล์ว (ดูรูปที่ 4-30 และรูปที่ 4-31) ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดเพื่อรักษาการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมวาล์วสัมพัทธ์ให้มีน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ด้วยการกำหนดขนาดวาล์วให้มีความดันตกคร่อมวาล์วมากเท่าที่ระบบยอมรับได้ไปเลย **โดยยิ่งยอมให้ปริมาณความดันตกคร่อมวาล์วที่มีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับความดันที่ปั๊มผลิตทั้งหมด (Total Pump Head) ได้มากเท่าไร ยิ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงความดันสัมพัทธ์ในระบบยิ่งมีค่าน้อยเท่านั้น และยิ่งทำให้คุณลักษณะของวาล์ว “Installed Flow Characteristic” มีคุณสมบัติเข้าใกล้ “Inherent Flow Characteristic” ของมันยิ่งขึ้น**



รูปที่ 4-30 ตัวอย่างความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าแตกต่างกันเมื่ออัตราการไหลต่างกันด้วยตำแหน่งของลิ้นวาล์วที่แตกต่างต่างกัน

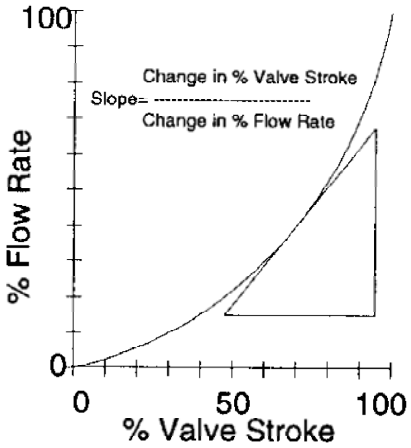


รูปที่ 4-31 ความดันตกคร่อมวาล์วมีค่าแตกต่างกันเมื่ออัตราการไหลต่างกัน

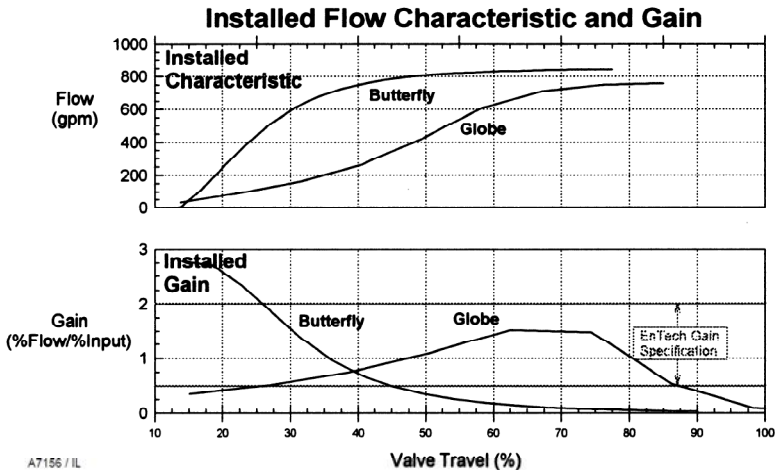
ผลจากวาล์วทำหน้าที่เพิ่มความดันสูญเสียดังกล่าวแม้ได้งานตามที่ต้องการจากการทำหน้าที่ของวาล์ว แต่ในอีกทางหนึ่งก็สร้างปัญหาให้กับการทำงานของวาล์วมากด้วยเช่นกัน เช่น เกิดปรากฏการณ์ Cavitation, Flashing, Choked Flow (จะกล่าวในเนื้อหาถัดไป), เกิดเสียงดังในระดับสูง และการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในตัวเรือนวาล์ว เป็นต้น ผลที่ตามมาจะเกิดการกัดกร่อนสร้างความเสียหายให้กับลิ้นวาล์ว, Seat Ring หรือที่เรียกรวมกันว่า “Trim” และตลอดจนตัวเรือนวาล์ว อีกทั้งอาจทำให้วาล์วทำหน้าที่ผิดปกติไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้, ประสิทธิภาพการทำงานด้อยลง สร้างความล้าให้กับระบบท่อและอุปกรณ์ประจำระบบท่อ หากเสียงดังเกินกว่า 85 dBA ผู้ปฏิบัติงานบริเวณใกล้วาล์วดังกล่าวเป็นเวลานานอาจมีปัญหาของเรื่องการได้ยิน ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาวาล์ว และอาจต้องหยุดกระบวนการทำงานหรือระบบที่ติดตั้งวาล์วเมื่อต้องซ่อมแซมวาล์ว เป็นต้น

4. Valve Gain

Valve Gain คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล (Flow Rate) เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของตำแหน่งลิ้นวาล์ว (Plug Position) ด้วยเหตุนี้ Valve Gain จึงเป็นฟังก์ชั่นของ ขนาดวาล์ว (Valve Size), ชนิดของวาล์ว (Valve Type) ซึ่งสะท้อนในรูปของ Flow Characteristic, รูปแบบของลิ้นวาล์ว (Plug Configuration) สะท้อนในรูปของ Flow Characteristic รวมทั้งความดันตกคร่อมวาล์ว และสภาวะการทำงานของระบบ (System Operating Conditions) ดังนั้นค่า Valve Gain ที่จุดใดๆ ของระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วจึงมีค่าเท่ากับความชันของกราฟ Flow Characteristic ของวาล์วนั้นๆ วาล์วที่มีค่า Valve Gain คงที่คือวาล์วที่มีคุณลักษณะ Linear Flow Characteristic ส่วนวาล์วที่มีคุณลักษณะ Equal Percentage Flow Characteristic (ดูรูปที่ 4-32) และ Quick Open Flow Characteristic จะมีค่า Valve Gain เปลี่ยนแปลงที่จุดใดๆ ของระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วมากน้อยแตกต่างกัน



รูปที่ 4-32 Equal Percentage Valve Gain

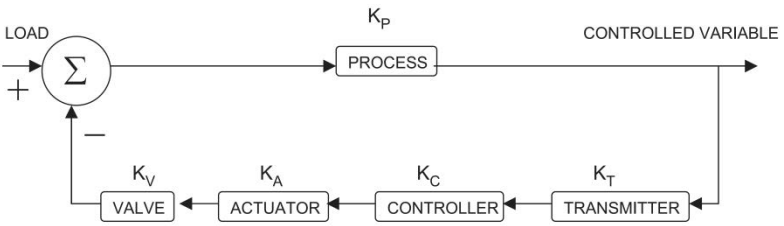


รูปที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่าง Installed Flow Characteristic กับ Installed Gain ของ Butterfly Valve และ Globe Valve

ในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือกระบวนการใดๆ สมรรถนะของระบบหรือกระบวนการนั้นได้รับอิทธิพลโดยค่า Gain ของแต่ละส่วนที่ทำงานร่วมกับการทำงานของวาล์วควบคุม ในรูปที่ 4-34 ได้แก่ วาล์ว, Actuator,

Controller, Transmitter เป็นต้น สมรรถนะระบบควบคุมที่ดีจะหมายถึงระบบที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำและกลับมาอยู่ในสถานะเสถียรเมื่อสิ่งเร้าหมดไป การจะให้ระบบทำงานด้วยสมรรถนะที่ดีจำเป็นต้องมีส่วนประกอบการทำงานที่ดีร่วมกัน ดูรูปที่ 4-34 เป็นตัวอย่างวงจรระบบควบคุมทำงานด้วยวาล์วควบคุมโดยแต่ละส่วนจะมีค่า Gain ประจำตัวของแต่ละส่วน ซึ่งค่า Gain รวมของระบบจะมีผลต่อความเสถียรของระบบที่เรียกว่า “Loop Gain” มีค่าเท่ากับ

$$K_P \bullet K_V \bullet [K_C \bullet K_A \bullet K_T] = \text{Cons tan t ; at the system cyling frequency} \qquad (4\text{-}8)$$



รูปที่ 4-34 การทำงานร่วมของส่วนทำงานของระบบ Control Loop

แต่เนื่องจากภาระงานหรือสิ่งเร้าต่อระบบไม่มีอิทธิพลต่อค่า Gain ของแต่ละส่วนทำงานของระบบดังนั้นค่า Controller Gain (K_C), Actuator Gain (K_A) และ Transmitter Gain (K_T) จะถูกรวมกันแสดงไว้ในวงเล็บในสมการ (4-8) เพื่อแยกให้ชัดเจนแสดงให้เห็นว่าเป็นค่าคงที่ในสมการ ด้วยเหตุนี้จึงมีค่าตัวแปร 2 ค่าในสมการ (4-8) ที่จะทำให้ระบบควบคุมเสถียรหรือไม่ นั้นคือ Process Gain (K_P) และ Valve Gain (K_V) ดังนั้นหาก Process Gain เปลี่ยนไป 2 เท่าแล้วค่า Valve Gain ต้องเปลี่ยนเป็น ½ ซึ่งเมื่อคูณกันแล้วจะให้ค่าคงที่เท่าเดิม การจะชดเชยการเปลี่ยน Process Gain เพื่อรักษาผลคูณ $K_P \bullet K_V$ ให้มีค่าคงที่ เราจึงต้องมาสนใจคุณสมบัติ Flow Characteristic ของวาล์ว ซึ่งเป็นเรื่องทีดีเพราะตัววาล์วเองสามารถปรับเปลี่ยนและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้ดีเมื่อเทียบกับการทำงานของส่วนอื่นใน Control Loop ซึ่งรองรับการปรับเปลี่ยนได้น้อยหรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ส่วน Transmitter ต้องจับคู่เป็นจุดต่อจุดในการสอบเทียบ

เครื่องมือ ในส่วนตัว Controller ต้องให้มี High Gain เพื่อสามารถชดเชยค่าของ Actuator Dead-band หากไปลดให้มีค่า Low Gain จะส่งผลต่อการทำงานของ Actuator ทันที และเช่นเดียวกันใน Positioner และ Actuator เองจะสามารถปรับเปลี่ยนและให้ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้ก็ต่อเมื่อ ค่าความถี่ในการตอบสนองของมันมีค่ามากกว่า 10 เท่าของความถี่ระบบ (System cycling frequency) โดยประมาณ จากข้อจำกัดในการทำงานของส่วนทำงานดังกล่าวจึงทำให้การปรับเปลี่ยนและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของวาล์วสามารถทำได้ง่ายที่สุดและดีที่สุดโดยเลือกคุณสมบัติ Flow Characteristic ของวาล์วเป็นตัวกำหนดความเสถียรของระบบ

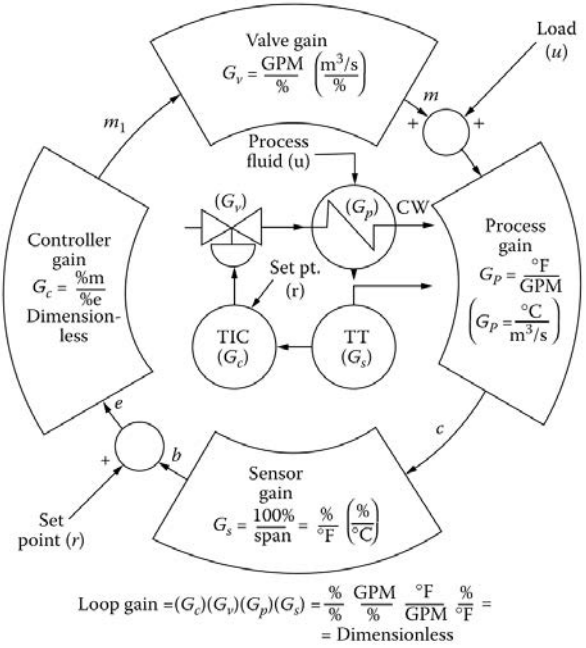


FIG. 6.7a

The loop gain is the product of the gains of the loop component. In a properly tuned loop (decay ratio of $^1/_4$), this gain product should be constant at 0.5.

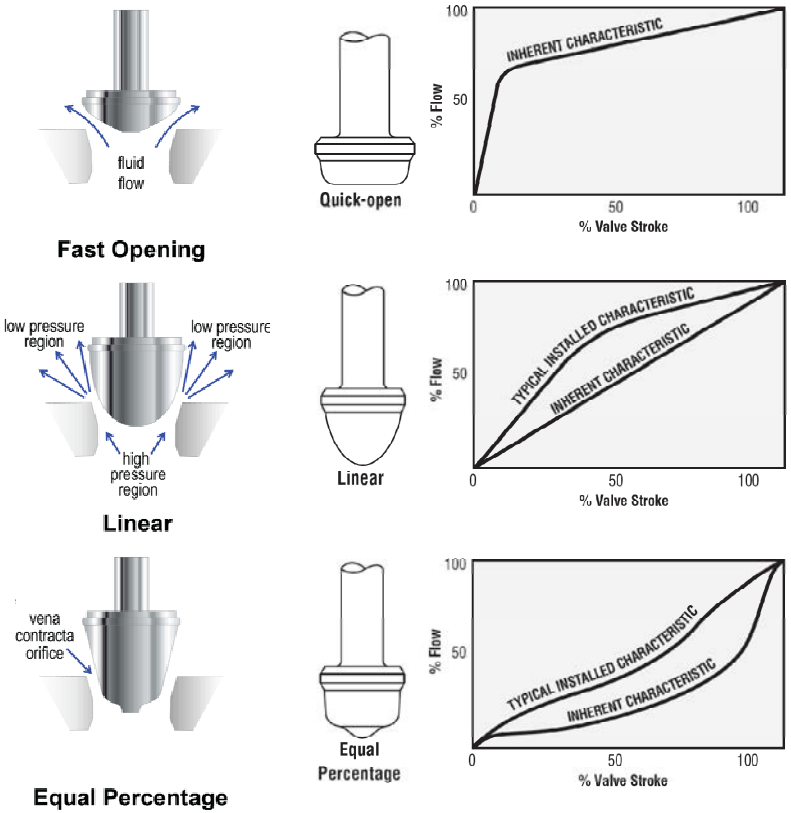
รูปที่ 4-35 Loop Gain ของระบบ Control Loop

หากเราพิจารณาทั้ง Loop Gain ของระบบ Control Loop และ Installed Characteristic ของวาล์วเราพบว่า Equal-Percentage Flow Characteristic จะให้ช่วงการใช้งานควบคุมการไหลของวาล์ว (Rangeability) ดีกว่าและควบคุมบริเวณอัตราการไหลต่ำได้ดีกว่า สำหรับ Linear Flow Characteristic จะให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าบริเวณช่วงอัตราการไหลมากกว่า 50% ขึ้นไปของ Valve Capacity

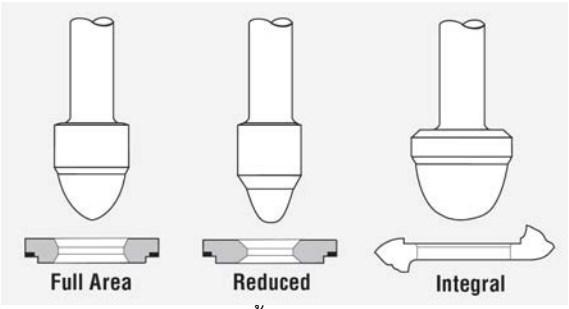
5. Valve Plug

ชนิดของลิ้นวาล์วเป็นปัจจัยสำคัญหลักปัจจัยหนึ่งในการกำหนดคุณลักษณะ Flow Characteristic ของวาล์ว เราสามารถแบ่งชนิดของลิ้นวาล์ว (Plug) ได้ดังในรูปที่ 4-36

นอกจากชนิดของลิ้นวาล์วจะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะ Flow Characteristic ของวาล์วแล้ว การทำงานร่วมกันของชนิดของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring หรือ Body Seat ในช่องทางการไหลของวาล์วยังเป็นตัวกำหนดลักษณะ Flow Characteristic ของวาล์วเช่นกัน ตัวอย่างของ Globe Valveพอจะแบ่งได้ 3 รูปแบบดังในรูปที่ 4-37 แต่อย่าตกใจหากมีเอกสารอื่นๆจะแบ่งแยกให้ต่างออกไป ถือว่าความรู้ที่แตกต่างกันแต่สุดท้ายก็เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในเรื่องของไหลไหลผ่านช่องแคบๆ หรือที่เราอาจเรียกว่า “Orifice” แบบแรกเป็นแบบ “Standard Full-Area” ซึ่งจะให้ค่า C_V สูงสุด (ติดไว้ก่อนเดียวค่อยอธิบายว่าคืออะไร) แบบที่สองเรียกว่า “Reduced Trim” จะพบในวาล์วที่มีขนาดใหญ่แต่จะให้ค่า C_V ที่ต่ำกว่าแบบแรก สำหรับแบบที่สามเรียกว่า “Integral Trim” เป็นการออกแบบใช้ Seat Ring แบบพิเศษติดตั้งเข้ากับช่องทางการไหล (Port) ด้วยการเชื่อมหรือขึ้นเกลียวหรือยึดด้วยน๊อตสุดแล้วแต่การออกแบบ พร้อมติดตั้งลิ้นวาล์ว (Plug) ที่มีขนาดใหญ่เป็นพิเศษเพื่อเพิ่มค่า C_V ให้มีค่า C_V มากกว่าเมื่อเทียบกับช่องทางการไหลที่เท่ากันและที่เป็น “Standard Full-Area”



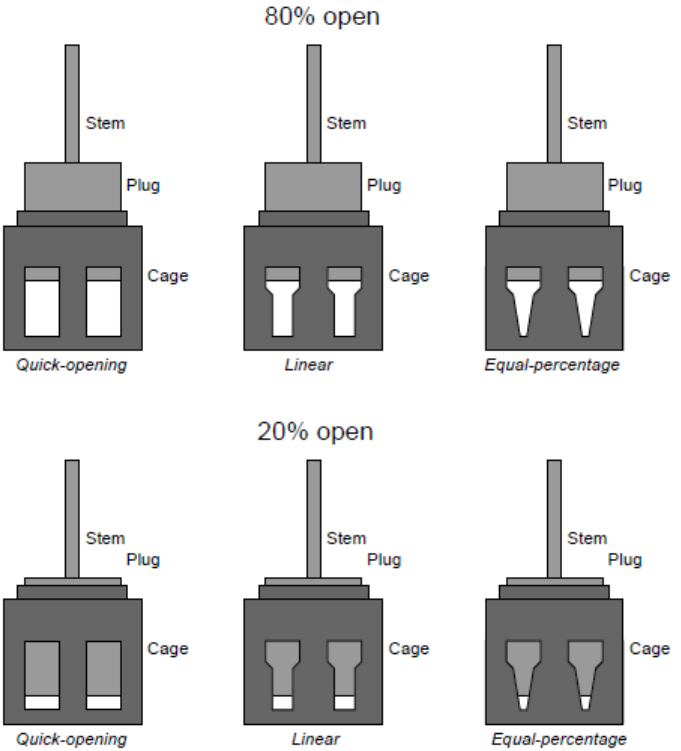
รูปที่ 4-36 ชนิดของลิ้นวาล์วของ Globe Valve กับ Flow Characteristic



รูปที่ 4-37 ชนิดของ Seat Ring กับลิ้นวาล์วในช่องทางการไหล (Port) บางครั้งเรียกรวมกันว่า “Trim” ของ Globe Valve



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-38 ชนิดของตัวนำร่องการเคลื่อนที่หรือตัวประคองลิ้นวาล์วที่เรียกว่า กรง (Cage) ที่ก่อให้มี Flow Characteristic ต่างกันใน Globe Valve

6. Cavitation, Choked Flow & Flashing

ปรากฏการณ์ของ Cavitation เป็นปรากฏการณ์ในระบบการไหลของไหลที่มี**สถานะของเหลว**เท่านั้นโดยถูกค้นพบหรือได้รับความสนใจในต้นทศวรรษ 1900 เป็นเรื่องเกี่ยวกับใบพัดเรือเร็วที่เกิดความเสียหายและพบปัญหาการวิ่งของเรือเร็วซึ่งมีอาการวิ่งแบบหน่วงๆเมื่อเพิ่มความเร็วใบพัด หลังจากนั้นก็ขยายวงกว้างระเบิดเทิดเทิงตื่นตัวตื่นใจในอีกหลายวงการ เช่น ผู้ผลิตปั๊ม เป็นต้น กลับมาเรื่องของเราต่อ โดยทั่วไปจะเกิดปรากฏการณ์ของ Cavitation ขึ้นภายในตัววาล์วบริเวณช่องทางการไหล (Port) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการเกิดปรากฏการณ์ออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยเพื่อความเข้าใจ ซึ่งแต่ละขั้นตอนล้วนทำให้ลิ้นวาล์วและ Seat Ring หรือ Body Seat ของวาล์วมีอายุการใช้งานสั้นลง

ก่อนที่เราจะอธิบายปรากฏการณ์ Cavitation เราย้อนกลับมาทำความเข้าใจสมการ Bernoulli's Equation ก่อนเนื่องจากเป็นสมการสำคัญสำหรับการไหลภายในท่อโดยมีพื้นฐานของการสงวนพลังงาน การอธิบายความเป็นไปในระบบท่อหลายต่อหลายครั้งหนีไม่พ้นสมการ Bernoulli's Equation การแก้ไขปัญหาไม่ว่าติดตั้งเครื่องมือ หรือต้องการซ่อมแซมอะไรในระบบท่อของเหลวต้องนึกถึงสมการนี้อยู่เสมอ สามารถจัดสมการ Bernoulli's Equation ได้ 2 รูปแบบคือในรูปของ Density Energy ในหน่วยของ "พลังงานต่อปริมาตร" และในหน่วยของ "พลังงานต่อน้ำหนัก" ในที่นี้เราพิจารณาให้อยู่ในหน่วยของ "พลังงานต่อน้ำหนัก" โดยลดรูปอยู่ในหน่วย "เมตร"ในระบบหน่วยเมตริก และ "ฟุต" ในระบบหน่วยอังกฤษ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติและความเข้าใจที่จะสัมพันธ์กับกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม (Pump Performance Curve) ที่อยู่ในรูปอัตราการไหลกับ Head ในหน่วย "เมตร" ในหน่วยเมตริก หรือ "ฟุต" ในหน่วยอังกฤษ ซึ่งก็คือความดันของปั๊ม (ดูรูปที่ 4-22) สมการ Bernoulli's Equation กำหนดให้ที่ตำแหน่งใดๆ ในระบบท่อจะมีพลังงานต่อน้ำหนักหรือ "Head" มีหน่วยเป็น "เมตร" หรือ "ฟุต" มีค่าคงที่แต่อยู่ในสัดส่วนของรูปพลังงานจลน์และ

พลังงานศักย์รูปแบบใดมากน้อยแตกต่างกันได้แต่ผลรวมของพลังงานมีค่าคงที่เท่ากันในทุกๆตำแหน่งในระบบท่อ

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z \qquad (4\text{-}9)$$

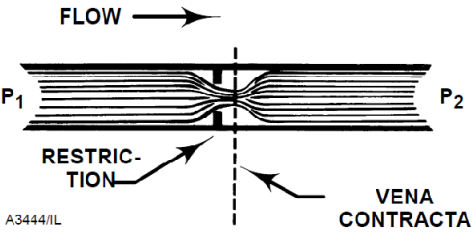
เมื่อเขียนเป็นสมการเปรียบเทียบพลังงานที่ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในระบบท่อจะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \qquad (4\text{-}10)$$

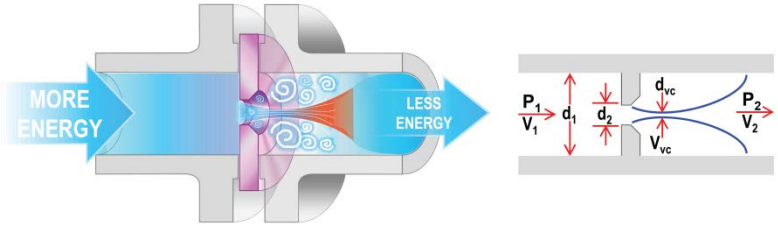
ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่ของไหลไหลผ่านช่องทางแคบๆ (Restriction) เช่น Orifice หรือช่องทางการไหล (Port) ของวาล์ว เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความเร็วของไหลจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความดัน ณ ตำแหน่งเดียวกันจะลดลง ตำแหน่งที่เกิดความดันต่ำสุดในช่องทางแคบๆ เราเรียกว่า “Vena Contracta” (ดูรูปที่ 4-39 ก) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เลยจากจุด Orifice (เสมือนเป็นจุดของช่องทางการไหลในวาล์ว) โดยมีค่าความดันที่เรียกว่า “Vena Contracta Pressure” หรือ “P_{vc}” และความเร็วที่เรียกว่า “Vena Contracta Velocity” หรือ “V_{vc}” (ดูรูปที่ 4-39 ข) และที่ Vena Contracta เป็นตำแหน่งที่มีพื้นที่หน้าตัดการไหลของเหลวเล็กที่สุดด้วยเช่นกัน เพื่อรักษาให้อัตราการไหลคงที่เมื่อผ่านวาล์วจึงต้องออกแบบให้ความเร็วสูงสุดมีค่าสูงสุดที่จุด Vena Contracta ตามหลักการสงวนมวลด้วย Continuity Equation

เมื่อของเหลวไหลเลยผ่านจุด Vena Contracta พื้นที่หน้าตัดช่องแคบจะเริ่มขยายตัว ของเหลวจะปรับสภาพเข้าสู่สมดุลย์ใหม่โดยจะปรับเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานศักย์หรือความดันด้วยความเร็วของไหลลดลง ในขณะที่ความดัน ณ ตำแหน่งเดียวกันจะเพิ่มขึ้นหรือฟื้นตัวขึ้น (อธิบายด้วย Bernoulli’s Equation) ซึ่งความดันที่ฟื้นตัวกลับมาในทางปฏิบัติจะไม่กลับมามีค่าความดันเท่าเดิม แต่จะพบว่าความดันจะฟื้นตัวมากบ้างน้อยบ้างจะแตกต่างกันตามแต่ชนิดและลักษณะของช่องทางแคบๆ หรือช่องทางการไหลของวาล์ว (Port) ในแต่ละการออกแบบ (ดูรูปที่ 4-40) ผลต่างความดันทางเข้าช่องแคบ (เสมือนวาล์ว) P_1 กับ

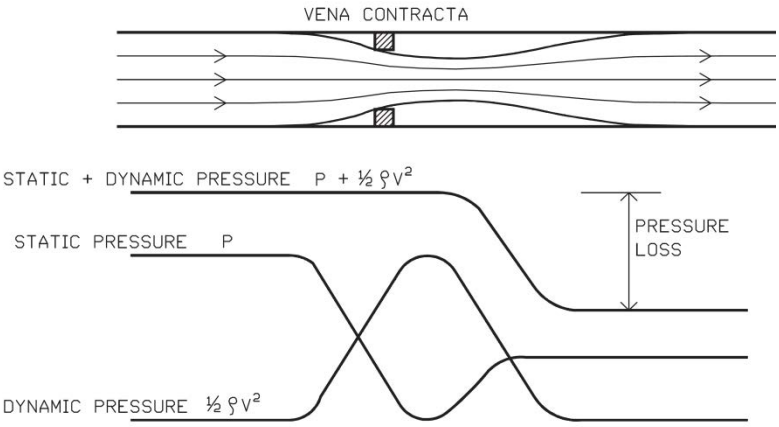
ความดันด้านทางออกช่องแคบ P_2 ให้มีค่าเท่ากับ ΔP ดังนั้นหาก ΔP มีค่าน้อยเรา เรียกวาล์วนั้นมีการฟื้นความดันได้ดี (High Recovery Valve) เช่น Ball



(ก)



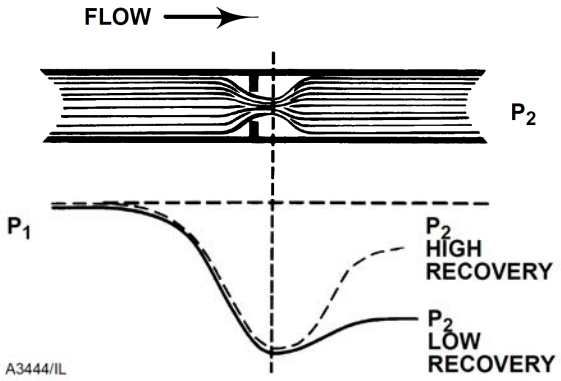
(ข)



(ค)

รูปที่ 4-39 ความเร็วและความดัน ณ ตำแหน่ง “Vena Contracta”

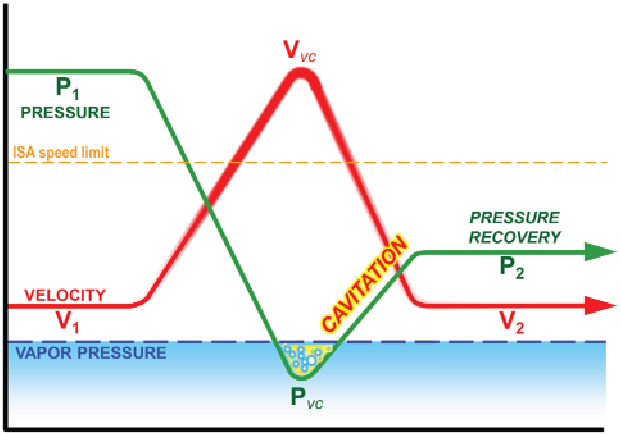
Valve เป็นต้น แต่หาก ΔP มีค่ามากแสดงว่าวาล์วนั้นมีการฟื้นความดันได้น้อย (Low Recovery Valve) ด้วยเหตุผลที่ว่าเมื่อของเหลวไหลเข้าวาล์วแล้วจะเกิดการปั่นป่วนสูงและมีการสูญเสียพลังงานออกไปในรูปต่างๆ เช่น ความร้อน เสียง เป็นต้น ถึงแม้ของเหลวกลับออกมายังคงมีสถานะของเหลวเหมือนเดิมก็ตาม



รูปที่ 4-40 การฟื้นตัวของความดันเมื่อผ่านช่องทางแคบๆ (เสมือนวาล์ว)

แต่หากในกรณีของเหลว (ต้องเป็นของเหลวล้วนๆ ไม่ใช่ของเหลวที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว) ไหลผ่านช่องทางแคบๆ (Restriction) หรือช่องทางการไหล (Port) ของวาล์ว ความเร็วของเหลวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนความดัน ณ ตำแหน่งเดียวกันลดลงจน Vena Contracta Pressure (P_{vc}) มีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลว (Vapor Pressure) ให้ดูรูปที่ 4-41 ของเหลวจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอโดยมีสภาพเป็นฟองอากาศเล็กๆ ตำแหน่งนี้แหละคือจุดเริ่มต้น ปรากฏการณ์ Cavitation ขั้นตอนที่ 1 “เกิดฟองอากาศ” (ดูรูปที่ 4-42) จากนั้นของเหลวยังคงเคลื่อนที่ต่อไปยังทางด้านปลายน้ำ พื้นที่หน้าตัดช่องทางไหลช่องทางแคบๆ เริ่มขยายตัวขึ้น ทำให้ความเร็วของเหลวเริ่มลดลงส่งผลให้ความดัน ณ ตำแหน่งเดียวกันเพิ่มขึ้น ถ้าหากความดันปลายน้ำยังคงรักษาให้มีความดันสูงกว่าความดันไอของเหลว ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์ Cavitation ในขั้นตอนที่ 1 จะเริ่มยุบตัวและระเบิดเข้าสู่ภายในตัวฟองอากาศเองเนื่องจากความดันของเหลว

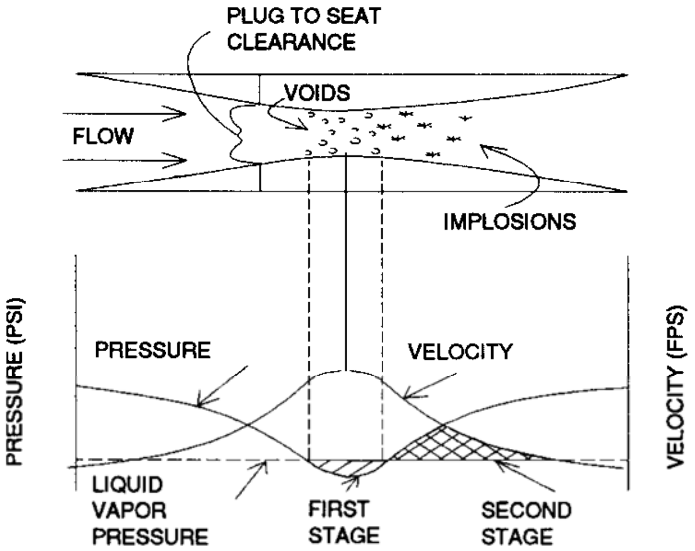
รอบๆ ตัวฟองอากาศอัดตัวเข้ากับฟองอากาศ (ดูรูปที่ 4-43) นี้คือปรากฏการณ์ Cavitation ขั้นตอนที่ 2 “ฟองอากาศยุบตัวระเบิดเข้าภายใน (Implosion)” การระเบิดยุบตัวเข้าภายในส่งผลให้เกิดคลื่นเสียงและแรงกระแทกภายในของเหลว ส่งผลให้ไปหน่วงการไหลของเหลว ผลที่ตามติดๆมาคือความดันค่อยๆ ฟื้นตัวกลับมา ดังนั้นการเกิด Cavitation จึงเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นสถานะไอ แล้วเปลี่ยนจากสถานะไอกลับมาเป็นสถานะของเหลวอีกครั้ง



รูปที่ 4-41 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของไหลและความดันอธิบายด้วย Bernoulli’s Equation ในปรากฏการณ์ Cavitation ตรงตำแหน่ง Vena Contracta

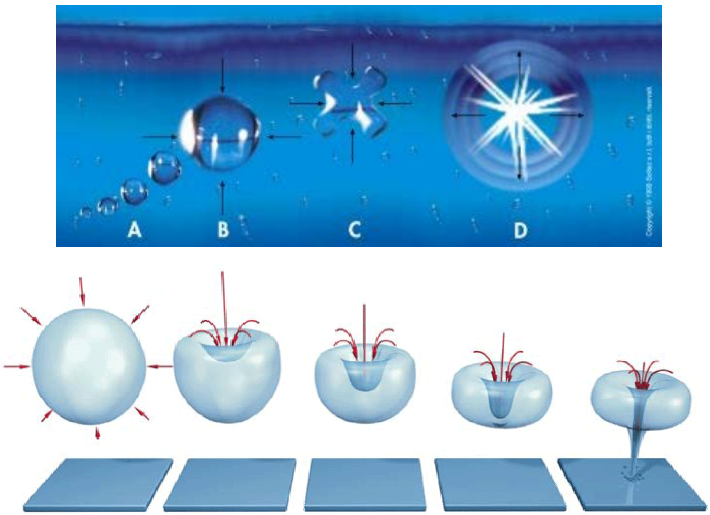
เราแวะมาทำความรู้จักความดันไอเล็กน้อย ความดันไอ (Vapor Pressure) ใช้กับของไหลที่เป็นของเหลวและค่าความดันไอนี้เองจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 25 °C จะมีค่าความดันไอเท่ากับ 4 kPa(a) นั้นหมายถึงน้ำจะเดือดที่ 25 °C ถ้าความดันภายนอกถูกลดลงให้เหลือความดันเท่ากับ 4 kPa(a) และความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 100 °C จะมีค่าความดันไอเท่ากับ 101 kPa(a) นั้นหมายถึงน้ำจะเดือดที่ 100 °C ที่ระดับทะเลที่ความดันบรรยากาศเท่ากับ 101 kPa(a) เป็นต้น

ปรากฏการณ์ Cavitation ขั้นตอนที่ 2 นี้เองที่สร้างความเสียหายให้กับลิ้นวาล์วและ Seat Ring (บางครั้งเรียกรวมกันว่า “Trim” ซึ่งเป็นการเรียกส่วนประกอบโดยรวมที่มีผลต่อการไหลผ่านวาล์ว โดยทั่วไปจะประกอบด้วยลิ้นวาล์วและ Seat Ring แต่ในวาล์วบางการออกแบบอาจเป็นลิ้นวาล์วและ Seat Ring และ Retainer หรือ Disk Stack) เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของฟองอากาศที่ไปตกกระแทกเข้ากับลิ้นวาล์ว, Seat Ring, ผนังภายในตัวเรือนวาล์วและระบบท่อ เป็นต้น ในบางครั้งความดันอาจสูงถึง 218,000 Psi (1500 N/mm^2) ในกรณีน้ำเป็นของไหลผ่านวาล์ว ผลตามมาคือเกิดคลื่นเสียงกระแทก (Shock Waves) ขึ้นภายในของเหลว ถ้าหากคลื่นเสียงดังกล่าวกระแทกเข้ากับบริเวณผิวโลหะของวาล์วก็เสมือนเอาฆ้อนกระหน่ำตีผิวของวาล์ว หากเหตุการณ์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องก็จะเกิดความล้าบนผิวโลหะทำให้ผิวโลหะสึกกร่อนแยกหลุดออกมา ดังตัวอย่างในรูปที่ 4-45



รูปที่ 4-42 ปรากฏการณ์ Cavitation ขั้นตอนที่ 1 (First Stage) และ ขั้นตอนที่ 2 (Second Stage)

ความเสียหายอีกด้านหนึ่งของการเกิด Cavitation นั้นคือไปลดสมรรถนะของวาล์วให้ลดลง และลดประสิทธิภาพการทำงานของระบบหรือกระบวนการนั้นๆ ที่ติดตั้งวาล์วในระบบหรือกระบวนการดังกล่าวเพราะเมื่อเกิด Cavitation ความสามารถในการแปลงความดันตกคร่อมวาล์วทั้งหมดให้เป็นอัตราการไหลมวลจะทำให้ลดน้อยลง (พิจารณาสมการ (4-12) สูตร C_V) หรืออีกนัยหนึ่งคือ Cavitation ทำให้การไหลของเหลวผ่านวาล์วน้อยลงเพราะวาล์วมีค่า Flow Coefficient; C_V ในทางปฏิบัติต่ำกว่าค่า C_V ที่ได้จากการคำนวณหรือการไหลมีการสูญเสียพลังงานทำให้ไม่เป็นไปตามหลักการสงวนพลังงานด้วย Bernoulli's Equation และหลักการสงวนมวลด้วย Continuity Equation



รูปที่ 4-43 ขั้นตอนที่ 2 (Second Stage) พัฒนาการเมื่อของเหลวมีความดันต่ำกว่าความดันไอของเหลวนั้นๆของเหลวจะกลายเป็นไอฟองอากาศและเมื่อความดันของเหลวเพิ่มสูงขึ้นฟองอากาศดังกล่าวจะถูกอัดแล้วระเบิดเข้าภายใน (Implosion) ทำความเสียหายต่อผิวลิ้นวาล์ว, Seat Ring และ ผนังภายในตัวเรือนวาล์ว เป็นต้น ที่เรียกว่า "Cavitation"

อัตราการไหลปริมาตร

$$q = N_1 F_P C_V \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}} \qquad (4\text{-}11)$$

$$C_V = \frac{q}{N_1 F_P} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - P_2}} \qquad (4\text{-}12)$$

เมื่อ C_V = Valve Flow Coefficient

q = อัตราการไหล หรือ Q (ดูรูปที่ 5-9) ; gpm, m^3/h

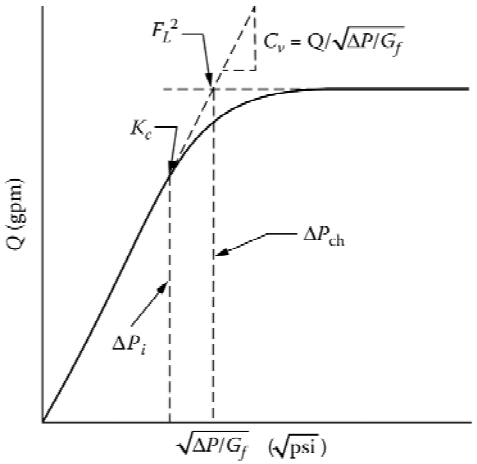
P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว ; psia, bar, kPa

P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว ; psia, bar, kPa

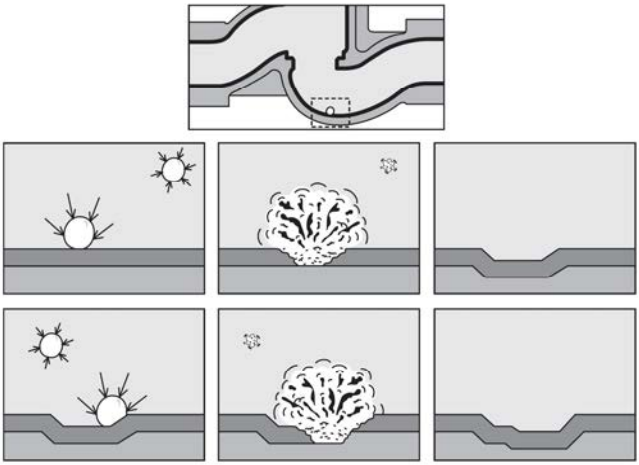
N_1 = ตัวคูณสมการขึ้นอยู่กับการเลือกใช้หน่วยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ ดูรูปที่ 5-9

F_P = Piping Geometry Factor

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเหลวที่กำหนดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (น้ำที่ 60 °F มีค่า G_f เท่ากับ 1)



รูปที่ 4-44 นำสมการ (4-11) เขียนกราฟความสัมพันธ์อัตราการไหลกับรากที่สองของความดันตกคร่อมวาล์วเมื่อเกิด Choked Flow และ Cavitation



รูปที่ 4-45 ตัวอย่างการเกิด Cavitation ภายในตัวเรือนวาล์ว

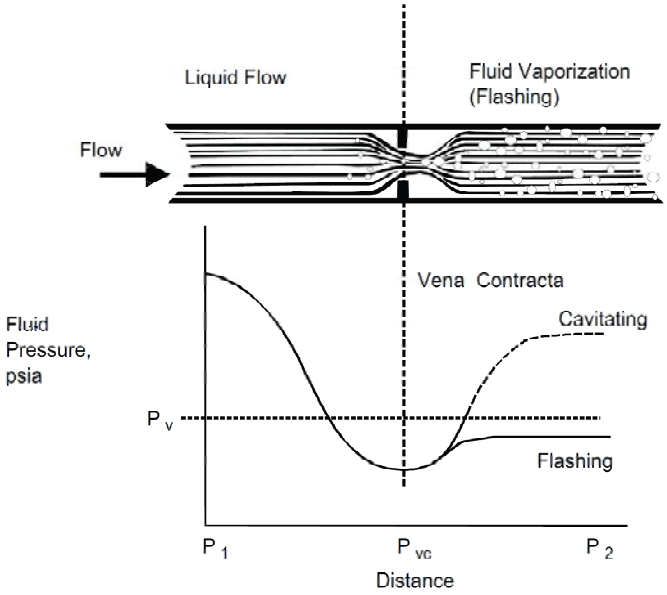


รูปที่ 4-46 Cavitatiion สร้างความเสียหายให้กับลิ้นวาล์วและ Seat Ring

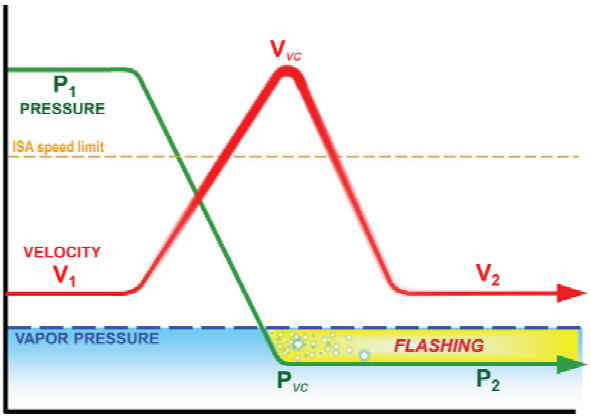
ปรากฏการณ์ Flashing

แต่หากเกิดปรากฏการณ์ Cavitation ขั้นตอนที่ 1 “เกิดฟองอากาศ” แล้วของเหลวยังคงเคลื่อนที่ต่อไปยังทางด้านปลายน้ำถึงแม้ช่องทางแคบๆ เริ่มขยายตัวขึ้นแล้วก็ตาม แต่ความเร็วของเหลวเพียงเริ่มลดลงในลักษณะไม่ทำให้ความดัน ณ ตำแหน่งเดียวกันเพิ่มขึ้นแต่อย่างไร อีกทั้งยังคงมีอัตราการไหลโดยไม่มีความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นรวมทั้งความดันปลายน้ำยังคงมีค่าความดันต่ำกว่าความดันไอของเหลว ผลที่ตามมาของเหลวดังกล่าวจะแปรสภาพจากสถานะของเหลวที่มีฟองอากาศผสมอยู่กลายเป็นสถานะไอผสมหยดละอองของเหลวเล็กๆ แทน (เปลี่ยนแปลงสถานะของเหลวไปยังสถานะไอกันเลยโดยอุณหภูมิของเหลวเปลี่ยนแปลงน้อยมาก) เคลื่อนที่ต่อเนื่องต่อไปด้วยความเร็วสูง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า **“Flashing”** ดังในรูปที่ 4-47

เนื่องจากของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้ความเร็วการเคลื่อนที่ของไอที่มีหยดละอองของเหลวเล็กๆ ผสมอยู่เคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วสูงอาจถึงหรือมากกว่า 100 ft/sec (30.48 m/s) ละอองของเหลวเล็กๆที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับไอด้วยความเร็วสูงนี้เองที่จะสร้างความเสียหายให้กับตัววาล์วโดยแรงตกกระทบของละอองของเหลวกระทำต่อผิววาล์ว ถึงแม้ละอองของเหลวมีมวลน้อยแต่ความเร็วสูงมากจะสร้างโมเมนต์ตัมที่น่ากลัวเลยทีเดียว ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเป็นตำแหน่งที่ของไหลมีความเร็วสูงสุดและเกิดเป็นรอยราบเรียบ มันเงา เป็นแนวร่องยาว (ดูรูปที่ 4-49) ซึ่งต่างจากการเกิด Cavitation กับเนื้อโลหะจะมีลักษณะยุ่ยเปื่อยและบนผิวโลหะจะเกิดเป็นหลุมเล็กละเอียดจำนวนมาก อีกทั้งเสียงที่เกิดจากปรากฏการณ์ Flashing เองก็ดังไม่เกิน 85 dBA จึงทำให้ยากต่อการตรวจสอบด้วยเสียง ดังนั้นหากต้องการตรวจสอบปรากฏการณ์ Flashing ว่ายังคงเกิดขึ้นต่อเนื่องหรือไม่ต้องกลับไปตรวจสอบค่าความดันด้านทางออกวาล์ว (P_2) ยังคงมีค่าน้อยกว่าความดันไอ (P_V) หรือไม่ หากมีค่าน้อยกว่าความดันไอของเหลวต่อไปการเกิด Flashing ก็จะดำเนินต่อไป



(ก)

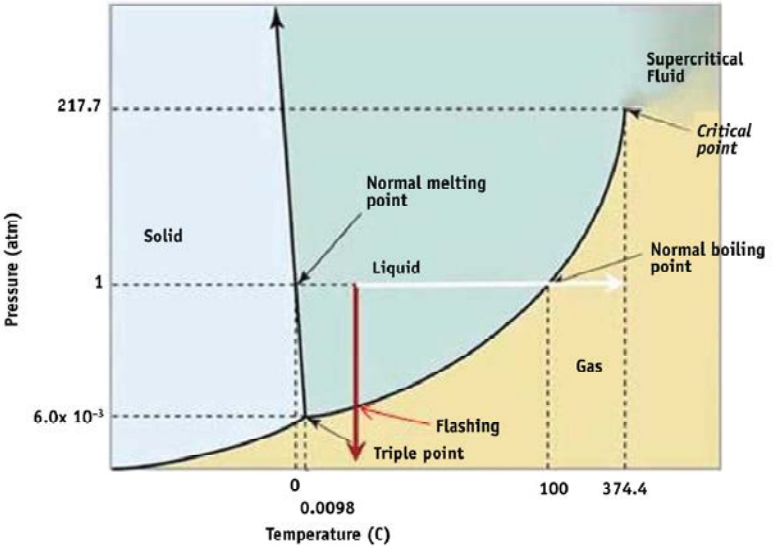


(ข)

รูปที่ 4-47 ปรากฏการณ์ “Flashing”

เพื่อลดความเร็วในการไหลเมื่อเกิด Flashing ด้วยการเพิ่มขนาดวาล์วให้ใหญ่ขึ้นในขณะที่ยังคงให้มีค่า C_V ของวาล์วเท่าเดิมแต่ลดขนาด Trim น้อยลง

ตัวอย่างเช่น จากวาล์วที่เกิด Flashing และมี Trim แบบ Full Area ให้ทำการเพิ่มขนาดวาล์วให้ใหญ่ขึ้นแต่ใช้ Trim แบบ Reduced (ดูรูปที่ 4-37) เพื่อยังคงให้มี C_V เท่าเดิมเพื่อลดความเร็วการไหลของเหลวและลดการกัดกร่อนเชิงกล



รูปที่ 4-48 Phase diagram แสดงการเปลี่ยนสถานะของเหลวกลายเป็นไอด้วยวิธีการ Boiling (อุณหภูมิเปลี่ยน ความดันคงที่) และ Flashing (อุณหภูมิคงที่ ความดันเปลี่ยน); (Machado, 2009)

Flow Curve Cavitation Index; K_c

ในวงการผู้ผลิตวาล์วได้พยายามที่จะทำนายการเกิด Cavitation เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบวาล์วและศึกษาลู่ทางหาทางหนีทีไล่ในการแก้ไขปัญหาให้สอดรับกับการใช้งานวาล์ว เช่น นำไปเลือกใช้ชนิดวัสดุที่จะนำมาทำลิ้นวาล์วและ Seat Ring ให้แข็งขึ้น เป็นต้น โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของเหลวกับรากที่สองของความดันตกคร่อมวาล์ว (ดูรูปที่ 4-54) จึงเกิด Flow Curve Cavitation Index; K_c

$$K_c = \frac{\Delta P_i}{P_1 - P_V} \quad (4\text{-}13)$$

เมื่อ K_c = Cavitation Index

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว

P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว

P_V = ความดันไอของเหลว ณ ทางออกวาล์ว และจุด Vena Contracta

ΔP_i = ค่าความดันตกคร่อมวาล์วในตำแหน่งที่ C_V เริ่มลดลงเนื่องจากเกิด Cavitation (ดูรูปที่ 4-44 ความชันของเส้นกราฟเริ่มเปลี่ยนแปลงลดลง)

Cavitation Index; K_c จึงอยู่บนข้อสมมุตฐานว่า วาล์วอาจไม่เกิด Cavitation ที่จุดใดๆที่มีความดันตกคร่อมน้อยกว่าค่าความดันตกคร่อมที่คำนวณด้วย Cavitation Index; K_c ตัวอย่างค่า K_c ของผู้ผลิตวาล์วดังในรูปที่ 4-49 นอกจากนี้ K_c อาจถูกเรียกอีกชื่อว่า “Incipient Choking”; K_c

ในขณะเดียวกันสามารถทำการเปรียบเทียบค่าสภาวะการใช้งานจริง Cavitation Index; K_{sc} ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$K_{sc} = \frac{\Delta P}{P_1 - P_2} \quad (4\text{-}14)$$

ดังนั้นถ้าพบว่า

- $K_{sc} < K_c$ แสดงว่าสามารถใช้งานได้ไม่เกิด Cavitation
- $K_{sc} \geq K_c$ แสดงว่าสามารถเกิด Cavitation ในวาล์ว

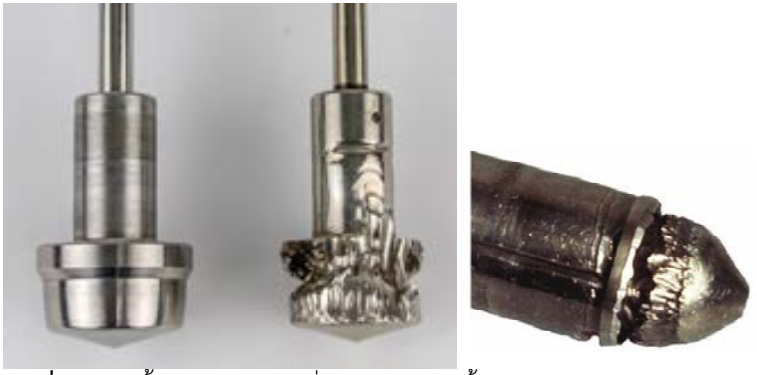
อย่างไรก็ตามผลการคำนวณด้วยวิธีการนี้ให้ผลไม่แน่นอนมากนักหรือไม่คงเส้นคงวาจนไม่น่าเชื่อถือมากจนเกินไป จำเป็นต้องปรึกษาผู้ผลิตวาล์วก่อนตัดสินใจเลือกใช้วาล์วนั้นๆ

Table 9.1 Typical K_c Values†

Valve Style	K_c
Butterfly	0.50 K_M*
Ball	0.67 K_M
Rotary Plug	K_M
Globe with Hardened Trim (Cage Characterized)	K_M
Globe (Plug Characterized)	0.85
Globe with special trim	1.0

†*Data courtesy of Fisher Controls International, Inc.*
*K_M is equal to F_L^2 (valve recovery coefficient).

รูปที่ 4-49 ค่า Cavitation Index; K_c ของผู้ผลิตวาล์ว FISHER



รูปที่ 4-50 ลิ้นวาล์วเสียหายเนื่องจากการเกิดทั้ง Flashing และ Cavitation

Vibration Curve Cavitation Index; σ

ในปี ค.ศ. 1995 ทาง Instrument Society of America (ISA) ได้กำหนด “Cavitation Index” ตัวใหม่ เรียกว่า “σ (sigma)” ซึ่งนิยามให้เป็นอัตราส่วนของแรงต้านการเกิด Cavitation ต่อแรงก่อให้เกิด Cavitation โดยได้จากการศึกษาระดับเสียงดังและการสั่นสะเทือนในตัววาล์วหลายชนิดและให้ผล

สอดคล้องต้องกันในรูปแบบดังในรูปที่ 4-51 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง **ความเร่งในท่อทางด้านปลายออกจากวาล์วและ Cavitation Index σ** บนกราฟสเกล Log ภายใต้เงื่อนไข เมื่อ $C_V/d^2 > 20$ (d ขนาดวาล์ว; นิ้ว)

$$\sigma_1 = \frac{P_1 - P_V}{P_1 - P_2} \quad (4\text{-}15)$$

$$\sigma_2 = \frac{P_2 - P_V}{P_1 - P_2} \quad (4\text{-}16)$$

เมื่อ σ = Cavitation Index, ตัวห้อย 1 แทนตำแหน่งทางเข้า, 2 แทนตำแหน่งทางออก

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว วัดที่ระยะก่อนทางเข้าวาล์วระยะเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้าวาล์ว

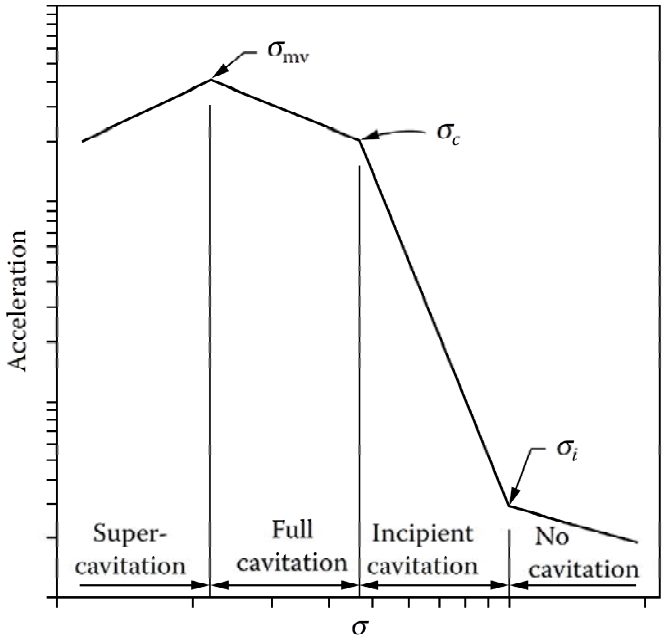
P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว วัดที่ระยะหลังทางออกปลายน้ำของวาล์วไประยะเท่ากับ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออกวาล์ว

P_V = ความดันไอของเหลว ณ ทางออกวาล์ว ที่อุณหภูมิของเหลวไหล

แต่ใน ISA RP75.23.01 กำหนดให้ $\sigma = \sigma_1$ ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ตัวแปรเพียงค่าเดียวคือ σ ดังนั้นถ้า σ มีค่ายิ่งมากขึ้นแสดงว่าเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิด Cavitation ยิ่งน้อยลง ในทางกลับกัน ถ้า σ มีค่ายิ่งน้อยลงแสดงว่าโอกาสเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิด Cavitation ยิ่งมีมากขึ้น แต่ถ้า σ มีค่าเท่ากับ 0 หรือติดค่าลบแสดงว่าจะเกิด Flashing แต่หากเราคำนวณแล้วค่า σ ตกอยู่ระหว่าง Incipient σ และ Choked σ จะต้องเตรียมมาตรการรองรับเพื่อป้องกันการเกิด Cavitation เช่น เลือกใช้ ลิ้นวาล์วและ Seat Ring แบบพิเศษ

เรามาดูรูปที่ 4-51 ในตอนแรกเริ่มการไหลผ่านวาล์วปรากฏการณ์การไหลจะอยู่ในช่วง “Noncavitating Regime” ซึ่งเป็นช่วงการไหลแบบ Turbulent อาจมีเสียงจากท่อและท่อเกิดการสั่นบางเล็กน้อยถือเป็นเรื่องปกติ เมื่อความดันตกคร่อมเพิ่มสูงขึ้นเข้าเขต “Incipient Cavitation” นั้นคือเริ่มมีปรากฏการณ์

Cavitation โดยของเหลวเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนตัวต่อไปทางด้านปลายน้ำจนความดันสูงขึ้นฟองอากาศระเบิดยุบตัวเข้าหาตัวฟองเป็นบางครั้งคราว เราจะได้ยินเสียงดังจากการระเบิดบางเป็นครั้งคราวเช่นกัน ซึ่งปรากฏการณ์ในช่วงนี้จะไม่ส่งผลต่อความเสียหายของวาล์ว จากนั้นหาความดันตกคร่อมวาล์วลดลงอีกจนถึงจุดวิกฤต σ_C หรือ “Critical Cavitation” หรือ “Constant Cavitation” เข้าช่วง “Full Cavitation” ปรากฏการณ์ Cavitation จะเกิดขึ้นตลอดเวลา เสียงจะดังและท่อจะสั่นรุนแรงต่อเนื่องตลอดเวลา (ดูรูปที่ 4-57) แต่ตัววาล์วอาจจะไม่ค่อยรู้สึกว่ามันจะสั่นเนื่องจากตัวเรือนวาล์วมีค่าความแข็ง (Stiffness) สูง การเกิด Cavitation ในช่วงนี้จึงก่อให้เกิดความเสียหายกับตัววาล์ว



รูปที่ 4-51 การแบ่งปรากฏการณ์การเกิด Cavitation ในวาล์วควบคุม

สำหรับค่า Incipient σ (σ_i) และ Choked σ (σ_c) ได้จากห้องปฏิบัติการของผู้ผลิตวาล์ว ตัวอย่างดังในรูปที่ 4-52 โดย Incipient σ (σ_i) เป็นค่าบ่งบอกว่า

Cavitation เริ่มเกิดขึ้น ส่วน Choked σ (σ_c) บ่งบอกว่า Choked Flow หรือ Full Cavitation (หรือ Choked Cavitation) กำลังเกิดขึ้น

Table 9.2 Typical σ Values†,‡

Valve Style	Flow Direction	Trim Size	Incipient σ	Choked σ
Globe	over the plug	full area	0.73	0.38
	over the plug	reduced	0.93	0.56
	under the plug	full/reduced	0.52	0.52
Butterfly	60° open	full	1.40	0.73
	90° open	full	3.16	2.19
Ball	60° open	full	1.40	0.64
	90° open	full	5.20	2.19
Globe with special trim	under the plug	full/reduced	0.30 to 0.001	*

†*Data courtesy of Valtek International.*
‡*Note:* For estimation only; sigmas may vary according to particular valve design.
*Choking will not occur when properly applied.

รูปที่ 4-52 ค่า Incipient σ และ Choked σ ของผู้ผลิตวาล์ว Valtek

ในบางผู้ผลิตวาล์วจะให้ค่า σ_{mr} (Manufacturer's recomendated σ) มา ดังนั้นในการออกแบบต้องให้วาล์วที่เลือกมีค่า σ สูงกว่า σ_{mr} แต่ในทางปฏิบัติและงานวิจัยพบว่าค่า σ ที่คำนวณได้สำหรับ Incipient Cavitation, Constant Cavitation หรือ Critical Cavitation รวมทั้ง Incipient Damage ให้ผลไม่คงที่ต่อค่าความดันและขนาดของวาล์วที่เปลี่ยนแปลงไป นั้นคือความดันใช้งานและขนาดของวาล์วมีผลต่อการคำนวณ σ ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการปรับค่าแก้ไข σ_{mr} เป็น σ_v ให้สอดรับกับความดันใช้งานและขนาดของวาล์วด้วย 2 ตัวแปรคือ

Pressure Scale Effect (PSE) เป็นตัวแปรแก้ไขค่าความดันใช้งานที่แตกต่างจากค่าความดันอ้างอิงหรือความดันจริงในการทดสอบวาล์วเพื่อหา σ_{mr}

$$PSE = \left[\frac{P_1 - P_v}{(P_1 - P_V)_R} \right]^a \qquad (4\text{-}17)$$

เมื่อ K_c = อัตราการไหล

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว

P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว

P_V = ความดันไอของเหลว ณ ทางออกวาล์ว และจุด Vena Contracta

$(P_1\text{-}P_V)_R$ = ค่าความดันจริงที่ใช้ในการทดสอบวาล์ว โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 100 psi แต่ถ้ามีค่าต่างจากนี้ให้ปรึกษาผู้ผลิตวาล์ว

a = ค่าสัมประสิทธิ์ตามในรูปที่ 4-53

ถ้า a เท่ากับ 0 แล้วจะได้ PSE = 1 ซึ่งบ่งบอกว่าการเปลี่ยนแปลงความดัน $(P_1\text{-}P_V)$ ที่ต่างจาก $(P_1\text{-}P_V)_R$ ที่การทดสอบของผู้ผลิตวาล์วไม่มีผลต่อ σ_{mr}

Size Scale Effect (SSE) เป็นตัวแปรแก้ไขค่าขนาดของวาล์ว แต่ต้องเป็นวาล์วชนิดเดียวกันและควรมีค่า C_V/d^2 ค่าใกล้เคียงกัน (d ขนาดวาล์ว; นิ้ว)

$$SSE = \left(\frac{d}{d_R} \right)^b \qquad (4\text{-}18)$$

$$b = 0.068 \left(\frac{C_V}{d^2} \right)^{1/4} \qquad (4\text{-}19)$$

เมื่อ d = Inside Diameter of Valve Port (in.)

d_R = Referance (Tested) Valve Port Diameter (in.)

TABLE 6.15I

*Exponent "a" for Calculating Pressure Scale Effect (PSE)**

Valve Type	*Cavitation Level*	*Exponent a*
Quarter-turn valves (i.e., ball, butterfly)	Incipient	0.22–0.30
	Constant	0.22–0.30
	Incipient damage	0.10–0.18
	Choking	0
Segmented ball and eccentric plug	Incipient	0.30–0.40
	Constant	0.30–0.40
	Incipient damage	N/A
	Choking	0
Single-stage globe	Incipient	0.12–0.16
	Constant	0.12–0.16
	Incipient damage	0.10–0.14
	Choking	0
Multistage globe	Incipient	0.00–0.10
	Constant	0.00–0.10
	Incipient damage	N/A
	Choking	0
Orifice	Incipient	0
	Constant	0
	Incipient damage	0.20
	Choking	0

รูปที่ 4-53 สัมประสิทธิ์ "a" ของPressure Scale Effect (PSE)

ดังนั้นการปรับค่าแก้ไข σ_{mr} เป็น σ_v จะได้ว่า

$$\sigma_v = [\sigma_{mr}(SSE) - 1](PSE) + 1 \qquad (4\text{-}20)$$

จากนั้นทำการตรวจสอบค่าที่คำนวณ σ ได้เทียบกับ σ_{mr} ซึ่งได้รับการปรับแก้ไขค่าแล้วมีค่าเท่ากับ σ_v แล้วพิจารณาว่าหาก $\sigma > \sigma_v$ นั้นหมายถึงสามารถใช้วาล์วที่เราเลือกได้โดยมีระดับของการเกิด Cavitation น้อยเมื่อเทียบกับค่า σ_{mr} แนะนำโดยผู้ผลิตวาล์ว

ตัวอย่าง วาล์วควบคุมชนิด Rotary Valve ใช้งานกับ

- น้ำ
- T = 74 °F
- ขนาดท่อที่ติดตั้งวาล์ว 10 นิ้ว Sch 40
- ความดันทางเข้าวาล์ว P_1 = 82 psia
- อัตราการไหล (q) 3,500 gpm
- น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity; G_f)= 0.998
- ความดันไอขณะทำงาน P_v = 0.41 psia
- ความดันทางออกวาล์ว P_2 = 70 psia

สมมุติผ่านขั้นตอนการคำนวณหาขนาดวาล์วในตอนที่ 5 (ตอนต่อไป) ได้ผลเป็นอันว่าได้วาล์วที่มีค่า C_V = 1010, ขนาดวาล์ว 8 นิ้ว ชั้นทนความดัน ANSI Class 150, วาล์วชนิด Rotary Disk Valve, มีความเร็วของน้ำทางด้านออกวาล์ว 22 fps ใช้งานที่ตำแหน่งวาล์วเปิด 75% ระยะยกก้านวาล์วสูงสุด, C_V/d^2 = $1010/(8)^2$ = 15.8

คำนวณหา σ

$$\sigma = \frac{P_1 - P_V}{P_1 - P_2} = \frac{82 - 0.41}{82 - 70} = 6.8$$

เปรียบเทียบข้อมูลจากผู้ผลิตวาล์วซึ่งมีข้อมูลการเกิด Cavitation กับวาล์วชนิด Butterfy Valve ซึ่งพอถือได้ว่าเป็นกลุ่มวาล์วชนิด Rotary Valve เช่นกัน ได้ว่า

σ_{mr} = 5.1

$(P_1\text{-}P_V)_R$ = 100 psi, a = 0.12

d_R = 6 in

ดังนั้น $$PSE = \left[\frac{P_1 - P_v}{(P_1 - P_V)_R}\right]^a = \left[\frac{82 - 0.41}{100}\right]^{0.12} = 0.976$$

$$b = 0.068\left(\frac{C_V}{d^2}\right)^{1/4} = 0.068\left(\frac{1010}{8^2}\right)^{1/4} = 0.136$$

$$SSE = \left(\frac{d}{d_R}\right)^b = \left(\frac{8}{6}\right)^{0.136} = 1.04$$

ดังนั้นการปรับค่าแก้ไข σ_{mr} เป็น σ_v มีค่า

$$\sigma_v = [\sigma_{mr}(SSE) - 1](PSE) + 1 = [5.1(1.04) - 1](0.976) + 1 = 5.2$$

สรุป เพราะผลการคำนวณ $\sigma = 6.8$ ดังนั้น $\sigma > \sigma_v$ จึงประเมินว่าสามารถใช้วาล์วควบคุมในสภาวะการทำงานดังกล่าวได้โดยไม่เกิด Cavitation **ANS**

ด้วยเหตุนี้จึงมี 3 เงื่อนไขการไหลของเหลวหรืออัตราส่วนความดันที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเกิด Cavitation ดังนี้

ก. **Incipient Cavitation**; ($\Delta P_{inc\ cavitation}$) สำหรับคำว่า “Incipient” หมายถึง “Starting” ดังนั้น Incipient Cavitation จึงหมายถึงการเกิด Cavitation นับตั้งแต่ทันทีที่ความดันของเหลวมีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลวดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ Incipient Cavitation จึงเป็นอัตราส่วนความดันที่ฟองอากาศฟองแรกเกิดขึ้นในของเหลวที่เกิด Cavitation เค้าบอกว่าตรวจพบด้วยการวัดทางคลื่นเสียง (Acoustic Measurement) ซึ่งจะส่งเสียงดังออกมาเป็นระยะๆ อาจไม่ดังมากเพียงพอจนกลบเสียงในบริเวณสภาวะแวดล้อมที่ติดตั้งวาล์ว

พิจารณาจากผลต่างความดันทางเข้าช่องแคบหรือเสมือนวาล์ว P_1 กับความดันด้านทางออกช่องแคบหรือเสมือนวาล์ว P_2 ให้มีค่าเท่ากับ ΔP ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิด Cavitation สามารถหาค่าผลต่างความดันตกคร่อมวาล์วสูงสุดที่ยอมให้ได้ ($\Delta P_{inc\ cavitation}$) มีค่าเท่ากับ

$$\Delta P_{inc\ cavitation} = X_{F_Z} * (P_1 - P_V) \qquad (4\text{-}21)$$

เมื่อ K_{FZ} = Valve Recovery Coefficient

$$X_{F_Z} = \frac{0.9}{\sqrt{1 + 3.2F_d\sqrt{\frac{0.85C_V}{F_L}}}} \qquad (4\text{-}22)$$

0.7 สำหรับ ½ ถึง 2 นิ้ว Brass Body

0.5 สำหรับ 2 ½ ถึง 6 นิ้ว Cast Iron Body

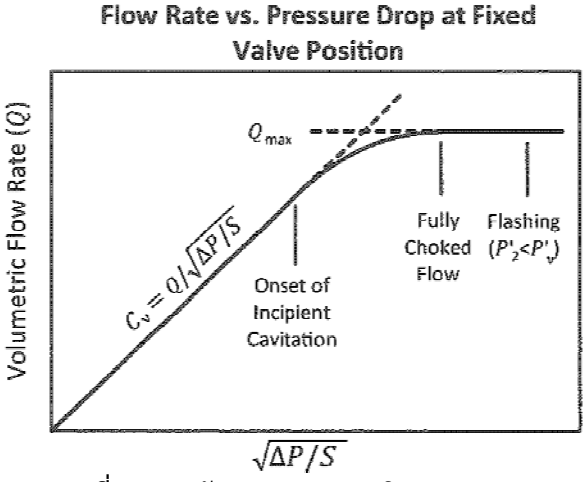
P_1 = Absolute Inlet Pressure (Psia)

P_v = Absolute Vapor Pressure (Psia)

F_L = Pressure Recovery Factor

ในการเลือกวาล์วจึงไม่ควรเลือกวาล์วที่มีค่าความดันตกคร่อมสูงกว่าค่าผลต่างความดันตกคร่อมวาล์วสูงสุดที่ยอมให้ได้ ($\Delta P_{inc\ cavitation}$) แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติค่าผลต่างความดันนี้อาจถูกละเลยไม่นำมาพิจารณาก็ได้เนื่องจากหากมีค่าสูงกว่าค่า $\Delta P_{inc\ \ cavitation}$ ก็ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังมากหรือสร้างความเสียหายจนรับไม่ได้ ยกเว้นในวาล์วที่มีขนาดใหญ่มากๆ

ตัวอย่างเช่นวาล์วที่มี F_d = 0.46, F_L = 0.88 และ C_V = 200 จะได้ K_{FZ} = 0.194



รูปที่ 4-54 พัฒนาการของการเกิด Cavitation

ข. **Damage Inducing Cavitation**; (ΔP_{damage}) เป็นอัตราส่วนความดันที่เราต้องพิจารณาอย่างจริงจังเพราะเมื่อความดันตกคร่อมวาล์วสูงมากกว่าค่านี้แล้วจะส่งผลทำให้ลิ้นวาล์วและ Seat Ring หรือรวมกันเรียกว่า Trim มีอายุใช้งาน

สั้นลงแน่ๆ เพราะจะเกิด Cavitation ส่งเสียงดังมากและส่งเสียงดังอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาขณะวาล์วทำงาน

$$\Delta P_{damage} = X_D\ (P_1 - P_V) \tag{4-23}$$

เมื่อ K_D = Coefficient of Damage

สำหรับ Globe Valve และ Rotary Valve ทั่วไปซึ่งประกอบด้วยTrim (ลิ้นวาล์วและ Seat Ring) แบบมาตรฐาน เราพอประมาณค่าเท่ากับ

$$X_D = X_{F_z}[1 + (K_S \times K_P \times F_L{}^2)] \tag{4-24}$$

เมื่อ K_S = Size Coefficient

$$K_S = \left(\frac{1}{d}\right)^{0.125} \tag{4-25}$$

K_P = Pressure Correction Factor

$$K_P = \left(\frac{100}{P_1}\right)^{0.125} \tag{4-26}$$

d = Valve Size (In.)

ตัวอย่าง วาล์วชนิด Butterfly Valve ขนาด 8 นิ้ว ใช้งานควบคุมการไหลของน้ำเย็นซึ่งมี P_v เท่ากับ 0.5 Psia สมมุตว่ามี Coefficient of Valve; C_V เท่ากับ 640, P_1 เท่ากับ 225 Psia, Pressure Recovery Factor; F_L เท่ากับ 0.75 และ Valve Recovery Coefficient; K_{FZ} เท่ากับ 0.16 เราจะหาค่า Coefficient of Damage; K_D ได้

K_{FZ} = 0.16

$$K_S = \left(\frac{1}{d}\right)^{0.125} = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.125} = 0.77$$

$$K_P = \left(\frac{100}{P_1}\right)^{0.125} = \left(\frac{100}{225}\right)^{0.125} = 0.90$$

F_L = 0.75

จะได้ว่า

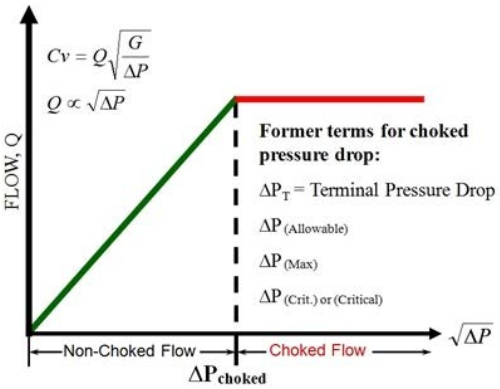
$$X_D = X_{F_z}[1 + (K_S \times K_P \times F_L^{\,2})]$$
$$= 0.16 \times [1 + (0.77 \times 0.90 \times 0.75^2)]$$
$$= 0.22$$

และ P_v = 0.5 Psia

ดังนั้นความดันตกคร่อมวาล์วที่ยอมให้ได้สูงสุดเพื่อไม่ก่อให้เกิด Cavitation และเสียงดังมีค่าเท่ากับ

$$\Delta P_{damage} = X_D \times (P_1 - P_V)$$
$$= 0.22 \times (225 - 0.5)$$
$$= 49.4 \text{ Psi}$$

ค. **Choked Cavitation Flow; (ΔP_{choked} หรือ (ΔP_T)** เป็นจุดที่มี Cavitation Index σ_c โดยการเกิด Cavitation จะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนกระทั่งการไหลเริ่ม Choked ซึ่งเป็นจุด “Full Cavitation” เกิดขึ้นนั้นคือ Incipient σ (σ_i) ขยับไปยังค่า Choked σ (σ_c) ดูรูปที่ 4-51 และในช่วง Full Cavitation จะพบว่าวาล์วจะเริ่มได้รับความเสียหายที่จุดหนึ่งในช่วงนี้เราเรียกจุดดังกล่าวว่า “Incipient Damage”



รูปที่ 4-55 อัตราการไหลของเหลวผ่านวาล์วควบคุมเป็นฟังก์ชั่นของความดันตกคร่อมวาล์ว

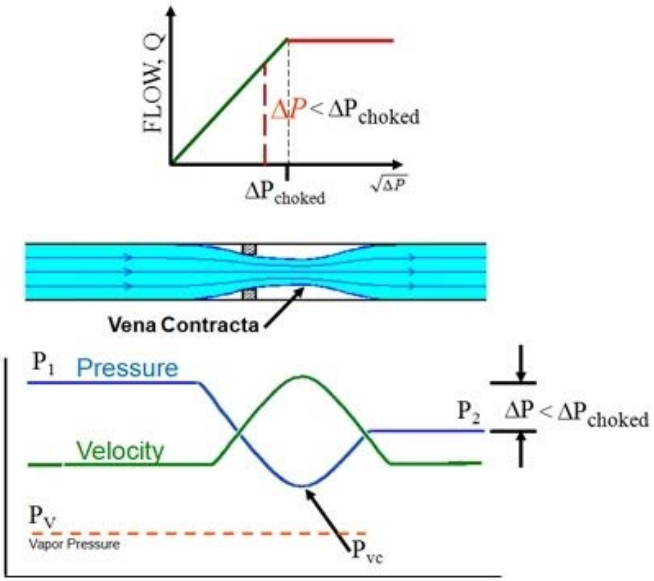
ก่อนอื่นเพื่อความเข้าใจตรงกันจึงขอปูพื้นฐานการไหลในระบบท่อเล็กน้อยดังนี้ โดยปกติอัตราการไหลของเหลวภายในท่อที่ไหลผ่านวาล์วจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของความดันตกคร่อมวาล์ว หากเราต้องการอัตราการไหลของเหลวเพิ่มขึ้นเราต้องสร้างความดันตกคร่อมวาล์วให้มากขึ้นหรือสร้างความดันทางเข้าวาล์วให้มากขึ้นและลดความดันทางออกวาล์วให้น้อยลง แต่เมื่อเราเพิ่มความดันตกคร่อมวาล์วจนถึงค่าหนึ่งอัตราการไหลจะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ณ ตำแหน่งนี้เราเรียกการไหลว่ามันถูก “Choked” ออกไปและเราเรียก “Choking Pressure Drop” (ΔP_{choked}) ดูรูปที่ 4-55

เมื่อของเหลวไหลผ่านจุดที่เรียกว่า Vena Contracta (ดูรูปที่ 4-39) ณ ที่ค่าความดันตกคร่อมวาล์วค่าหนึ่งเราพบว่าความเร็วการไหลที่จุดดังกล่าวจะมีค่าสูงสุดหรือมีอัตราการไหลสูงสุดแต่จะเป็นจุดที่มีความดันต่ำสุดตามสมการ Bernoulli’s Equation เราแยกพิจารณาปรากฏการณ์ออกเป็น 3 กรณีหลักๆ คือ

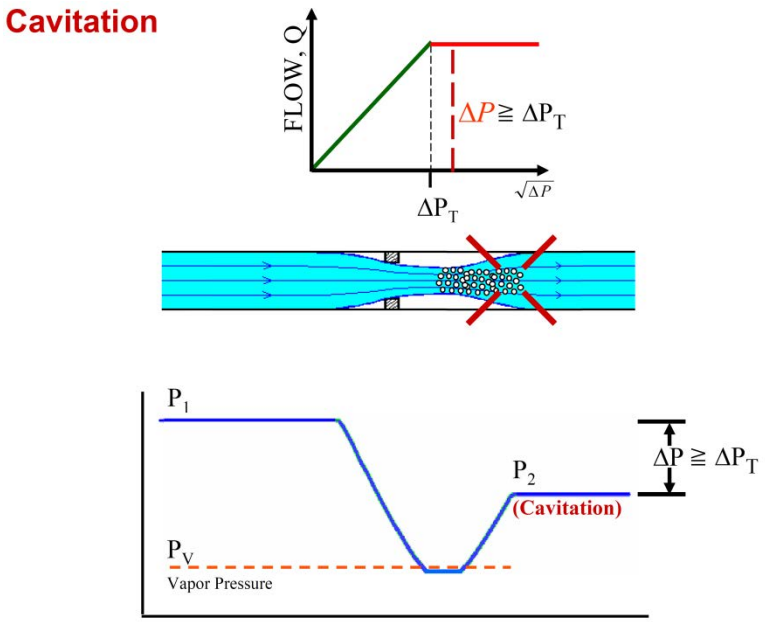
ในกรณีที่ 1 หากค่าความดันตกคร่อมวาล์วยังคงน้อยกว่า Choking Pressure Drop (ΔP_{choked}) และค่าความดันที่ Vena Contracta (P_{VC}) มีค่าสูงกว่าความดันไอของไหล (P_V) แล้วอัตราการไหลภายในท่อที่ไหลผ่านวาล์วจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของความดันตกคร่อมวาล์ว คือ $\sqrt{(P_1 - P_{VC})}$ (ดูรูปที่ 4-56)

ในกรณีที่ 2 หากความดันตกคร่อมวาล์วเพิ่มมากขึ้น อัตราการไหลจะเพิ่มสูงขึ้นตาม ทำให้มีความเร็วการไหลที่จุด Vena Contracta สูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความดันที่ Vena Contracta (P_{VC}) มีค่าต่ำลง หากเหตุการณ์ยังคงดำเนินต่อไปจนความดันตกคร่อมวาล์วมีค่ามากกว่า Choking Pressure Drop (ΔP_{choked}) แล้วอัตราการไหลจะไม่ขึ้นอยู่กับรากที่สองของความดันตกคร่อมวาล์วอีกต่อไป เนื่องจากเกิดการไหลถูก Choked และหากค่าความดันที่ Vena Contracta (P_{VC}) มีค่าต่ำว่าความดันไอของเหลวแต่ความดันด้านทางออกมีความดันสูงกว่าความดันไอของเหลว จะเกิดทั้งปรากฏการณ์ทั้ง Cavitation และ Choked Flow นั่นคือของเหลวกลายเป็นไอในรูปละอองไอผสมอยู่ในของเหลวดังกล่าวจากนั้นจะไหล

ผ่าน Vena Contracta ด้วยความเร็วเท่ากับหรือสูงกว่าความเร็วเสียงและจะเกิดความดันต่ำมหาศาลบริเวณดังกล่าวไปพร้อมๆกัน เมื่อเกิด Choked Flow อัตราการไหลมวลของของเหลวจะไม่เพิ่มขึ้นแม้ลดความดันทางด้านทางออกหรือเพิ่มความดันตกคร่อมวาล์วแต่อัตราการไหลมวลของของเหลวซึ่งกลายเป็น Compressible Fluid จะขึ้นอยู่กับค่าความดันทางเข้าวาล์วเพียงค่าเดียวเท่านั้น และในขณะเดียวกันความหนาแน่นของเหลว (Compressible Fluid) ณ บริเวณ Vena Contracta จะเพิ่มสูงขึ้นโดยยังคงมีความเร็วการไหลเท่าเดิม แต่เมื่อของเหลวและฟองไอเคลื่อนที่ต่อไปจนถึงตำแหน่งซึ่งมีความดันสูงกว่าความดันไอของเหลวและละอองไอผสมอยู่ในของเหลวบางส่วนจะแปรสภาพกลับมาเป็นของเหลวเพียงสถานะเดียว แต่จะมีบางส่วนของละอองไอหรือฟองไอที่ผสมในของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงไปได้ระยะทางหนึ่งก่อนที่จะยุบตัวแตกระเบิดเข้าหาตัวมันเองก่อนกลายเป็นของเหลวซึ่งจะสร้างแรงกระแทกทำลายผิวโลหะภายในตัวเรือนวาล์ว (ดูรูปที่ 4-57)



รูปที่ 4-56 การไหลของเหลวเสมือนผ่านวาล์วควบคุม, $\Delta P < \Delta P_{choked}$ (ΔP_T), $P_{VC} > P_V$



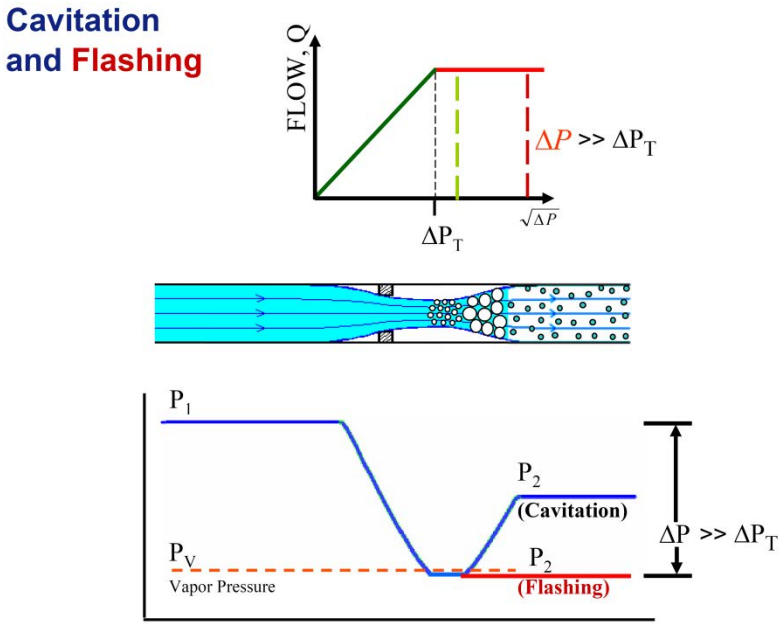
รูปที่ 4-57 การไหลของเหลวเสมือนผ่านวาล์วควบคุม, $\Delta P \geq \Delta P_{choked}$ (ΔP_T), $P_{VC} < P_V$

ในกรณีสุดท้าย ถ้าหากความดันตกคร่อมวาล์วยังมากกว่า Choking Pressure Drop (ΔP_{choked}) และค่าความดันที่ Vena Contracta (P_{VC}) มีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลวประกอบกับความดันด้านทางออกยังคงต่ำกว่าความดันไอของเหลวอย่างต่อเนื่อง ก็จะเกิดทั้ง Choked Flow และ Flashing ซึ่งของเหลวจะกลายเป็นไอแทบจะสมบูรณ์แต่อาจมีละอองของเหลวบ้าง อำนาจทำลายล้างที่กระทำต่อผิวโลหะภายในชิ้นส่วนของวาล์วจะมีลักษณะเส้นสายเป็นทาง (ดูรูปที่ 4-58)

การคำนวณความเร็วของเหลวเมื่อเกิด Flashing

เมื่อความดันด้านทางออกวาล์วต่ำกว่าหรือเท่ากับความดันไอสมดุล (Saturation Pressure) ที่อุณหภูมิของเหลวขณะนั้น ของเหลวบางส่วนจะเปลี่ยน

สถานะของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องคำนวณความเร็วด้านทางออกวาล์วเมื่อเกิด Flashing หากความเร็วที่คำนวณได้สูงกว่า 500 ft/s การออกแบบและการเลือกใช้วาล์วเป็นเรื่องที่ต้องใช้ผู้มีความรู้เนื่องจากเกิดกัดกร่อนเชิงกล (Erosion) สูง ดังนั้นความเร็วด้านทางออกเป็นการผสมของไหล 2 สถานะ คือของเหลวกับไอ จะได้ว่า



รูปที่ 4-58 การไหลของเหลวเสมือนผ่านวาล์วควบคุม, $\Delta P \geq \Delta P_{choked}$ (ΔP_T), $P_{VC} < P_V$, $P_2 < P_V$

$$U = \frac{20}{A_v} q \left[\left(1 - \frac{X}{100\%} \right) V_{f2} + \frac{X}{100\%} V_{g2} \right] \qquad (4\text{-}27)$$

เมื่อ U = ความเร็วด้านทางออกวาล์ว (ft/sec)

q = อัตราการไหล (gpm)

A_v = Valve outlet flow area (in^2) (ดูรูปที่ 5-19)

V_{f2} = Saturate Liquid Specific Volume ที่ความดันด้านทางออกวาล์ว (ft^3/lb)

V_{g2} = Saturate Vapor Specific Volume ที่ความดันด้านทางออกวาล์ว (ft^3/lb)

X = % of Liquid Mass Flashed to Vapor

เมื่อ X % of Liquid Mass Flashed to Vapor มีค่าเท่ากับ

$$X = \left(\frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg2}} \right) \times 100\% \qquad (4\text{-}28)$$

เมื่อ X = % of Liquid Mass Flashed to Vapor

h_{f1} = Enthalpy of Saturate Liquid ที่อุณหภูมิด้านทางเข้าวาล์ว (Btu/lb)

h_{f2} = Enthalpy of Saturate Liquid ที่ความดันด้านทางออกวาล์ว (Btu/lb)

h_{fg2} = Enthalpy of Evaporation ที่ความดันด้านทางออกวาล์ว (Btu/lb)

Choked Flow คืออะไร

Choked Flow หรือบางครั้งอาจเรียกว่า **“Critical Flow”** จะเกิดขึ้นในตัววาล์ว เมื่อรักษาความดันด้านทางเข้าวาล์วให้คงที่จากนั้นเพิ่มความดันตกคร่อมที่ตัววาล์วให้สูงมากขึ้น (ลดความดันด้านทางออกวาล์ว) จนกระทั่งอัตราการไหลที่ไหลผ่านตัววาล์วมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งสิ้นอีกทั้งพบว่าอัตราการไหลนี้จะยังมีค่าคงที่ต่อไปแม้ความดันตกคร่อมวาล์วจะเพิ่มขึ้นก็ตาม

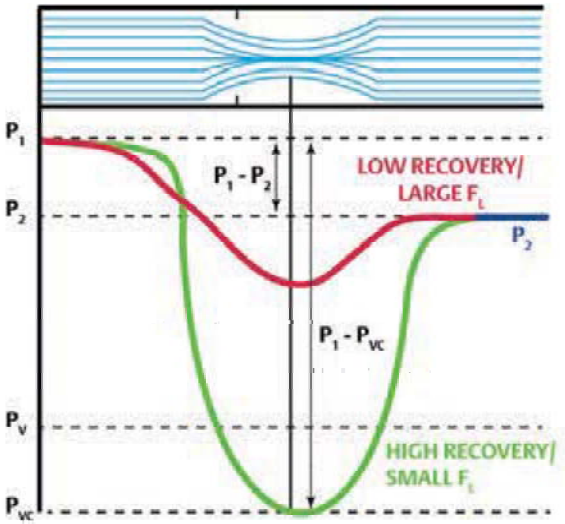
Choked Flow ในการไหลของก๊าซ เกิดขึ้นเมื่อความเร็วก๊าซที่ตำแหน่ง Vena Contracta (ซึ่งอาจเป็นตำแหน่งภายในตัววาล์วหรือตำแหน่งถัดไปทางด้านปลายน้ำของวาล์ว) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความดันที่ตำแหน่งเดียวกันนั้นจะลดลง

และค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) เพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีความเร็วถึงระดับความเร็วเสียงหรือ Sonic Velocity หรือ 1 Mach หรือที่เรียกอีกชื่อว่า Critical Flow Condition เมื่อรักษาความดันทางเข้าวาล์วให้คงที่แล้วเพิ่มความดันตกคร่อมที่ตัววาล์วให้สูงต่อไปอีกต่อจากภายหลังความเร็วของก๊าซที่ตำแหน่ง Vena Contracta เท่ากับความเร็วเสียงจะพบว่าอัตราการไหลที่ไหลผ่านตัววาล์วมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงใดๆนั้นคืออัตราการไหลจะถูกจำกัดที่ความเร็วการไหลเท่ากับความเร็วเสียง แต่พลังงานที่เพิ่มเข้าไปกลับไปเพิ่มระดับความดังของเสียง อัตราการไหลผ่านวาล์วภายหลังที่เกิดสภาวะ Choked ดังที่กล่าวมานั้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับความดันทางเข้าวาล์ว P_1 เพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งก็เสมือนหลักการเดียวกับมาตรวัดแบบ Sonic Nozzle ซึ่งเราใช้วัดอัตราการไหลมวลก๊าซได้จากการวัดค่าความดันทางเข้ามาตรวัดชนิดนี้

สำหรับ Choked Flow ในของเหลวเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของเหลวที่ตำแหน่ง Vena Contracta เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ความดัน ณ ตำแหน่งดังกล่าวลดลงเรื่อยๆ เช่นกันจนกระทั่งความดันมีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลวนั้นๆ (ตามสมการ Bernoulli's Equation) ณ จุดนี้ของเหลวจะเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและเกิดฟองอากาศทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) เพิ่มขึ้นด้วยอัตรามากกว่าผลต่างความดันตกคร่อมวาล์วที่เกิดขึ้น นำไปสู่เงื่อนไขการเกิด Choked Flow ในของเหลวนั้นคือ เมื่อรักษาความดันทางเข้าวาล์วให้คงที่จากนั้นเพิ่มความดันตกคร่อมที่ตัววาล์วให้สูงมากขึ้นจนกระทั่งอัตราการไหลที่ไหลผ่านตัววาล์วมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงใดๆ Choked Flow จึงเป็นตัวชี้วัดถึงจุดเริ่มต้นของของเหลวกลายเป็นก๊าซเต็มรูปแบบเรียกว่า "Full Cavitation" จุดการเกิด Choked flow หรือ Critical Flow ดังกล่าวนี้ได้จากการทดสอบจริงๆและถูกกำหนดด้วยค่า Pressure Recovery Factor หรือ Flow Recovery (F_L) ดังนั้นวาล์วฟื้นตัวความดันสูง (High Recovery) จะมีค่า F_L ต่ำซึ่งจะปลดปล่อยพลังงานได้มากกว่าในรูปของ Cavitation หรือ Flashing ในทางกลับกัน วาล์วฟื้นตัวความดันต่ำ (Low Recovery) จะมีค่า F_L สูง ทำให้มีพลังงานน้อยๆที่เหลืออยู่ใน

สภาวะเช่นนี้ ด้วยเหตุนี้ในการหาขนาดวาล์วสำหรับของเหลวต้องให้ความสนใจในค่า F_L ให้มากเข้าไว้ ในรูปที่ 4-59 เพื่อความเข้าใจเราให้ผลต่างความดันด้านทางเข้าวาล์วและความดันด้านทางออกวาล์วมีค่าคงที่เท่ากัน วาล์วฟื้นตัวความดันสูง (High Recovery) จะมีค่า F_L ต่ำ จะเป็นกราฟที่ตกท้องช้างลึกลงมามากกว่าวาล์วฟื้นตัวความดันต่ำ (Low Recovery) จะมีค่า F_L สูง

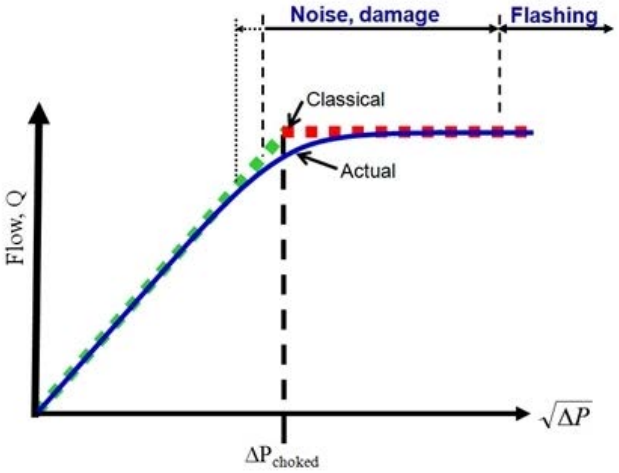
นอกจากนี้ยังมีข้อคิดเห็นที่แตกต่างในประเด็นที่ของเหลวไม่สามารถมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง เช่นเดียวกับก๊าซซึ่งสามารถไหลด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเสียงได้เมื่อเกิด Choked Flow



รูปที่ 4-59 เปรียบเทียบการไหลของเหลวของวาล์วฟื้นตัวความดันสูงจะมีค่า F_L ต่ำ, วาล์วฟื้นตัวความดันต่ำจะมีค่า F_L สูง

ในการเกิด Choked Flow ตัวมันเองไม่ได้เป็นสาเหตุของความเสียหาย แต่การเกิด Choked Flow ในของเหลวเป็นตัวบ่งบอกถึงการเกิดปรากฏการณ์ Cavitation หรือ Flashing นอกจากนี้ Choked Flow เองก็ไม่ได้เป็นตัวบ่งบอกของการเกิดเสียง สำหรับในของเหลวเสียงจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิด Cavitation

ยิ่งมีการเกิด Cavitation รุนแรงยิ่งมีเสียงดังมาก ซึ่งจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนและสร้างความเสียหายกับลิ้นวาล์ว, Seat Ring และตัวเรือนวาล์ว เป็นต้น



รูปที่ 4-60 ปรากฏการณ์จากสภาวะ Non-Choked Flow เป็น Choked Flow

วิธีการแก้ไขปัญหาเมื่อวาล์วที่ใช้งานตกอยู่ภายใต้สภาวะอย่างนี้หรือที่เราเรียกวาล์วประเภทนี้ว่า “Sever Service Valve” ก็คือต้องออกแบบ Trim ลดความดันเป็นขั้นๆ เพื่อป้องกันการเกิด Cavitation และลดความเสียหายที่จะเกิดกับวาล์ว หรือออกแบบด้วยความคิดใหม่ๆ ซึ่งเราไม่อยากขยายขอบเขตเนื้อหาออกไปจนถึงจุดนั้น

อัตราส่วนความดัน Choked (Choked Pressure Ratio) ณ ตำแหน่งที่อัตราการไหลผ่านวาล์วยังคงที่ในขณะที่ความดันลดลงเหลือ P_2

$$\Delta P_{ch} = F_L^2 [P_1 - F_F P_V] \qquad (4\text{-}29)$$

เมื่อ ΔP_{ch} = Choked Pressure Drop; psi

F_L = Liquid Pressure Recovery Factor

F_F = Liquid Pressure Ratio Factor

P_V = Vapor Pressure; psia, bar, kPa

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว; psia, bar, kPa

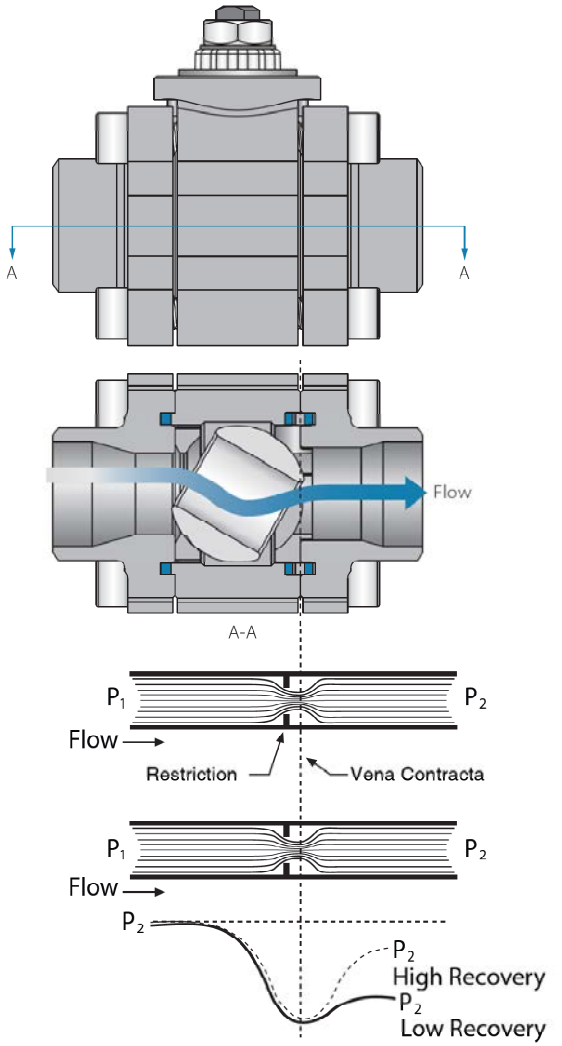
ที่ความดันตกคร่อม ณ ตำแหน่งนี้เสียงจากการเกิด Cavitation มีค่าใกล้เคียงค่าความดังสูงสุด อีกทั้งเกิดความเสียหายจาก Cavitation .ในสภาวะรุนแรงเช่นนี้จะเกิดขึ้นในระบบท่อบริเวณท้ายน้ำของวาล์วในพวก Rotary Valve ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า “Super Cavitation”

วาล์วที่มีการฟื้นตัวความดันสูง เช่น Ball Valve (ดูรูปที่ 4-61) และ Butterfly Valve จะเกิด Choked ที่ค่าความดันตกคร่อมวาล์วต่ำกว่าวาล์วที่มีการฟื้นตัวความดันต่ำ เช่น Globe Valve ซึ่งมีช่องทางการไหลที่คดเคี้ยวและแคบถึงแม้อยู่ในตำแหน่งเปิดวาล์วสุดก็ตาม

เมื่อเราพิจารณาในเทอมของความดันของไหลภายในตัววาล์วในรูปอัตราส่วนความดันไปแล้ว เราอาจพิจารณาในเทอมของความเร็วของไหลที่วิ่งผ่านลิ้นวาล์วและ Seat Ring เพราะการเปลี่ยนแปลงความดันมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของไหลภายในตัววาล์วอย่างแยกจากกันไม่ออกดังในรูปที่ 4-41 และรูปที่ 4-47 ด้วยเหตุนี้ทาง ISA จึงกำหนดให้ความเร็วของเหลว ณ ตำแหน่งทางออกระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring หรือที่เรียกรวมกันในกรณีว่า Trim (Valve Trim Outlet) มีความเร็วสูงสุดไม่เกิน 30 m/s (ดูรูปที่ 4-62) แต่โดยทั่วไปไม่ควรมีความเร็วเกิน 10 m/s หรืออีกนัยหนึ่งคือความเร็วที่เรียกว่า Vena Contracta Velocity; V_{vc} ในขณะที่ความเร็วของเหลวไหลในระบบท่อสูงสุดโดยทั่วไปไม่เกิน 3 - 4.5 m/s (10 - 15 ft/sec) และนี้คือเบื้องหลังว่าปกติแล้วทำไม Control Valve จึงมีขนาดเล็กกว่าขนาดของท่อที่ไปติดตั้ง หรือกลายเป็นความเชื่อหรือเป็นลูกสูตรลดขนาดวาล์วลง 1 ขนาดจากระบบท่อที่วาล์วไปติดตั้ง ดังสมการข้างล่าง

$$Q = VA = (3\,m/s)A_{pipe} = (10\,m/s)A_{valve} \qquad (4\text{-}30)$$

$$\frac{A_{pipe}}{A_{valve}} = \frac{10\,m/s}{3\,m/s} = 3.33 \qquad (4\text{-}31)$$



รูปที่ 4-61 ตัวอย่างการฟื้นตัวความดันสูงของ Ball Valve

และให้ความเร็วของก๊าซหรือไอบริเวณทางออก Trim วาล์วมีความเร็วไม่เกิน 0.33 Mach หรือ 1 ใน 3 ความเร็วเสียง เพื่อป้องกันเสียงดังจากการทำงานของวาล์ว แต่ถ้าเราไม่สนใจเรื่องเสียงดังก็สามารถเพิ่มความเร็วก๊าซหรือไอได้ไม่เกิน 0.50

Mach หรือ 1 ใน 2 ความเร็วเสียง เมื่อความเร็วเสียงมีค่าเท่ากับ 1100 ft/sec (335 m/s) หรือ 750 mi/h (1200 km/h)

	Acceptable Velocity*		Acceptable Energy	
Location	ft/sec	m/sec	psia	kPa
Valve trim outlet	100	30	70	480
Valve inlet and outlet	60	18	24	167
Main flow piping	10	3	0.7	5
Bypass flow piping**	30	9	6	42
Bypass Valve Trim Outlet**	150	46	150	1030

** Assumes ambient temperature water*

*** Intermittent service (closed 95% of time) acceptance criteria can be higher, per ISA "Control Valves", chapter 12, page 437*

รูปที่ 4-62 ISA™ Fluid Energy - Acceptance Criteria

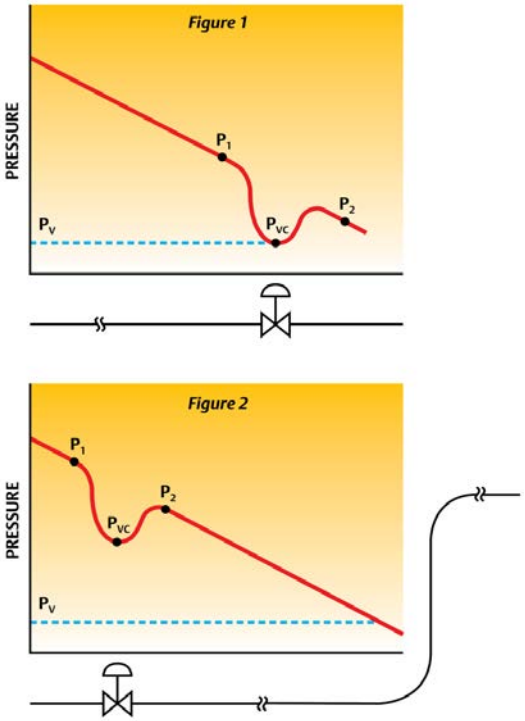
วิธีการแก้ไขปัญหาเมื่อเราเจอ Cavitation ภายในวาล์ว

ให้พิจารณารูปที่ 4-41 และรูปที่ 4-42 ว่าเราจะ

1. ทำอย่างไรเพื่อเพิ่มความดันด้านทางเข้าวาล์ว (P_1) และความดันด้านทางออกวาล์ว (P_2)

- พิจารณาจากรูปที่ 4-41 และรูปที่ 4-42 ศึกษาสภาวะเงื่อนไขความดันของเหลวในระบบที่ทำให้เกิด Cavitation ถึงแม้เรารู้สภาวะความดันในระบบและเราเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบไม่ได้ ดังนั้นต้องหลบไปพิจารณาตำแหน่งติดตั้งที่สร้างความดันทางเข้าและทางออกวาล์วให้เพิ่มขึ้นจากเดิม เช่น ติดตั้งวาล์วในตำแหน่งปลายน้ำหรือต้นน้ำของระบบท่อ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความดันทางเข้าวาล์วและความดันทางออกวาล์ว ดูรูปที่ 4-63 เราเลือกติดตั้งวาล์วในตำแหน่งต้นน้ำของระบบท่อซึ่งอยู่ใกล้กับปั๊มซึ่งมีความดันสูงมากกว่าเพื่อสร้างความดันด้านทางเข้าวาล์ว หรือติดตั้งวาล์วถัดจาก Heat Exchanger เนื่องจาก

ของเหลวออกจาก Heat Exchanger มีอุณหภูมิต่ำลงทำให้ความดันไอของเหลวลดลง (ดูรูปที่ 4-64) หรือแม้แต่ติดตั้งวาล์วในตำแหน่งต่ำกว่าระบบเพื่อเพิ่ม Static Head ทางเข้าวาล์วก็น่าลอง (ดูรูปที่ 4-65)



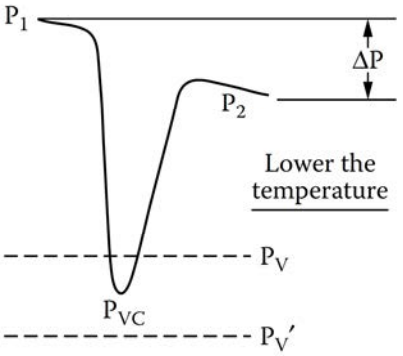
รูปที่ 4-63 เปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งวาล์วให้อยู่ต้นน้ำเพื่อเพิ่มความดันทางเข้าวาล์ว

2. ทำอย่างไรเพื่อทำให้ผลต่างความดัน P_1- P_2 น้อยลงหรือความดันตกคร่อมวาล์วน้อยลง

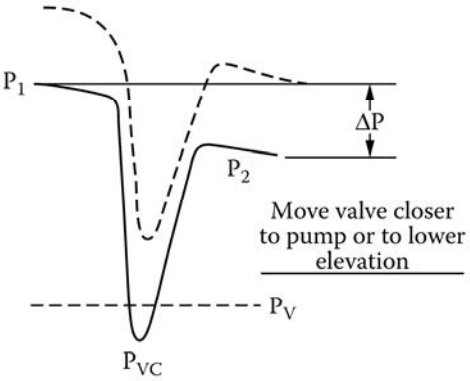
3. ทำอย่างไรให้ ΔP_{choked} มีค่าสูงซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของความดันด้านทางเข้าวาล์ว (P_1) (ต้องมีค่าสูง), ความดันไอของเหลว (P_V) (ต้องมีค่าต่ำ) และลักษณะรูปร่างภายในตัวเรือนวาล์วต้องมีค่า F_L สูงๆ เช่น ในกรณีลดความดันไอของเหลว (P_V) จากหลักการที่ว่าความดันไอของเหลวจะลดลงเมื่อของเหลวมี

อุณหภูมิลดลงเราจึงอาจติดตั้งวาล์วในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิของเหลวต่ำ เช่น ทางออก Heat Exchanger ก็ได้ สำหรับลักษณะรูปร่างภายในตัวเรือนวาล์วจะสะท้อนออกมาจากการทดสอบหา Pressure Recovery Factor; F_L ของวาล์ว (ดูรูปที่ 4-66) หากวาล์วใดมีค่า F_L สูงแสดงว่ามีแนวโน้มโอกาสเกิด Cavitation ได้ต่ำ

4. ทำอย่างไรให้ Vena Contracta Pressure (P_{vc}) มีค่าสูงขึ้น
5. ทำอย่างไรให้ Vena Contracta Velocity (V_{vc}) มีค่าน้อยลง



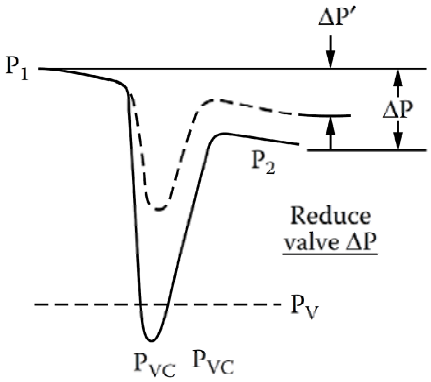
รูปที่ 4-64 ติดตั้งวาล์วหลัง Heat Exchanger ของเหลวด้านทางออกมีอุณหภูมิต่ำลง ความดันไอก็ลดต่ำลง



รูปที่ 4-65 ติดตั้งวาล์วในตำแหน่งต่ำกว่าระบบเพื่อเพิ่ม Static Head ทางเข้าวาล์ว

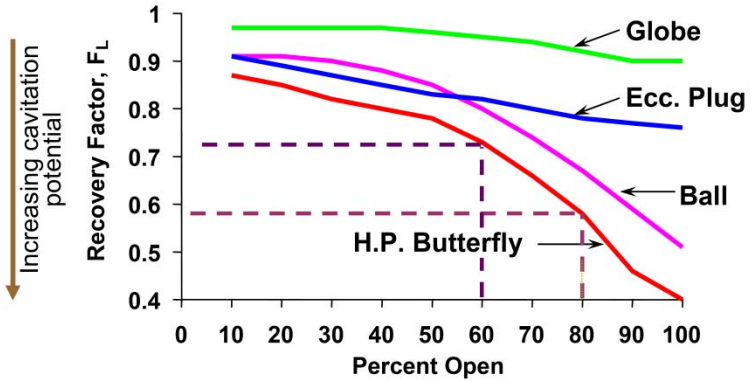
เมื่อทำตามที่กล่าวมาแล้วยังไม่ทำให้สภาวะเงื่อนไขการทำงานของระบบเปลี่ยนไปโดยเฉพาะอัตราการไหล เราอาจจะแก้ไขปัญหา Cavitation ในแนวทางอื่นๆ ตัวอย่าง เช่น

- หลีกเลี่ยงไม่ให้ความดันตกคร่อมวาล์วสูงเกิน Damage Inducing Cavitation; (ΔP_{damage}) ดูรูปที่ 4-66 โดยเปลี่ยนแปลงระบบหรือกระบวนการที่ติดตั้งวาล์วเข้าไป หากเปลี่ยนแปลงไม่ได้ให้

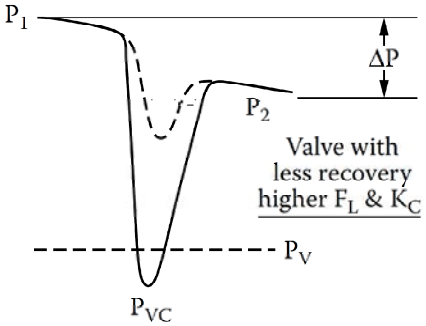


รูปที่ 4-66 ไม่ให้ความดันตกคร่อมวาล์วสูง

- เลือกวาล์วที่ลิ้นวาล์วและ Seat Ring ที่ทำให้สร้างความดันฟื้นตัวมากๆ (Pressure Recovery Factor; F_L มากๆ) ดูรูปที่ 4-67 และรูปที่ 4-68



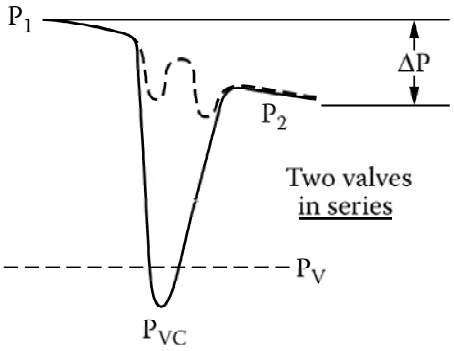
รูปที่ 4-67 Pressure Recovery Factor; F_L ของแต่ละชนิดของวาล์วโดยทั่วไป



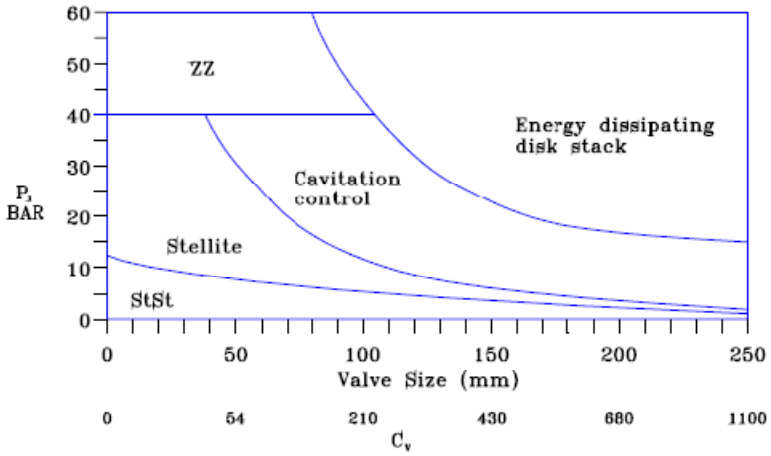
รูปที่ 4-68 เลือกวาล์วที่มีค่าความดันฟื้นตัว (F_L) มากๆ

- เลือกใช้ลิ้นวาล์วและ Seat Ring ทำด้วยวัสดุแข็งแรงทนทานเพียงพอเพื่อต้านความเสียหาย เช่น. Stellite Hard Facing
- เลือกใช้วาล์วแบบ Server Service Valve ที่มี Anti-Cavitation Trim
- ใช้หรือติดตั้ง Single–Stage Resistance Plate หรือ Multi–Stage Resistance Plate ด้านท้ายน้ำของวาล์ว
- ควบคุมให้ตำแหน่งการระเบิดยุบตัวของฟองอากาศและบังคับให้ระเบิดยุบตัวในบริเวณที่ห่างจากตำแหน่งชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำงานที่สำคัญของวาล์ว คือลิ้นวาล์วกับ Seat Ring
- ติดตั้งวาล์วที่เหมือนกัน (Identical Valves) จำนวน 2 ตัวต่อแบบอนุกรมในระบบฯ จะส่งผลให้เกิดสภาวะ Twin-stage Trim เสมือนนาข้าวขั้นบันไดเชิงภูเขา.(ดูรูปที่ 4-69) การคำนวณ Pressure Recovery Factor; F_L หรือ K_D ของผลการติดตั้งวาล์วดังกล่าวจะเปลี่ยนจาก F_L หรือ K_D เป็น $\sqrt{F_L}$ หรือ $\sqrt{K_D}$ นั้นคือเราทำการเพิ่ม Pressure Recovery Factor (F_L) ยกตัวอย่างเช่นวาล์วมีค่า F_L = 0.7 เมื่อนำวาล์วเหมือนกัน 2 ตัวมาต่อแบบอนุกรมจะได้ผลรวม Pressure Recovery Factor = $\sqrt{F_L}$ = $\sqrt{0.7}$ = 0.84 หมายถึงค่า Pressure Recovery Factor (F_L) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันตกคร่อมวาล์วน้อยลง ในทางทฤษฎีดูดี แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นจริงในทุกกรณีเพราะวาล์วจะไม่สามารถทำงาน

ควบคุมได้ดีพร้อมกันทั้ง 2 ตัว ยกเว้นในระบบหรือกระบวนการฯ ทำงานด้วยระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) ชนิดควบคุมแบบสัดส่วนที่มี Proportional Band ต่ำมาก (Proportion Gain สูงมาก) ทำให้ Band of Controller Output ที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของวาล์วจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดมีค่าต่ำมากคือมีสภาวะเข้าใกล้การควบคุม ON-OFF กับการตอบสนองจังหวะการทำงานช้า (Slow Response Times)



รูปที่ 4-69 ติดตั้งวาล์วที่เหมือนกัน (Identical Valves) 2 ตัวต่อแบบอนุกรม



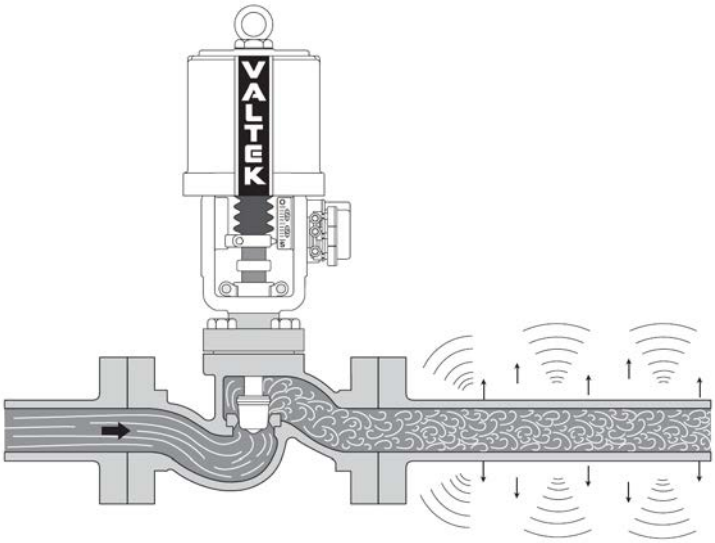
รูปที่ 4-70 แนวการควบคุม Cavitation จากกราฟความสัมพันธ์โดยภาพรวมระหว่าง C_V กับความดันทางเข้าวาล์ว P_1

- เพราะว่าเสียงดังที่เกิดขึ้นและความเสียหายที่ตามมา บ่อยครั้งที่จะเกิดก่อนที่ค่า $\Delta P > \Delta P_{choked}$ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิด Cavitation ในวาล์วและลดความเสียหายให้ต่ำสุด หนึ่งในหลายเทคนิคที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิด Cavitation ก็คือคำนวณหาค่า Sound Pressure Level (SPL) ให้เหมาะสม ดังในสมการที่ (4-32) เช่น

- วาล์วขนาด 3 นิ้วและขนาดเล็กลงมา การคำนวณหา Sound Pressure Level อยู่บนพื้นฐานของท่อมีความหนา Schedule 40 และไม่มีฉนวนหุ้มแล้วต้องมีค่าไม่เกินกว่า 80 dBA
- วาล์วขนาด 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว การคำนวณหา Sound Pressure Level อยู่บนพื้นฐานของท่อมีความหนา Schedule 40 และไม่มีฉนวนหุ้มแล้วต้องมีค่าไม่เกินกว่า 85 dBA
- วาล์วขนาด 8 นิ้วและขนาดใหญ่ขึ้นไป การคำนวณ Sound Pressure Level อยู่บนพื้นฐานของท่อมีความหนา Schedule 40 และไม่มีฉนวนหุ้มแล้วต้องมีค่าไม่เกินกว่า 90 dBA

7. Noise

เมื่อของไหลไหลผ่านวาล์วด้วยความเร็วสูงหรือปั่นป่วนรุนแรง (Turbulent Flow) ชิ้นส่วนภายในตัวเรือนวาล์วจะมีแน้วโน้มสั่นสะเทือนมากขึ้น ส่งผลก่อให้เกิดเสียงดังมากขึ้นขณะวาล์วทำงาน เสียงที่ดังออกมายังสร้างความรำคาญแก่ผู้ปฏิบัติงานใกล้บริเวณดังกล่าวและหากต้องปฏิบัติงานในบริเวณดังกล่าวเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพในการได้ยินเสียงได้อีกด้วย โดยปกติเสียงดังจะไม่เกิดตรงตัววาล์วเนื่องจากตัววาล์วมีความแข็ง (Stiffness) สูง แต่เสียงจะดังขึ้นในบริเวณปลายน้ำของวาล์วส่วนจะเป็นลักษณะใดขึ้นอยู่กับรูปแบบของ Trim วาล์ว (ดูรูปที่ 4-71)



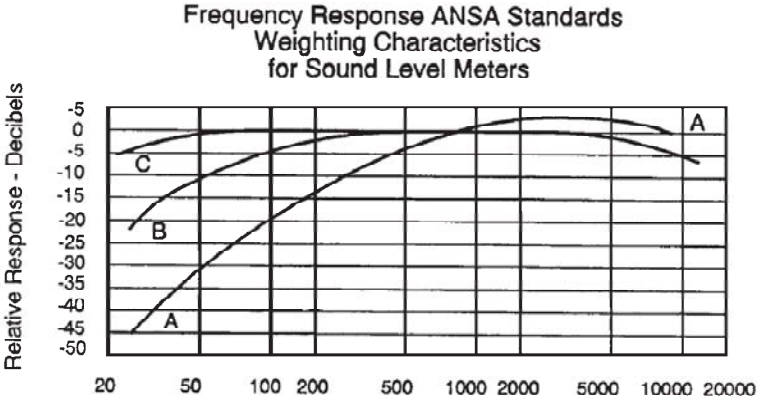
รูปที่ 4-71 ท่อจะสั่นและมีเสียงดังด้านปลายน้ำของวาล์ว

การส่งพลังงานเสียงผ่านอากาศนั้นจะอยู่ในรูปของการสั่นสะเทือนหรือการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Changes) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของจำนวนรอบต่อวินาทีหรือ Hertz (Hz) โดยปกติมนุษย์จะได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 - 20,000 Hz ความเข้มเสียงของการได้ยินจึงถูกวัดเป็นหน่วย “เดซิเบล (Decibels)” ในหน่วยการวัดเสียงยังมีการแบ่งย่อยออกเป็น 3 หน่วยวัดย่อย (ดูรูปที่ 4-72) คือ

ก. “dBA” สำหรับการได้ยินของมนุษย์ เราจะสนใจหน่วยนี้เป็นหลักเนื่องจากเกี่ยวกับสุขภาพของเรา

ข. “dBB” สำหรับการวัดช่วง Intermediate Range, และ

ค. “dBC” สำหรับเครื่องมือวัดที่ถูกออกแบบเพื่อการใช้งาน ทั้งนี้โดยกำหนดให้ “0” Decibel (dB) มีค่าเท่ากับ 0.00002 N/m^2 (20 µPa = 0.000020 Pa = 0.0002 µbar) โดยความดันบรรยากาศปกติ 10 µbar มีค่าเท่ากับ 1 N/m^2



รูปที่ 4-72 กราฟเดซิเบล ในหน่วยวัด dBA, dBB และ dBC

กำหนดให้เสียงที่เกิดจากวาล์ว (Valve Noise) ถูกคำนวณในค่าของ “Sound Pressure Level (SPL)” มีค่าเท่ากับ

$$\mathrm{SPL} = 20\log_{10}\frac{\mathrm{P}}{0.00002\ \mathrm{N/m^2}} \quad \mathrm{dB} \qquad (4\text{-}32)$$

เมื่อ P = Root-Mean-Square Sound Pressure (N/m^2)

ซึ่งค่า SPL (ดูรูปที่ 4-73) จะถูกวัดด้วยเครื่องมืออุปกรณ์ที่เรียกว่า Sound-level Meter ซึ่งปกติแล้วจะวางในตำแหน่งในด้านปลายน้ำของตัววาล์ว โดยห่างออกไป 1 เมตรและห่างจากท่อที่ติดตั้งวาล์ว 1 เมตรซึ่งอาจให้ผลคลาดเคลื่อนได้หากมีการสะเทือนจากผิวโครงสร้างโลหะบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นควรวัดในตำแหน่งที่ไม่มีการสะเทือนของคลื่นเสียง

ปัจจุบันพอมีวิธีการคำนวณหาความดังของเสียงที่เกิดจาก Cavitation แต่ยังไม่มีวิธีคิดคำนวณหาความดังของเสียงเนื่องจากการเกิด Flashing

Maximum Calculated SPL	
UP TO 3" VALVE SIZE	80dBA
4" TO 6"	85 dBA
8" TO 14"	90 dBA
16" AND LARGER	95 dBA

รูปที่ 4-73 ค่าคำนวณ SPL สูงสุดเทียบกับขนาดท่อในการหลีกเลี่ยงการเกิด Cavitation

SAMSON

Project _____ Data Sheet _____ of _____
Unit _____ Date _____
P.O. _____ Spec _____
Item _____ Tag _____
Contract _____ Dwg _____
Mfr Serial* _____ Service _____

1 Fluid _____ Crit Press Pc _____

SERVICE CONDITIONS

	Units	Max Flow	Norm Flow	Min Flow	Shut-Off
2 Flow Rate					–
3 Inlet Pressure					
4 Outlet Pressure					
5 Inlet Temperature					
6 Density/Spec Grav/Mol Wt					–
7 Viscosity/Spec Heat Ratio					–
8 Vapor Pressure Pv					–
9 * Required Cv					–
10 * Travel	%				0
11 Allowable/*Predicted SPL	dB(A)				–
12					

LINE

13 Pipe Line Size In _____
14 & Schedule Out _____
15 Pipeline Insulation

VALVE BODY / BONNET

16 * Type _____
17 * Size _____ ANSI Class _____
18 Max Press/Temp _____
19 * Mfr & Model _____
20 * Body/Bonnet Matl _____
21 * Liner Matl/ID _____
22 End In _____
23 Connection Out _____
24 Flg Face Finish _____
25 End Ext/Matl _____
26 * Flow Direction _____
27 * Type of Bonnet _____
28 Lub & Iso Valve _____ Lube _____
29 * Packing Material _____
30 * Packing Type _____
31

TRIM

32 * Type _____
33 * Size _____ Rated Travel _____
34 * Characteristic _____
35 * Balanced/Unbalanced _____
36 * Rated Cv ____ FL ____ XT _____
37 * Plug/Ball/Disk Material _____
38 * Seat Material _____
39 * Cage/Guide Material _____
40 * Stem Material _____
41
42

SPECIALS / ACCESSORIES

43 NEC Class ____ Group ____ Div. _____
44
45
46
47
48
49
50
51
52

ACTUATOR

53 * Type _____
54 * Mfr & Model _____
55 * Size _____ Eff Area _____
56 On/Off _____ Modulating _____
57 Spring Action Open/Close _____
58 * Max Allowable Pressure _____
59 * Min Required Pressure _____
60 Available Instr. Air Max _____
61 Supply Pressure Min _____
62 * Bench Range _____
63 Act Orientation _____
64 Handwheel Type _____
65 Air Fails Valve _____ Set at _____
66
67 Input signal

POSITIONER

68 * Type _____
69 * Mfr & Model _____
70 * On Increasing Signal Output Incr/Decr _____
71 Gauges _____ Bypass _____
72 * Cam Characteristic _____
73

SWITCHES

74 Type _____ Quantity _____
75 * Mfr & Model _____
76 Contacts/Rating _____
77 Actuation Points _____
78

AIRSET

79 * Mfr & Model _____
80 * Set Pressure _____
81 Filter _____ Gauges _____
82

TESTS

83 * Hydrostatic Pressure _____
84 ANSI/FCI Leakage Class _____
85
86

Rev	Date	Revision	Orig	App

* Information supplied by manufacturer unless already specified.

รูปที่ 4-74 แบบฟอร์มการสั่งซื้อวาล์วควบคุม ตาม ISA Form S20.50

วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว
(Control Valves in Dynamic Measuring Systems)
ตอนที่ 5 การกำหนดขนาดวาล์วควบคุม
(Valve Sizing)

การหาขนาดวาล์วควบคุมเป็นเรื่องสำคัญในฐานะวาล์วควบคุมเป็น Final Control Element จึงมีเรื่องสำคัญ 2 เรื่องที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อให้วาล์วควบคุมสามารถทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ ประการแรก ต้องหาข้อมูลในกระบวนการหรือระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ถูกต้อง เช่น อัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละสภาวะเงื่อนไขการทำงาน, ความดันตกคร่อมวาล์วที่มีได้ (Available Pressure Drop) ที่แต่ละสภาวะเงื่อนไขการทำงาน (ดูรูปที่ 5-1), ความดันสูงสุดและอุณหภูมิสูงสุดทางเข้าวาล์วควบคุม, ความหนืดของเหลวที่อยู่ในกระบวนการหรือระบบนั้นๆ, การไหลเป็นแบบของเหลวสถานะเดียว (Single-Phase Flow) หรือ 2 สถานะ (Two-phase Flow), การเลือกความดันตกคร่อมวาล์วที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะความดันสูญเสียในระบบท่อหรือคุณสมบัติการทำงานของแต่ละปั๊มจะแตกต่างกันในแต่ละสภาวะเงื่อนไข ดังในรูปที่ 5-2

ประการที่สอง การเลือกใช้สมการคำนวณหาขนาดวาล์วที่เหมาะสมกับสภาวะเงื่อนไขการทำงานของระบบหรือกระบวนการฯ โดยแยกแยะเงื่อนไขให้ชัดเจน ในกรณีการกำหนดวาล์วที่ใช้กับของเหลวอยู่ในเงื่อนไข 1.) Turbulent, Non-Choked, 2.) Turbulent, Choked, 3.) Satuated Flow, 4.) Laminar (Viscous), 5.) Non-Newtonian และ 6.) Two-Phase Flow เป็นต้น

สำหรับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับวาล์วจะมี 2 ค่าย ค่ายแรกอยู่ในสหรัฐอเมริการใช้หน่วยอังกฤษ คือ The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA) ได้แก่ ISA S75.01-2000, Control Valve Sizing

Equation และอีกค่ายหนึ่งอยู่ในทางยุโรปใช้ระบบหน่วย SI Unit คือ The International Electrotechnical Commission (IEC) ได้แก่ IEC 60534-2-1, Industrial Process Control Valve , Part 2-1: Flow Capacity Sizing Equations for Fluid Flow under Installed Condition

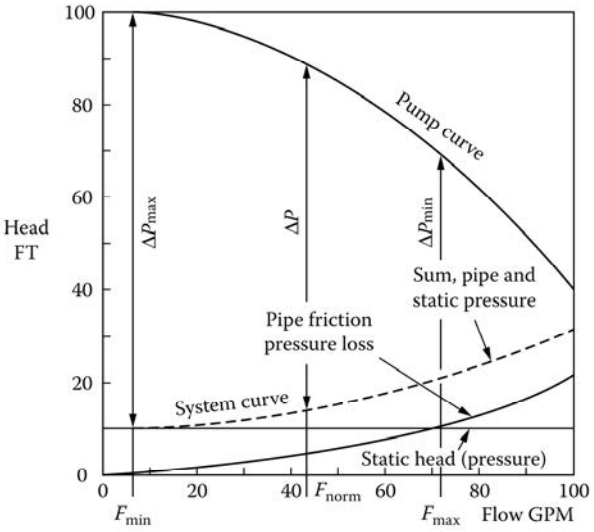


FIG. 6.1c

The difference between the pump discharge pressure curve and the system curve (which is the sum of the static head and the pipe friction loss) is the available valve differential.

รูปที่ 5-1 ความดันตกคร่อมวาล์วที่มีได้ (Available Pressure Drop) ที่แต่ละสภาวะเงื่อนไขการทำงาน

ความเป็นมา

ก่อนจะเรียนรู้ปัจจุบันและฝันถึงอนาคต เราต้องย้อนกลับไปดูความเป็นมาเสียก่อน ในแรกเริ่มเดิมทีมีการใช้วาล์วควบคุม Globe Valve โดยใช้มือหมุนขนาด 4 นิ้วติดตั้งเข้ากับระบบท่อ 4 นิ้ว เมื่อใช้งานไปปรากฏว่าที่ความดันตกคร่อมวาล์วสูงวาล์วยังคงมี capacity สำหรับการควบคุมอัตราการไหลสูงอยู่ หรือจะว่าไปก็คือวาล์วมีขีดความสามารถเหลือเฟือว่างั้นเถอะ ทำให้เป็นสาเหตุในการ

ออกแบบเพื่อการประหยัดถือเป็นกฎเล็กน้อยว่าเลือกใช้วาล์วควบคุมให้มีขนาดเล็กกว่าระบบท่อที่ไปติดตั้งลดลง 1 ขนาด เช่น ถ้าติดตั้งระบบท่อ 4 นิ้วก็เลือกใช้วาล์วขนาด 3 นิ้ว เป็นต้น แต่ข้อจำกัดการเลือกด้วยวิธีการนี้ยังคงมีปัญหาอยู่จึงมีการพัฒนาสัมประสิทธิ์กำหนดขนาด (Sizing Coefficient) บนพื้นฐานของการสงวนพลังงานของสมการ Bernoulli's Equation และการสงวนมวลของสมการ Continuity Equation เมื่อรวมกันแล้วจะได้อัตราการไหลผ่านคอคอด (Restriction) ในที่นี้คือช่องว่างระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat ring เมื่อลิ้นวาล์วของวาล์วควบคุมมีการเคลื่อนที่มีค่าในทางทฤษฎี ดังนี้

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(\Delta H)}{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \qquad (5\text{-}1)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ft^3/s)

A_1 = พื้นที่หน้าตัดท่อ (in^2)

A_2 = พื้นที่เปิดระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring (in^2)

ΔH = ความดันตกคร่อมวาล์ว (Head Loss) (ft)

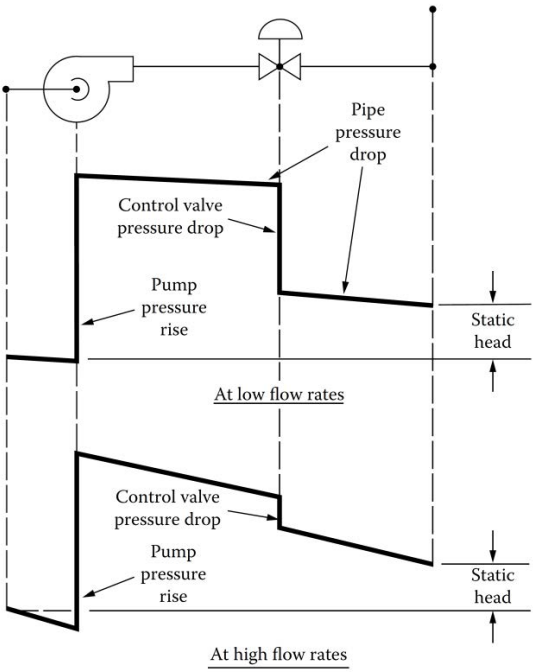
g = แรงโน้มถ่วงของโลก 32.174 ft/s^2

แต่ในทางปฏิบัติ ได้มีการนำตัวแปรตัวใหม่ที่มีชื่อว่า "Discharge Coefficient"; C ถูกนำมาใช้เพื่อทำการปรับแก้ไขค่าให้การคำนวณมีความแม่นยำในทางปฏิบัติให้มากขึ้น และปรับเปลี่ยน ΔH .ให้อยู่ในรูปของค่าความดันในหน่วย Psi แทน ft ด้วย $\Delta P/\gamma$

$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{2g\left(\frac{\Delta P}{\gamma}\right)}{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \qquad (5\text{-}2)$$

เมื่อ ΔP = ความดันตกคร่อมวาล์ว (Psi)

γ = Weight Density (lb_m/ft^3)



รูปที่ 5-2 ความดันของระบบปั๊มที่อัตราการไหลสูง/อัตราการไหลต่ำซึ่งมีผลต่อการเลือกใช้ค่าความดันตกคร่อมวาล์วในการคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุม

จากนั้นได้มีการพัฒนาปรับใช้งานสมการ (5-2) ให้สามารถใช้งานได้สะดวกมากขึ้นจึงพัฒนารูปสมการใหม่ขึ้นมาพร้อมรวมเอาพื้นที่การไหลของช่องทางการไหลของวาล์ว, Contraction Coefficient และ Head Loss Coefficient เข้าด้วยกัน กำหนดให้เป็นตัวแปรตัวใหม่ที่มีชื่อว่า **“Valve Coefficient”; C_V** ค่าดังกล่าวนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็น**ตัวแปรบ่งบอกขีดความสามารถรองรับอัตราการไหลของวาล์ว** ดังสมการ (5-3)

$$Q = C_V\sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}} \qquad (5\text{-}3)$$

เมื่อ C_V = Valve (Flow) Coefficient

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะเทียบกับน้ำที่ 60 °F (Specific Gravity)

Flow Capacity:

เพื่อให้สอดคล้องกับ ISA เราจะใช้ q แทน Q สำหรับอัตราการไหลผ่านวาล์ว

$$C_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}}} \qquad (5\text{-}4)$$

เมื่อ C_V = Valve Flow Coefficient (gpm/psi$^{1/2}$)

q = อัตราการไหล (gpm)

ΔP = ผลต่างความดันทางเข้าวาล์ว (P_1) เทียบกับความดันด้านทางออกวาล์ว (P_2) (psi);

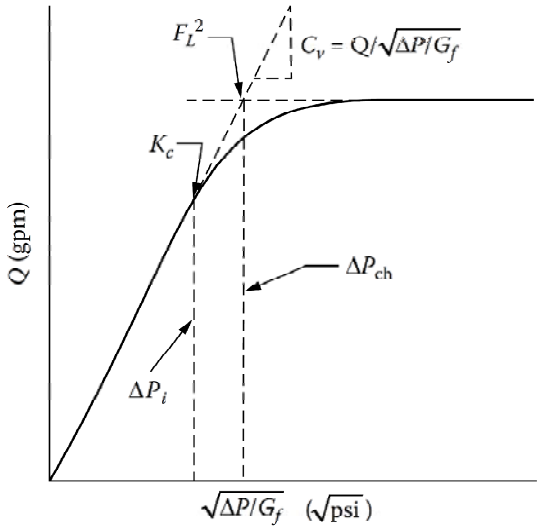
= $P_1 - P_2$ (ดูรูปที่ 5-4)

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเหลวที่กำหนดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (น้ำที่ 60 °F มีค่า G_f เท่ากับ 1)

ด้วยเหตุนี้ค่า $C_V = 1$ จึงหมายถึงอัตราการไหล 1 gpm (U.S.) ของน้ำที่ 60 °F ภายใต้ความดันตกคร่อมวาล์ว 1 psi แต่เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ในตัวสมการจึงมีข้อจำกัดการใช้งานของสมการ (5-4) อยู่ 2 ข้อจำกัดคือ

1. สมการ (5-4) ใช้ได้กับการไหลที่มีรูปแบบ Turbulent Flow นั้นคือมีค่า Reynolds Number ในท่อมีค่า $Re \geq 5{,}000$ หรือ Valve Reynolds Number ในสมการ (5-11) มีค่า $Re_V \geq 10{,}000$ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดนี้สามารถละเลยได้ถ้าหากเราต้องการให้ C_V มีค่าสูงกว่า 0.1 และ Kinematic Viscosity มีค่าต่ำกว่า 40 Centistokes จะมีเงื่อนไขอื่นๆอีกมากมายแต่เอาแค่นี้ก่อน

2. ที่สภาวะเงื่อนไขหนึ่ง เมื่อเกิดการปิดสกัดกั้นการไหลภายในช่องทางการไหลในวาล์วที่เราเรียกว่า “Choked Flow” เกิดขึ้นที่ช่องทางการไหลหรือเลยมาทางด้านปลายน้ำของวาล์ว ซึ่งเป็นค่าที่แน่นอนค่าหนึ่งของอัตราส่วนความดันตกคร่อมวาล์วต่อความดันด้านทางเข้าวาล์วซึ่งเราเรียกว่า “Pressure Recovery Factor”; F_L^2 โดยเดิมทีเราเรียก “Critical FlowFactor”^{2} ; C_f

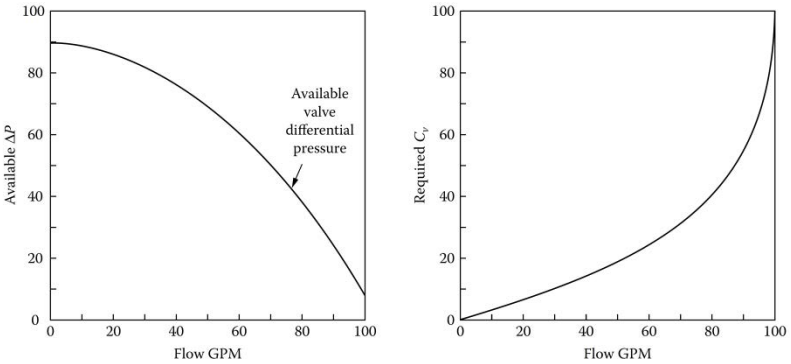


รูปที่ 5-3 Choked Pressure Drop (ΔP_{ch})

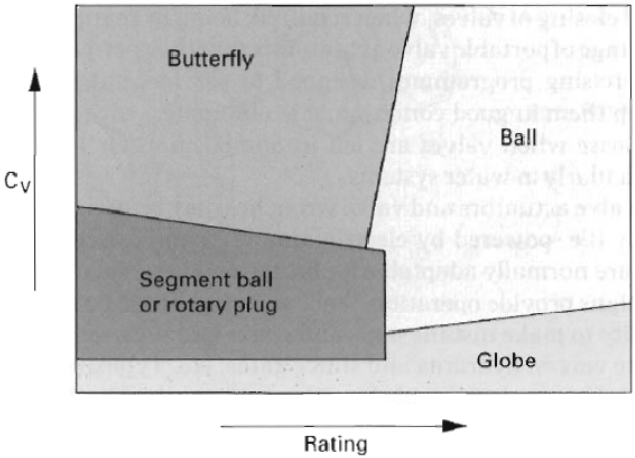
เมื่อนำสมการ (5-3) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์จะได้ดังในรูปที่ 5-3 พบว่าก่อนที่จะเกิด Choked Flow ความชันของเส้นกราฟมีค่าคงที่เท่ากับ C_V และของไหลมีการไหลผ่านวาล์วด้วยอัตราการไหลที่แปรผันโดยตรงกับความดันตกคร่อมวาล์ว แต่เมื่อเกิด Choked Flow ถึงแม้เราจะเพิ่มความดันตกคร่อมจากค่า **ความดันทางเข้าคงที่** อัตราการไหลผ่านวาล์วจะไม่เปลี่ยนแปลงใดๆ ซึ่งจะเป็นไปตามข้อจำกัดของการใช้สมการ (5-4) ในการคำนวณหาขนาดวาล์ว

เมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น ความดันเสียดทานสูญเสียในระบบเพิ่มสูงขึ้นนั่นเสมือนเป็นความดันที่เหลือให้วาล์วมีความดันตกคร่อมน้อยลงเมื่อเปิดวาล์วใช้งาน ดังนั้นวาล์วจึงต้องมีค่า C_V สูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ไหลผ่านช่องทางการไหลให้มากและความดันตกคร่อมน้อยเพื่อชดเชยกับความดันตกคร่อมที่เหลือน้อยของระบบ และเหตุการณ์ในทางกลับกันเมื่อทำการปิดวาล์ว ดังนั้นการคำนวณหาขนาดของวาล์วหรือการคำนวณหาค่า C_V เพื่อหาวาล์วที่มีค่า C_V สอดรับกับความดันตกคร่อมที่มีอยู่ภายในระบบ เช่น ความดันจากปั๊มดังในรูปที่ 5-4 ด้วยเหตุนี้

การพิจารณาเลือกชนิดวาล์วจึงต้องพิจารณา Flow Characteristic ของวาล์วให้สอดคล้องและสอดรับกับความดันตกคร่อมที่มีอยู่ภายในระบบ

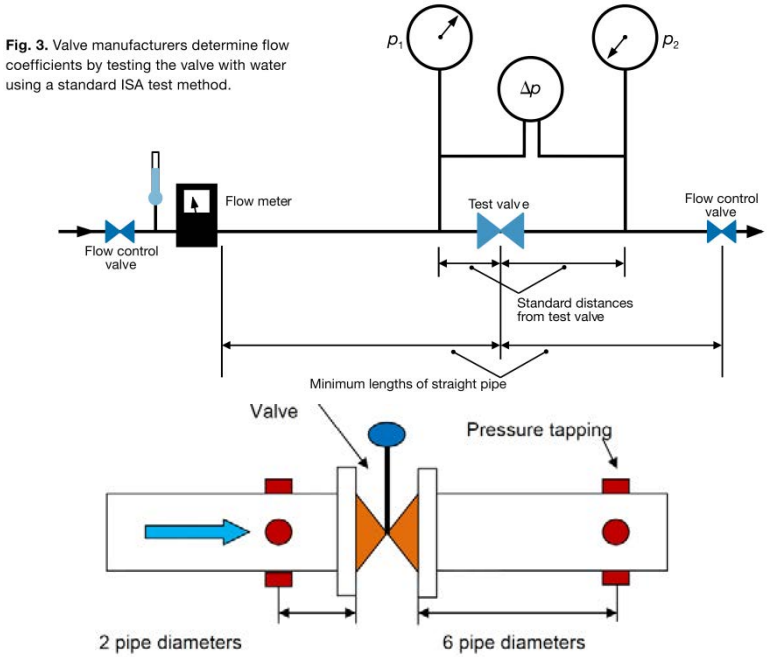


รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_V กับความดันตกคร่อมของวาล์วในระบบ



รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์โดยภาพรวมตามชนิดวาล์วควบคุมกับค่า C_V

ในการหาค่า C_V นั้น IEC 60534-2-3 กำหนดให้ทำการวัดค่าความดันก่อนทางเข้าวาล์วในตำแหน่งก่อนถึงวาล์วด้วยระยะ 2 เท่าของขนาดท่อเป็น P_1 และการวัดค่าความดันหลังทางออกวาล์วในตำแหน่งหลังวาล์วด้วยระยะ 6 เท่าของขนาดท่อเป็น P_2 ดังในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ตำแหน่งวัดความดันในการทดสอบหา Valve Flow Coefficient (C_V)

สัมประสิทธิ์ของวาล์ว (Flow Coefficient)

ก่อนปี ค.ศ. 1946 การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมได้ใช้พื้นที่คอคอดของวาล์ว (Valve Orifice) ดังในสมการ (5-1) จากนั้นพัฒนาการจนกำเนิด Valve Flow Coefficient (C_V) ซึ่งจะให้ผลที่แม่นยำกับของไหลในระบบท่อที่เป็น “น้ำ” แต่ในภาคอุตสาหกรรมของไหลภายในท่อมีของไหลหลายชนิดด้วยกันทั้งของเหลว ทั้งก๊าซ ทั้งของเหลวผสมกับก๊าซ ในของเหลวเองก็มีทั้งของเหลวชนิด Newtonian, Non-Newtonia เป็นต้น การพัฒนาปรับปรุงการใช้ค่า C_V จึงต้องขยายขอบเขตให้ครอบคลุมความต้องการให้ใช้ได้กับของเหลวที่มีค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างจาก “น้ำเย็น” จึงเป็นที่มาของตัวแปรแก้ไขค่าหรือสัมประสิทธิ์ของวาล์วหลายตัวตามมา

ภายหลังผ่านการใช้งานค่า C_V มาพบว่าผลการคำนวณขนาดวาล์วในบางครั้งผิดพลาดมากและไม่สามารถหาเหตุผลมารองรับอธิบายได้ จนเริ่มแก้ไขปัญหาได้เมื่อปี ค.ศ. 1963 ได้มีการนำตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า “Critical Flow Factor” ซึ่งต่อมาภายหลังได้เปลี่ยนชื่อมาเป็น **“Liquid Pressure Recovery Factor; F_L”** เป็นตัวแปรบ่งบอกถึงปริมาณความดันฟื้นตัวซึ่งเกิดขึ้นทางด้านทางออกของวาล์วหรือ คอคอดที่เกิดจากการหรี่วาล์ว (Throttling Orifice) วาล์วที่มีความดันฟื้นตัวสูงจะมีค่า F_L ต่ำ ซึ่งจะบ่งบอกถึงของเหลวที่ไหลผ่านวาล์วอาจก่อให้เกิดการกลายเป็นไอได้ง่ายเนื่องจากความดันตกลงลึกและต่ำกว่าความดันไอของเหลว สำหรับในกรณีที่ใช้กับก๊าซ จะก่อให้เกิดความเร็วการไหลผ่านคอคอดที่เกิดจากการหรี่วาล์วมีความเร็วสูงเท่ากับกับความเร็วเสียงหรือที่เรียกว่า Sonic Velocity ผลที่ตามมาทำให้มีอัตราการไหลต่ำกว่าที่คำนวณได้หากไม่นำ F_L มาพิจารณา นั้นคือในทั้งการไหลของเหลวและก๊าซผ่านวาล์วควบคุมเกิดปรากฏการณ์ “Choked Flow” (ดูรูปที่ 5-3)

ในปี ค.ศ. 1983 ได้มีการเพิ่มตัวแปรแก้ไขค่าอีก 2 ตัวคือ **“Pressure Differential Factor of Control Valve; X_t”** ที่ตำแหน่งเกิดปรากฏการณ์ “Choked Flow” และตัวแปรที่สองคือ **“Expansion Factor; Y”** เพื่อใช้เป็นตัวแปรแก้ไขค่าความหนาแน่นก๊าซบริเวณคอคอดวาล์ว (Orifice หรือ Restriction หรือ Throttling Orifice หรือ... เอาเป็นว่าช่องว่างระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ขณะวาล์วทำงานก็แล้วกัน)

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าในกรณีติดตั้งวาล์วควบคุมซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดท่อ หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าติดตั้งอยู่ระหว่างท่อข้อลด (Reducers) การคำนวณขนาดวาล์วควบคุมก็มีความคลาดเคลื่อนด้วยเช่นกัน สาเหตุเกิดจากความดันตกคร่อมท่อข้อลดก่อนและหลังวาล์วควบคุมนั้นเองซึ่งให้ค่าต่ำกว่าความดันตกคร่อมวาล์วที่มีได้ (Available Pressure Drop) ของวาล์ว นั้นคือเลือกใช้ ΔP ผิด ซึ่งเป็นข้อควรระวังในการเลือกใช้ ΔP คล้ายกับในกรณีของระบบปั๊มดังในรูปที่ 5-2 ดังนั้น

ในปี ค.ศ. 1968 จึงได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการนำตัวแปรแก้ไขค่าที่เรียกว่า **"Piping Geometry Factor; F_p"** มาใช้

นอกจากนี้ได้มีการนำตัวแปรแก้ไขค่าเนื่องจากค่าความหนืดของไหลในระบบท่อซึ่งเรียกว่า **"Reynolds Number Factor; F_R"** มาใช้ จนในปี ค.ศ. 1993 จึงถูกพัฒนาปรับปรุงแก้ไขใหม่เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

ตัวแปรแก้ไขค่าตัวสุดท้ายคือ **"Liquid Pressure Ratio Factor; F_F"** ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขกับการไหลของเหลวที่เกิดปรากฏการณ์ Flashing หรือ Boiling

ตัวแปรอีกตัวแปรที่เราอาจเจอเป็นตัวแปรที่ใช้เหมือน C_V เพียงแต่อยู่ในระบบหน่วย SI Unit นั่นคือ K_V

$$K_V = \frac{q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}}} \qquad (5\text{-}5)$$

เมื่อ K_V = Valve Flow Coefficient ($m^3/hr/bar^{1/2}$)

q = อัตราการไหล (m^3/hr)

ΔP = ผลต่างความดันทางเข้าวาล์ว (P_1) เทียบกับความดันด้านทางออก (P_2) (bar);

= $P_1 - P_2$ (ดูรูปที่ 5-2)

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเหลวที่กำหนดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (น้ำที่ 60 °F มีค่า G_f เท่ากับ 1)

โดย K_V ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ C_V ได้ว่า

$$C_V = 1.17K_V \qquad (5\text{-}6)$$

เมื่อ 1 N/m^2 = 1 Pa

1 bar = 100,000 Pa = 14.5 psi

1 atm = 14.67 psi

1 m^3/hr (liquid) = 4.4 gpm

1 m^3/hr (gas) = 35.3 ft^3/hr

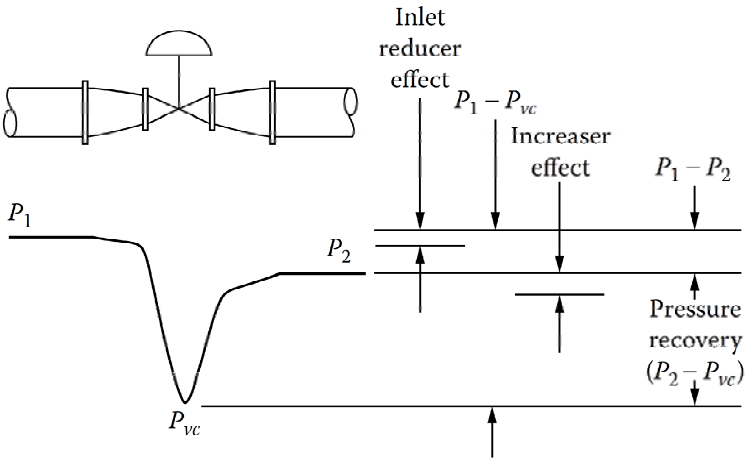
1 U.S. gpm = 3.785 l/m = 0.134 ft^3/m

1 kg/hr = 2.2 lbs/hr

การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุม (C_V) สำหรับของเหลว

บนพื้นฐานของการสงวนพลังงานด้วย Bernoulli' Equation และการสงวนมวลด้วยสมการ Continuity Equation ดูรูปที่ 5-7 เมื่อของเหลวไหลเข้ามาในระบบท่อมีความดัน P_1 เมื่อผ่านท่อข้อลดจะสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของเหลวกับท่อข้อลดทางเข้าวาล์ว ความดันจะตกลงเล็กน้อยในขณะที่ความเร็วของเหลวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อของเหลวไหลผ่านวาล์วจะผ่าน Orifice หรือ Restriction หรือ Throttling Orifice หรือช่องว่างระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ขณะวาล์วทำงาน ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดลดลงจะทำให้ของเหลวเพิ่มความเร็วการไหลสูงขึ้นในขณะเดียวกันก็จะทำให้ความดันของเหลวลดลงด้วยเช่นกัน ตำแหน่งที่เลยไปจากจุดนี้เล็กน้อยที่เรียกว่า Vena Contracta จะเป็นจุดที่มีความเร็วของเหลวมีค่าสูงสุดและความดันต่ำสุดที่เรียกว่า P_{VC} เมื่อของเหลวไหลต่อไปพื้นที่หน้าตัดท่อจะเพิ่มมากขึ้นความเร็วของเหลวจะเริ่มลดลงในขณะเดียวกันความดันจะกลับเพิ่มขึ้นตามมาจนผ่านท่อข้อลดทางด้านทางออกวาล์วพื้นที่หน้าตัดก็เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยทำให้ความเร็วของเหลวลดลงและความดันเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ P_2 นั้นเอง

จากความดันต่ำสุด P_{VC} และความเร็วสูงสุดในตำแหน่ง Vena Contracta จนถึงความดันด้านทางออกวาล์ว P_2 นั้นเป็นการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์ หรือเรียกว่า Liquid Pressure Recovery ของวาล์วมีค่าเท่ากับ P_2-P_{VC} และเราเรียกวาล์วที่มีค่า (P_2-P_{VC})/(P_1-P_2) มากว่าเป็นวาล์วมีความดันฟื้นตัวสูง (High Recovery Valve) ได้แก่ Rotary Valves, Gate Valves เป็นต้น ในทางกลับกันหากวาล์วที่มีค่า (P_2-P_{VC})/(P_1-P_2) น้อย จะเรียกว่าวาล์วมีความดันฟื้นตัวต่ำ (Low Recovery Valve)



รูปที่ 5-7 รูปแบบความดันของเหลวไหลผ่านวาล์ว

การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมที่ใช้งานกับของเหลว พิจารณากำหนดสภาวะเงื่อนไขการทำงานแบ่งออกเป็นแต่ละเงื่อนไขคือ 1.) Turbulent, Non-Choked, 2.) Turbulent, Choked, 3.) Saturated Flow, 4.) Laminar (Viscous), 5.) Non-Newtonian และ 6.) Two-Phase Flow เพื่อสามารถเลือกใช้ตัวแปรแก้ไขค่าได้อย่างเหมาะสม ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายเราทำการวัดของเหลวที่มีสถานะเดียว (Single Phase) เท่านั้น ดังนั้นตัดข้อ 6.) ไป อีกทั้งงานที่เกี่ยวข้องกับของเหลว เช่น น้ำ ผลิตภัณฑ์ของเหลว ปิโตรเลียม เป็นต้น ล้วนเป็นของเหลวชนิด Newtonian ดังนั้นตัดข้อ 5.) ไป สำหรับงานซื้อขายของเหลวด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายเรานั้นเป็นการดำเนินงานในเชิงพาณิชย์การไหลของเหลวในระบบท่อแทบ 100% เป็นการไหลในรูปแบบ Turbulent Flow ดังนั้นตัดข้อ 4.) และข้อ 3.) จึงเหลือ Turbulent, Non-Choked, หรือ Choked ที่เราจะพิจารณาเพราะที่เขียนมาทั้งหมดก็มากเกินพอสำหรับคนชั่งตวงวัดอย่างเรา... แล้วไม่รู้ใครจะอ่านบาง... อ่านแล้วจะเข้าใจหรือไม่อีกเรื่องหนึ่ง... ใครอ่านใครได้ !

การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมควรทราบข้อมูลในเบื้องต้นอย่างน้อย ได้แก่

- คุณสมบัติของเหลวได้แก่ ความดันไอ (P_V) ณ สภาวะทำงาน, ความดันวิกฤต (P_C) ความหนาแน่น (ρ) ความหนืดจนล์ (ν)
- สภาวะทำงานของวาล์ว ที่ Normal, Maximum และ Minimum Conditions
- ขนาดระบบท่อ ทางเข้าและทางออกของวาล์ว

เริ่มต้นด้วยใช้วาล์วควบคุมกับของเหลว, รูปแบบการไหลของเหลวผ่านวาล์วควบคุมแบบ Turbulent Flow, มีสภาวะไม่เกิด Nonvaporizing Flow Condition (Non-Choked Flow)

อัตราการไหลปริมาตร (ผ่านวาล์วควบคุม)

$$q = N_1 F_P C_V \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}} \qquad (5\text{-}7)$$

$$C_V = \frac{q}{N_1 F_P} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - P_2}} \qquad (5\text{-}8)$$

เมื่อ C_V = Valve Flow Coefficient

q = อัตราการไหล; gpm, m^3/h

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว ; psia, bar, kPa

P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว ; psia, bar, kPa

N_1 = ตัวคูณสมการขึ้นอยู่กับการเลือกใช้หน่วยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ ดูรูปที่ 5-9

F_P = Piping Geometry Factor

G_f = ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเหลวที่กำหนดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (น้ำที่ 60 °F มีค่า G_f เท่ากับ 1)

อัตราการไหลมวล (ผ่านวาล์วควบคุม)

$$w = N_6 F_P C_V \sqrt{(P_1 - P_2)\gamma_1} \quad (5\text{-}9)$$

$$C_V = \frac{w}{N_6 F_P \sqrt{(P_1 - P_2)\gamma_1}} \quad (5\text{-}10)$$

เมื่อ C_V = Valve Flow Coefficient

w = อัตราการไหลมวล; lb/h, kg/h

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว; psia, bar, kPa

P_2 = ความดันด้านทางออกวาล์ว; psia, bar, kPa

N_6 = ตัวคูณสมการขึ้นอยู่กับการเลือกใช้หน่วยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ ดูรูปที่ 5-9

F_P = Piping Geometry Factor

γ_1 = Specific Weight at upstream Conditions; lbm/ft^3, kg/m^3

การหาอัตราการไหลสูงสุดของเหลวภายใต้ **Turbulent Flow, Vaporizing Flow Condition (Choked Flow)** ของวาล์วในระบบท่อตรงซึ่งมีขนาดท่อเท่ากับขนาดของวาล์ว (ดูรูปที่ 5-8)

$$q_{max} = N_1 F_L C_V \sqrt{\frac{P_1 - F_F P_V}{G_f}} \quad (5\text{-}11)$$

$$C_V = \frac{q_{max}}{N_1 F_L} \sqrt{\frac{G_f}{P_1 - F_F P_V}} \quad (5\text{-}12)$$

Valve Reynolds Number; Re_V

$$Re_V = \frac{N_4 F_d q}{\nu F_L^{1/2} C_V^{1/2}} \left(\frac{F_L^2 C_V^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{1/4} \quad (5\text{-}13)$$

เมื่อ Re_V = Valve Reynolds Number

C_V = Valve Flow Coefficient

q = อัตราการไหล; gpm, m^3/h

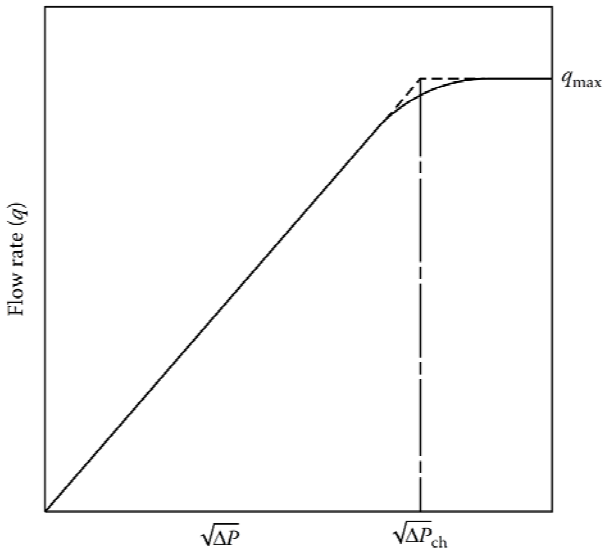
d = Valve Body Port Diameter; in, mm

F_d = Valve-style Modifier

F_L = Liquid Pressure Recovery Factor

ν(nu) = Kinematic Viscosity, Centistokes $=10^{-6}$ m^2/sec

N_2 ,N_4 = ตัวคูณสมการขึ้นอยู่กับการเลือกใช้หน่วยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ ดูรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-8 อัตราการไหลสูงสุดของเหลวภายใต้ Turbulent Flow, Vaporizing Flow Condition (Choked Flow) ผ่านวาล์ว

เนื่องจาก C_V ไม่ใช่ตัวแปรแบบไม่มีหน่วย (Dimensionless) จึงต้องมีการแปลงหน่วยเมื่อใช้สมการข้ามกันระหว่างระบบหน่วยอังกฤษกับระบบหน่วย SI Unit โดยมีรูปที่ 5-9 เป็นตารางตัวคูณปรับแก้ไขการใช้หน่วยวัดที่ต่างกัน

Table 1 — Numerical constants for liquid flow equations

Constant		Units Used in Equations					
N		*w*	*q*	*p*, Δ*p*	*d*, *D*	γ_1	ν
N_1	0.0865	—	m^3/h	kPa	—	—	—
	0.865	—	m^3/h	bar	—	—	—
	1.00	—	gpm	psia	—	—	—
N_2	0.00214	—	—	—	mm	—	—
	890	—	—	—	in	—	—
N_4	76 000	—	m^3/h	—	mm	—	centistokes*
	17 300	—	gpm	—	in	—	centistokes*
N_6	2.73	kg/h	—	kPa	—	kg/m^3	—
	27.3	kg/h	—	bar	—	kg/m^3	—
	63.3	lb/h	—	psia	—	lb/ft^3	—

*To convert m^2/s to centistokes, multiply m^2/s by 10^6. To convert centipoises to centistokes, divide centipoises by G_f.

รูปที่ 5-9 ตัวคูณสมการคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมที่ใช้กับของเหลว

หากเราพิจารณาสมการ (5-8) และสมการ (5-12) เราจะเห็นว่าค่า C_V นั้นอยู่กับ F_P และ F_L ตามลำดับ หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือในกรณีปกติอัตราการไหลผ่านวาล์ว (q) ขึ้นอยู่กับ $C_V \bullet F_P$ แต่หากภายใต้การไหลแบบ Choked Flow อัตราการไหลขึ้นอยู่กับ $C_V \bullet F_L$ แต่รูปแบบที่เราอาจคุ้นเคยมากและนำไปใช้ประโยน์ในการเลือกขนาดและชนิดของวาล์วจะอยู่ในรูป $C_V F_P/d^2$ และ $C_V F_L/d^2$ ตามลำดับ

เริ่มขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลของเหลวผ่านวาล์ว

1. เลือกและคำนวณหาความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP)

$$\Delta P = P_1 - P_2 \qquad (5\text{-}14)$$

ในทางปฏิบัติการเลือกใช้ P_1 ที่เหมาะสมและถูกต้องกับระบบหรือกระบวนการนั้นๆ เราสามารถใช้ Head Pressure ของปั๊มจากกราฟสมรรถนะ (Performance Curve) ของผู้ผลิต ควรใช้ Head Pressure ของปั๊มให้สอดคล้องกับอัตราการไหลสูงสุดผ่านวาล์ว และอย่าลืมนำค่า Static Head Pressure ณ. ตำแหน่งที่ติดตั้งปั๊มกับตำแหน่งติดตั้งวาล์วมาพิจารณาเพิ่มหรือลดด้วย (ดูรูปที่ 5-1)

มีเทคนิคสำเร็จรูป (Rules of Thumb) แนะนำการเลือกใช้ขนาด ΔP ว่าให้เลือกใช้ ΔP ให้

ก. มีค่าสูงกว่า 5% ของความดันรวมของระบบ (Total system Pressure) โดยความดันรวมของระบบมีค่าเท่ากับผลรวมของ Static Head Pressure และ Head Pressure ของปั๊มให้สอดคล้องกับอัตราการไหลสูงสุดผ่านวาล์ว และอาจรวมถึงความดันอื่นๆที่มีเพิ่มขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละระบบหรือกระบวนการ หรือ

ข. มีค่าเท่ากับ 5 psi สำหรับ Rotary Valve Control หรือ

ค. มีค่าเท่ากับ 10 psi สำหรับ Globe Valve

ทั้งนี้การเลือกให้ ΔP มีค่าเท่ากับ 5 psi มาจากกรอบเงื่อนไขที่ว่าการออกแบบระบบท่อ ความเร็วสูงสุดที่ยอมรับได้ภายในท่อสำหรับของเหลวมีค่าไม่เกิน 15 ft/sec (ซึ่งอาจจะมากกว่าที่กำหนดในรูปที่ 5-18 ที่กำหนดให้ไม่เกิน 10 ft/sec)สำหรับก๊าซมีค่าไม่เกิน 150 ft/sec ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C_d = C_V/d^2$ กับ ΔP ดังในรูปที่ 5-10 โดยมีค่า $C_d = C_V/d^2 = 17$ (บนข้อสมมุติฐานของ Butterfly Valve เปิดที่ตำแหน่ง 60 องศา)

ยกตัวอย่างเช่น ติดตั้ง Butterfly Valve ขนาด 4 นิ้ว เข้ากับท่อขนาด 6 นิ้ว ด้วยเงื่อนไขค่า $C_d = C_V/d^2 = 17$ ดังนั้น $C_V = 17.d^2 = 272$ นั่นหมายถึงความดันตกคร่อมวาล์วเพิ่มจาก 5 psi จนถึง 25 psi (ดูจากเส้นกราฟ Valve = LineSize) เมื่อของเหลวไหลในท่อ 6 นิ้วด้วยความเร็ว 15 ft/sec

ข้อควรระวังในการเลือกขนาดวาล์ว ต้องไม่เลือกขนาดวาล์วเล็กกว่าขนาดท่อเกิน 2 เท่า นั่นคือ VALVE $\geq$ ½ PIPE DIAM. ทั้งนี้เนื่องจากการรองรับความเค้นและความเครียด (Strain and Stress) จากระบบท่อที่กระทำต่อตัวเรือนวาล์วอาจมากจนเกินไปหากเลือกวาล์วที่ขนาดเล็กจนเกินไป

2. คำนวณหาความดันตกคร่อมวาล์วที่ทำให้เกิด Choked Flow ในการไหลของเหลว หรือ Choked Pressure Drop (ΔP_{ch})

$$\Delta P_{ch} = F_L^2 [P_1 - F_F P_V] \qquad (5\text{-}15)$$

เมื่อ ΔP_{ch} = Choked Pressure Drop; psi

F_L = Liquid Pressure Recovery Factor

F_F = Liquid Pressure Ratio Factor

P_V = Vapor Pressure; psia, bar, kPa

P_1 = ความดันด้านทางเข้าวาล์ว; psia, bar, kPa

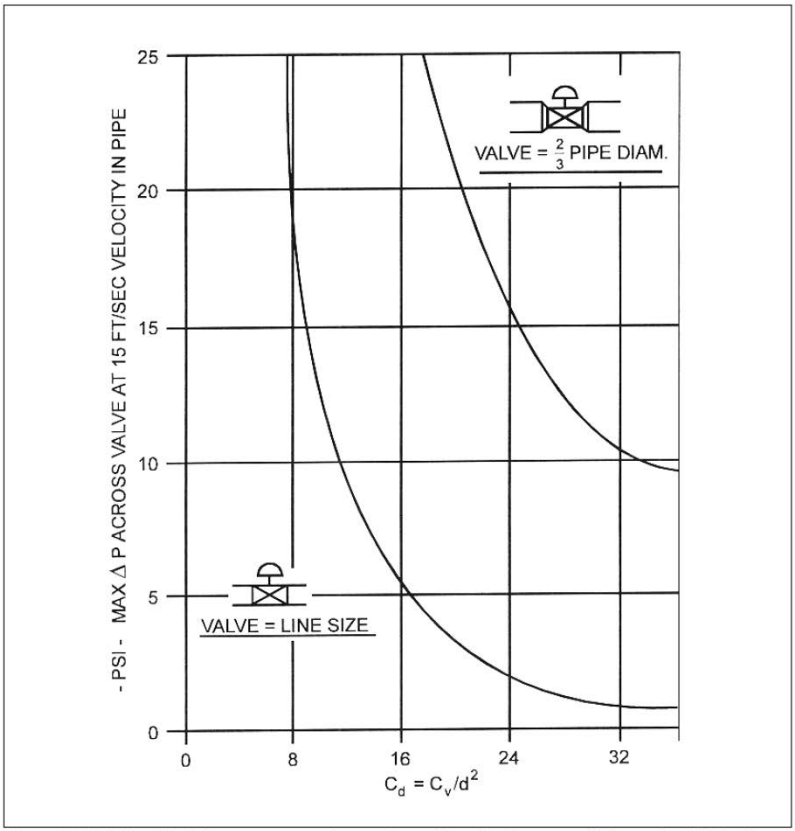


Figure 5-1. Relationship between pressure drop and specific valve flow capacity for water at 15 feet/ second velocity in pipe, *d*= valve diameter (inches). This works also well for gas or steam at 150 ft/sec pipe velocity.

รูปที่ 5-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C_d = C_V/d^2$ กับ ΔP

Liquid Pressure Recovery Factor; F_L

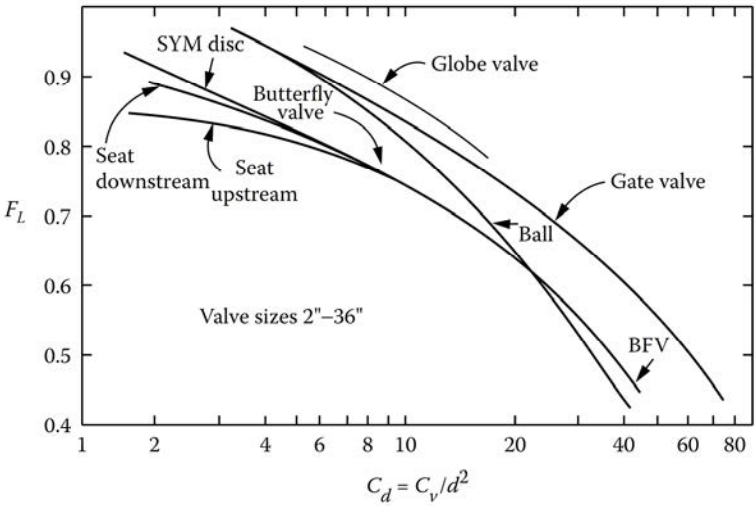
เป็นตัวแปรแก้ไขค่าใช้กับตัววาล์วที่ไม่ประกอบด้วยข้อต่อใดๆร่วมอยู่ ซึ่งตัวแปรนี้เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลลักษณะรูปร่างการจัดสร้างภายในตัววาล์วว่ามีผลต่ออัตราการไหลเมื่อเกิด Choked Flow มากน้อยเพียงใด เป็นตัวแปรบ่งบอกขนาดความดันฟื้นตัวของวาล์วเทียบกับความดันตกคร่อมวาล์ว

$$F_L = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{vc}}} \tag{5-16}$$

ค่า F_L ยังถูกใช้ในการคำนวณหาความดันตกคร่อมที่ก่อให้เกิดของเหลวไหลด้วยความเร็วเสียงที่คอคอดของวาล์ว (Orifice) มีค่า

$$\Delta P_{sonic} = 0.5 \times F_L{}^2 \times P_1 \tag{5-17}$$

ด้วยเหตุนี้ค่า F_L จึงมีหลายค่าขึ้นอยู่กับการออกแบบวาล์วในแต่ละชนิดดังในรูปที่ 5-11 และรูปที่ 5-12 ซึ่งในการคำนวณเพื่อเลือก F_L จึงเสมือนเราเริ่มเลือกชนิดวาล์วกลายๆ



รูปที่ 5-11 F_L มีหลายค่าขึ้นอยู่กับการออกแบบวาล์วในแต่ละชนิด

TABLE 6.15c

Representative Values of Relative Valve Capacity Coefficients (C_d/d^2) and of Other Sizing Factors for a Variety of Valve Designs. The Cd Values Listed are for Valves with Full Area Trims, When the Valve is Fully Open

Valve Type	*Trim Type*	*Flow Direction**	X_T	F_L	F_d	F_x	$C_d = C_v/d^{2**}$	K_c
GLOBE								
Single-port	Ported plug, 4 port	Either	0.70	0.90	0.48	1.0	9.5	0.65
	Contoured plug	Open	0.72	0.90	0.46	1.1	11	0.65
		Close	0.55	0.80	1.0	1.1	11	0.58
	Characterized cage, 4 port	Open	0.75	0.90	0.45	1.1	14	0.65
		Close	0.75	0.85	0.41	1.1	16	0.60
	Wing-guided, 3 wings	Either	0.75	0.90	0.58	1.1	11	0.60
Double-port	Ported plug	Either	0.75	0.90	0.28	0.84	12.5	0.80
	Contoured plug	Either	0.70	0.85	0.32	0.85	13	0.70
	Wing-guided	Either	0.75	0.90	0.41	0.84	14	0.80
Rotary	Eccentric spherical plug	Open	0.60	0.85	0.42	1.1	12	0.60
		Close	0.40	0.68	0.42	1.2	13.5	0.35
ANGLE	Contoured plug	Open	0.72	0.90	0.46	1.1	17	0.65
		Close	0.65	0.80	1.0	1.1	20	0.55
	Characterized cage, 4 port	Open	0.65	0.85	0.45	1.1	12	0.60
		Close	0.60	0.80	1.0	1.1	12	0.55
	Venturi	Close	0.20	0.50	1.0	1.3	22	0.2
BALL	Segmented (throttling)	Open	0.30	0.80	0.98	1.2	25	0.25
	Standard port (diameter ≈ 0.8d)	Either	0.42	0.74	0.99	1.3	30	0.20
BUTTERFLY	60°, no offset seat	Either	0.42	0.70	0.5	0.95	17.5	0.39
	90°, offset seat	Either	0.35	0.60	0.45	0.98	29	0.32
	90°, no offset seat	Either	0.08	0.53	0.45	1.2	40	0.12

*Flow direction tends to open or close the valve, i.e., push the closure member away from or toward the seat.
**In this table, *d* may be taken as the nominal valve size, in inches.

รูปที่ 5-12 ค่า Liquid Pressure Recovery Factor; F_L กับชนิดวาล์ว

Table 3-I: Typical Valve Recovery Coefficient and Incipient Cavitation Factors

NOTE: *Values are given for full-open valves. See charts below for part-stroke values*

Valve Type	Flow Direction	Trim Size	F_L	F_i	x_T	F_d
Globe	Over Seat	Full Area	0.85	0.75	.70	1.0
	Over Seat	Reduced Area	0.80	0.72	.70	1.0
	Under Seat	Full Area	0.90	0.81	.75	1.0
	Under Seat	Reduced Area	0.90	0.81	.75	1.0
Valdisk	60° Open	Full	0.76	0.65	.36	.71
Rotary Disc	90° Open	Full	0.56	0.49	.26	.71
ShearStream	60° Open	Full	0.78	0.65	.51	1.0
Rotary Ball	90° Open	Full	0.66	0.44	.30	1.0
CavControl	Over Seat	All	0.92	0.90	N/A	$.2/\sqrt{d}$
MegaStream	Under Seat	All	~1.0	N/A	~1.0	$(n_s/25d)^{2/3}$**
ChannelStream	Over Seat	All	~1.0	0.87 to 0.999	N/A	.040*
Tiger-Tooth	Under Seat	All	~1.0	0.84 to 0.999	~1.0	.035*

* *Typical* ** n_s = *number of stages*

รูปที่ 5-13 ค่า F_L , F_i , F_d กับชนิดวาล์ว

Table A.3 — Typical values of valve style modifier F_d, liquid pressure recovery factor F_L, and pressure differential ratio factor x_T at full rated travel [1)]

Valve type	Trim type	Flow direction [2)]	F_L	x_T	F_d
Globe, single port	3 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.48
	4 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.41
	6 V-port plug	Open or close	0.9	0.70	0.30
	Contoured plug (linear and equal percentage)	Open Close	0.9 0.8	0.72 0.55	0.46 1.00
	60 equal diameter hole drilled cage	Outward [3)] or inward [3)]	0.9	0.68	0.13
	120 equal diameter hole drilled cage	Outward [3)] or inward [3)]	0.9	0.68	0.09
	Characterized cage, 4-port	Outward [3)] Inward [3)]	0.9 0.85	0.75 0.70	0.41 0.41
Globe, double port	Ported plug	Inlet between seats	0.9	0.75	0.28
	Contoured plug	Either direction	0.85	0.70	0.32
Globe, angle	Contoured plug (linear and equal percentage)	Open Close	0.9 0.8	0.72 0.65	0.46 1.00
	Characterized cage, 4-port	Outward [3)] Inward [3)]	0.9 0.85	0.65 0.60	0.41 0.41
	Venturi	Close	0.5	0.20	1.00
Globe, small flow trim	V-notch	Open	0.98	0.84	0.70
	Flat seat (short travel)	Close	0.85	0.70	0.30
	Tapered needle	Open	0.95	0.84	$N_{19}\frac{(CF_L)^{0.5}}{D_o}$
Rotary	Eccentric spherical plug	Open Close	0.85 0.68	0.60 0.40	0.42 0.42
	Eccentric conical plug	Open Close	0.77 0.79	0.54 0.55	0.44 0.44
Butterfly (centered shaft)	Swing-through (70°)	Either	0.62	0.35	0.57
	Swing-through (60°)	Either	0.70	0.42	0.50
	Fluted vane (70°)	Either	0.67	0.38	0.30
High Performance Butterfly (eccentric shaft)	Offset seat (70°)	Either	0.67	0.35	0.57
Ball	Full bore (70°)	Either	0.74	0.42	0.99
	Segmented ball	Either	0.60	0.30	0.98

NOTE 1 — These values are typical only; actual values shall be stated by the valve manufacturer.

NOTE 2 — Flow tends to open or close the valve, i.e. push the closure device (plug, ball, or disc) away from or towards the seat.

NOTE 3 — Outward means flow from center of cage to outside, and inward means flow from outside of cage to center.

รูปที่ 5-14 ค่า F_L , F_i , F_d กับชนิดวาล์ว

Liquid (Critical) Pressure Ratio Factor; F_F

สำหรับการไหลที่ยังไม่เกิด Choked Flow หรือของเหลวกลายเป็นไอ นั้นความดันที่ Vena Contracta (P_{vc}) สามารถทำนายได้จากค่าความดันด้านทางออกของวาล์ว P_2 เพราะความดันฟื้นตัวของวาล์วมีค่าสัดส่วนคงที่เมื่อเทียบกับความดันตกที่ Vena Contracta แต่เมื่อเกิดเงื่อนไข Choked Flow ภายในวาล์ว ความสัมพันธ์ระหว่าง P_2 กับ P_{vc} จึงไม่มีอีกต่อไป ประกอบกับความสลับซับซ้อนของรูปร่างภายในตัวเรือนวาล์วทำให้การทดสอบและวัดค่าความดันที่ Vena Contracta (P_{vc}) เป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ ISA จึงใช้ Liquid (Critical) Pressure Ratio Factor; F_F ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่าง Apparent Vena Contracta Pressure ภายใต้สภาวะ Choked Flow เทียบกับความดันไอของเหลวที่อุณหภูมิทางเข้าวาล์ว ในการทำนายหรือประมาณค่า P_{vc} สำหรับสภาวะเงื่อนไขการไหลของเหลวที่อิ่มตัว (Saturate Liquid Flow)

$$P_{vc} = F_F \times P_v \tag{5-18}$$

เมื่อค่าประมาณของ F_F บนพื้นฐานที่ว่าของเหลวอยู่ในสถานะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ (ซึ่งในทางเป็นจริงไม่ได้สมดุลขณะเกิด Choked Flow) มีค่า

$$F_F \cong 0.96 - 0.28\left(\frac{P_v}{P_c}\right)^{1/2} \tag{5-19}$$

เมื่อ P_V = Vapor Pressure ที่อุณหภูมิทางเข้าวาล์ว; psia, bar, kPa

P_c = Critical Pressure ที่อุณหภูมิทางเข้าวาล์ว (ดูรูปที่ 5-15 และรูปที่ 5-16); psia, bar, kPa

เราก็สามารถคำนวณ Choked Pressure Drop (ΔP_{ch}) ในสมการ (5-15) ได้

จากนั้นทำการพิจารณาความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP) และ Choked Pressure Drop (ΔP_{ch}) เพื่อเลือกใช้เป็นความดันตกคร่อมวาล์วที่สามารถมีได้ (Allowable Sizing Drop หรือ Allowable Pressure Drop (ΔP_a)) ที่แต่ละสภาวะเงื่อนไขการทำงาน (ΔP_a) แทนในสมการ (5-8.1)

Name of Fluid	Fluid Form Liquid	Fluid Form Gas	Molecular Weight M	Critical Pressure Pc psia	Critical Temperature Tc (F)	Ratio of specific Heats k
Acetylene		G	26.038	905.04	95.27	1.26
Air		G	28.966	546.79	-220.99	1.4
Ammonia	L	G	17.031	1637.48	270.59	1.31
Argon		G	39.948	706.34	-188.23	1.668
Benzene	L	G	78.114	713.59	552.11	1.08
Butane		G	58.124	529.39	274.91	1.1
Butanol	L		74.123	639.62	553.55	
Butene-1		G	56.108	583.0	295.6	1.11
Butylene Oxide	L			63.6		
Butadiene	L		54.092	652.5	339	1.12
1-Butene	L		56.108	583.4	295.6	1.11
n-Butane		G	58.1243	551.1	305.7	1.1
Isobutane		G	58.124	529.1	274.9	1.11
n-Butanol	L			638.3		
Isobutylene	L		56.108	580.5	292.6	1.12
Carbon Dioxide	L	G	44.01	1070.38	87.71	1.295
Carbon Monoxide	L	G	28.04	507.63	-220.45	1.395
Carbon Tetrachloride	L		153.82	661.37	541.85	1.067
Chlorine	L	G	70.906	1116.79	291.29	1.355
Chlorobenzene	L		112.559	655.62	678.32	1.1
Chloroform	L		119.38	786.11	505.13	
Chloroprene	L			616.5		
Cyclobutane	L		56.108	723.24	367.82	1.14
Cyclohexane	L		84.162	590.3	536.45	
Cyclopentane	L		70.135	654.15	460.88	1.11
Cyclopropane	L		42.081	797.71	256.37	
Crude Oil	L					
Ethane	L	G	30.07	707.79	90.05	1.18
Ethanol	L		46.069	925.34	469.49	1.13
Ethylbenzene	L		106.168	523.2	651.1	1.072
Ethyl Chloride	L		64.515	754.2	369.05	1.13
Ethyl Oxide	G			1052.2		
Ethylene	L	G	28.054	732.44	49.91	1.22
Ethylene Glycol	L		62.069	1117.2		
Triethylene Glycol	L					
Freon 11	L	G	137.37	635	338	1.14
Freon 12	L	G	120.92	596.9	234	1.14
Freon 22	L	G	86.48	716	204.8	1.18
Helium	L		4.003	33.36	-450.33	1.66
Heptane	L		100.205	396.8	512.7	1.05
Hydrazine	G		32.045	2132.06	716.09	
Hydrogen	G	G	2.016	188.55	-399.73	1.412
Hydrogen Bromide	L		80.912	1240	193.76	1.4
Hydrogen Chloride	L	G	36.461	1205.27	124.79	1.41
Hydrogen Floride	L		20.006	941.3	370.49	
Hydrogen Iodide	L		127.91	1205.27	303.35	
Hydrogen Sulphide	L		34.076	1296.64	229.91	1.32

Name of Fluid	Fluid Form Liquid	Gas	Molecular Weight M	Critical Pressure Pc psia	Critical Temperature Tc (F)	Ratio of specific Heats k
Isoprene	L		16.043	667.17	-116.77	1.31
Methane	L	G	16.043	667.17	-116.77	1.31
Methanol	L		32.042		1153.05	463.01
Methyl Chloride	L	G	50.49	968.85	289.67	1.2
1-Methylchloride	L		84.922		889.08	458.33
O-Methylene Chloride	L				910.9	
Napthalene	L		128.17		587.40	887.45
Natural Gas	G		19.5	670	-80	1.27
Neon	G		20.179	400.30	-379.75	1.667
Nitric Oxide	L	G		30.006	941.30	-135.67
Nitrogen	L	G	28.013	493.13	-232.51	1.4
Nitrogen Dioxide	L		46.006	1479.8	316.52	1.29
Nitrous Oxide	G			44.013	1050.08	97.61
n-Nonane	G		128.259	335.1	610.6	1.04
n-Octane	G		114.23	362.60	456.35	1.05
Oxygen	L	G	31.999	730.99	-181.39	1.397
Pentane	G		72.151	488.78	385.61	1.07
Phenol	L		94.113	889.56	789.56	1.09
Propane	L	G	44.097	617.86	205.97	1.13
n-Propanol	L				751.3	
Propene	G		42.1	661	198	1.14
Propylene	L		42.081	667.17	197.51	1.154
Propyl Oxide	L				714.7	
Sea Water/Brine	L		18	3200	705.47	1.33
Sulfuric Acid	L					
Sulfur Dioxide	L	G	64.059	1142.90	315.59	1.29
Sulfur Trioxide	L		80.058	1190.7		423.8
Tolulene	L		92.141	587.40	609.53	1.06
Water	L	G	18.015	3208.24	705.47	1.335
M-Xylene	L		106.168	514.4	650.9	1.072
O-xylene	L		106.168	540.8	674.7	1.049
P-xylene	L		106.168	510	649.5	1.073

รูปที่ 5-15 Critical Temperature T_c และ Critical Pressure P_c ของของเหลว

- ถ้า $\Delta P_{ch} > \Delta P$ แสดงว่าไม่มี Choked Flow เกิดขึ้นในของเหลวไหลผ่านวาล์วให้เลือกใช้ ΔP เป็น ΔP_a และแทนเป็นค่า $P_1 - P_2$ ในสมการ (5-8.1)

- ถ้า $\Delta P_{ch} \leq \Delta P$ แสดงว่าเกิด Choked Flow ขึ้นในของเหลวไหลผ่านวาล์ว ต้องพิจารณาให้รอบคอบเพราะ Choked Flow ไม่ใช่เป็นเรื่องร้ายแรงไปเสียทุกครั้งเหมือนอย่างเช่น Cavitation ดังนั้นให้เลือกใช้ ΔP_{ch} เป็น ΔP_a และแทนเป็นค่า $P_1 - P_2$ ในสมการ (5-8.1)

นอกจากนี้เรายังสามารถหาค่าความดันตกคร่อมวาล์วที่อาจเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิด Cavitation หรือที่เรียกว่า Incipient Cavitation ($\Delta P_{incipient\ cavitation}$) ด้วยสมการ

$$\Delta P_{incipient\ \ cavitation} = F_i^2 [P_1 - P_V] \qquad (5\text{-}20)$$

Table 3-II: Critical Pressures

Liquid	Critical Press. (psia)	Liquid	Critical Press. (psia)
Ammonia	1636.1	Hydrogen Chloride	1205.4
Argon	707.0	Isobutane	529.2
Benzene	710.0	Isobutylene	529.2
Butane	551.2	Kerosene	350.0
Carbon Dioxide	1070.2	Methane	667.3
Carbon Monoxide	507.1	Nitrogen	492.4
Chlorine	1117.2	Nitrous Oxide	1051.1
Dowtherm A	547.0	Oxygen	732.0
Ethane	708.5	Phosgene	823.2
Ethylene	730.5	Propane	615.9
Fuel Oil	330.0	Propylene	670.3
Fluorine	757.0	Refrigerant 11	639.4
Gasoline	410.0	Refrigerant 12	598.2
Helium	32.9	Refrigerant 22	749.7
Hydrogen	188.1	Sea Water	3200.0
		Water	3208.2

รูปที่ 5-16 Critical Pressure P_c ของของเหลว

3. หาค่า Specific Gravity (G_f) โดยเลือกค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอุณหภูมิทำงานจริง (Operating Temperature)

$$G_f = \frac{\text{Density of Liquid at Operating Tempeature}}{\text{Density of Water at } 60^\circ F} \qquad (5\text{-}21)$$

โดยอุณหภูมิน้ำที่ 60 °F มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 62.37 lb/ft^3

4. คำนวณค่าประมาณการ C_V ที่ต้องการ โดยสมมุติให้ Piping Geometry Factor (F_P) มีค่าเท่ากับ 1 ในสมการ (5-8) เขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$C_V = \frac{q}{N_1 \times 1}\sqrt{\frac{G_f}{P_a}} \qquad (5\text{-}8.1)$$

5. ประมาณการขนาดวาล์วควบคุม โดยยึดเอาค่า C_V ที่คำนวณได้จาก สมการ (5-8.1) ไปเปิดตาราง Catalog ของผู้ผลิตวาล์ว โดยให้เลือกขนาดวาล์วที่เล็กที่สุดที่มีค่ามากกว่า C_V ที่คำนวณได้เล็กน้อยพอประมาณ เราจะได้ค่า d ของวาล์ว

6. คำนวณค่า Valve Reynolds Number (Re_V) โดยใช้สมการ (5-13) เพื่อให้แน่ใจว่าการไหลของเหลวในระบบท่อและผ่านวาล์วเป็นการไหลรูปแบบ Turbulent Flow

6.1. ใช้ค่า F_d ที่สอดคล้องกับ F_L ที่ประมาณในขั้นตอนที่ 2

6.2. ใช้ค่า C_V จากสมการ (5-8.1)

6.3. ใช้ค่า d จากขั้นตอนที่ 5

6.4. ใช้ค่า q เช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 4

6.5. ถ้าค่า $Re_V > 40{,}000$ ถือว่าการไหลของเหลวภายในวาล์วเป็น Turbulent Flow ดำเนินการคำนวณต่อไป โดยให้ Valve Reynolds Number Factor; F_R มีค่าเท่ากับ 1

6.6. ถ้าค่า $Re_V \leq$ 40,000 ถือว่าการไหลของเหลวภายในวาล์วเป็น Laminar หรือ Transition Flow ให้สิ้นสุดการคำนวณ ต้องเลือกข้อสมมุติฐานใหม่ต่างจาก “**ของเหลว, Turbulent Flow**”

7. กำหนดค่า Piping Geometry Factor (F_P) จาก Catalog ของผู้ผลิตวาล์ว โดยให้มีค่าสอดคล้องกับชนิดวาล์วจากการเลือก Liquid Pressure Recovery Factor; F_L ในขั้นตอนที่ 2 และขนาดวาล์วจากการเลือกไว้ในขั้นตอนที่ 5 หากไม่มีข้อมูลให้คำนวณหาค่า F_P โดยประมาณดังนี้

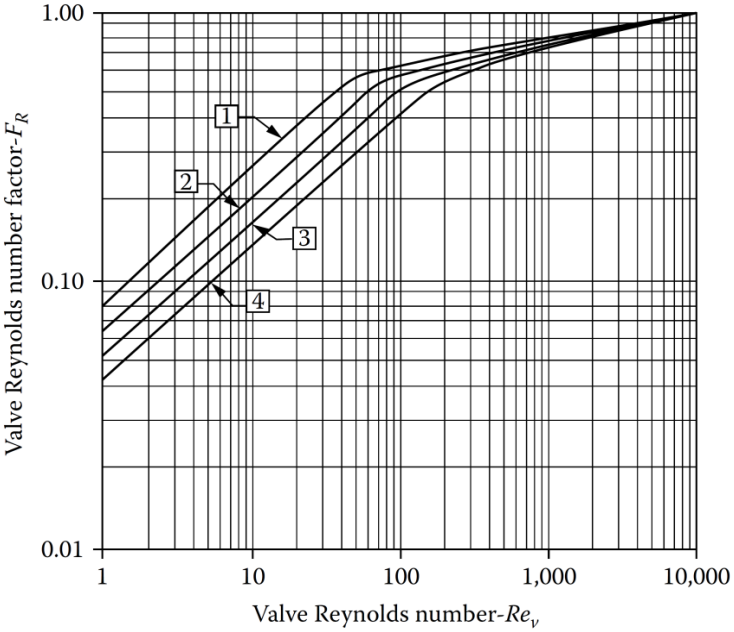


FIG. 6.15m

The valve Reynolds number (Re_v) can be corrected as a function of the Reynolds number factor (F_R) and of the type of valve used (if the diameter d is in inches).[8]

Curve No. 1 applicable for globe style valves $C_d \leq 10$.

Curve No. 2 applicable for globe valves and eccentric rotary plug valves, $C_d = 10–15$.

Curve No. 3 applicable for butterfly valves, $C_d = 15–25$.

Curve No. 4, applicable for ball valves $C_d \geq 25$.

รูปที่ 5-17 Valve Reynolds Number Factor; F_R

Piping Geometry Factor; F_P

ดูรูปที่ 5-7 เนื่องจากตัวแปรแก้ไขค่าตัวนี้ใช้แก้ไขผลกระทบของระบบท่อก่อนและหลังทางเข้าวาล์วซึ่งจะมีผลกระทบต่อการไหลของเหลวและส่งผลกระทบไปถึง Capacity ของวาล์ว ดังนั้นหากมีท่อข้อลด (Reducer) และท่อข้อขยาย (Increaser) ก่อนและหลังทางเข้าวาล์วดังในรูปที่ 5-7 ต้องคำนวณหาค่า F_P แต่ถ้าหากขนาดท่อทางเข้าและท่อทางออกวาล์วมีขนาดเดียวกับขนาดวาล์ว (ไม่มี

ท่อข้อลด/ข้อขยาย) แล้วค่า F_P จะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงว่าระบบท่อทางเข้าและท่อทางออกดังกล่าวไม่มีผลต่อค่า C_V

เพราะเมื่อมีท่อข้อลดก่อนทางเข้าวาล์วความเร็วของเหลวจะเพิ่มสูงขึ้นก่อนเข้าวาล์วเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดท่อข้อลดลงความดันก็จะลดลง และเมื่อของเหลวออกจากวาล์วเข้าสู่ท่อข้อขยายพบว่าความเร็วของเหลวจะลดลงโดยความดันจะเพิ่มขึ้นเพราะพื้นที่หน้าตัดท่อข้อขยายมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในขั้นตอนการไหลผ่านระบบท่อดังกล่าว จึงต้องคำนวณหาค่า F_P

$$F_P = \left[\frac{(\sum K) C_V^2}{N_2 d^4} + 1 \right]^{-1/2} \qquad (5\text{-}22)$$

โดย $\sum K$ เป็นผลรวมของ The effective velocity head coefficients อันเนื่องมาจากท่อข้อลดก่อนทางเข้าวาล์วและท่อข้อขยายหลังทางออกวาล์ว

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_{Bl} + K_{B2} \qquad (5\text{-}23)$$

เมื่อ K_1 = สัมประสิทธิความเสียดทานของท่อข้อลดก่อนทางเข้าวาล์ว

K_2 = สัมประสิทธิความเสียดทานของท่อข้อขยายหลังทางออกวาล์ว

K_{B1} = Bernoulli Coefficients ของท่อข้อลดก่อนทางเข้าวาล์ว

K_{B2} = Bernoulli Coefficients ของท่อข้อขยายหลังทางออกวาล์ว

ทั้งนี้ Bernoulli Coefficients ในสมการ (5-23) ทำหน้าที่ชดเชยการเปลี่ยนแปลงความเร็วและความดันของเหลวเมื่อไหลผ่านท่อข้อลดหรือท่อข้อขยายแล้วเกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป

แต่ถ้าหากข้อต่อท่อ (Fitting) พวกข้องอ (Elbow) หรือวาล์วแบบปิด-เปิดถูกติดตั้งใกล้กับวาล์วควบคุมย่อมส่งผลกระทบต่อรูปแบบการไหลอีกทั้งจะไปลด Capacity ของวาล์ว ซึ่ง ISA ยังไม่มีขั้นตอนหรือกำหนดตัวแปรแก้ไขค่าปรับลด C_V แต่อย่างใด

กรณีขนาดวาล์วเล็กกว่าขนาดท่อ

- ท่อทางเข้า Reducer

$$K_1 = 0.5\left(1-\frac{d^2}{D_1{}^2}\right)^2 \quad (5\text{-}24)$$

$$K_{B1} = 1-\left(\frac{d}{D_1}\right)^4 \quad (5\text{-}25)$$

- ท่อทางออก Increaser

$$K_2 = 1.0\left(1-\frac{d^2}{D_2{}^2}\right)^2 \quad (5\text{-}26)$$

$$K_{B2} = \left(\frac{d}{D_2}\right)^4 - 1 \quad (5\text{-}27)$$

กรณีขนาดวาล์วใหญ่ว่าขนาดท่อ

- ท่อทางเข้า Increaser

$$K_1 = 1.0\left(1-\frac{d^2}{D_1{}^2}\right)^2 \quad (5\text{-}28)$$

$$K_{B1} = \left(\frac{d}{D_1}\right)^4 - 1 \quad (5\text{-}29)$$

- ท่อทางออก Reducer

$$K_2 = 0.5\left(1-\frac{d^2}{D_2{}^2}\right)^2 \quad (5\text{-}30)$$

$$K_{B2} = 1-\left(\frac{d}{D_2}\right)^4 \quad (5\text{-}31)$$

เมื่อ d = Valve body port diameter

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทางเข้าวาล์ว

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทางออกวาล์ว

8. คำนวณหาค่าสุดท้ายของ C_V

$$C_V = \frac{q}{N_1 F_P}\sqrt{\frac{G_f}{P_a}} \qquad (5\text{-}8.2)$$

โดยใช้ F_P จากสมการ (5-22) นอกจากนี้

ก. ค่า C_V ที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อยกว่า 80% ของค่า C_V ของวาล์วที่เลือกไว้ หรือเลือกวาล์วที่มีค่า C_V สูงกว่าค่า C_V ที่คำนวณได้อย่างน้อย 20 % เพราะวาล์วควบคุมควรทำงานในช่วง 20% - 80% ของค่า C_V ของวาล์วที่เลือกไว้หากไม่มี Positioner ติดตั้งเข้ากับวาล์วควบคุม

ข. เลือกค่า C_V ที่ต้องการต่ำสุดให้เกิดขึ้นที่ตำแหน่งสูงกว่า 5% ของ Valve Travel หรือ Valve Stroke จากแค็ดตาล็อกผู้ผลิตวาล์ว

9. คำนวณความเร็วการไหลของเหลวด้านทางออกวาล์ว พิจารณาว่าความเร็วของเหลวสูงกว่าที่ยอมรับได้หรือไม่ หากของเหลวมีความเร็วการไหลสูงเกินไปให้เพิ่มขนาดวาล์วให้ใหญ่ขึ้น

$$V = \frac{q}{A_V} \qquad (5\text{-}32)$$

เมื่อ V = ความเร็วของเหลวด้านทางออกวาล์ว

q = อัตราการไหลของเหลว

A_V = พื้นที่ของช่องทางการไหลด้านทางออกของตัวเรือนวาล์ว

	Acceptable Velocity*		Acceptable Energy	
Location	ft/sec	m/sec	psia	kPa
Valve trim outlet	100	30	70	480
Valve inlet and outlet	60	18	24	167
Main flow piping	10	3	0.7	5
Bypass flow piping**	30	9	6	42
Bypass Valve Trim Outlet**	150	46	150	1030

** Assumes ambient temperature water*

*** Intermittent service (closed 95% of time) acceptance criteria can be higher, per ISA "Control Valves", chapter 12, page 437*

รูปที่ 5-18 ISA™ Fluid Energy - Acceptance Criteria

10. คำนวณหาค่า C_V อีกครั้งหลังจากปรับขนาดวาล์ว
11. เลือก Trim Number

ตัวอย่าง

คำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมสำหรับใช้

ชนิดของเหลว	น้ำ
Critical Pressure (P_C)	3,206.2 psia
อุณภูมิของเหลวที่สภาวะการใช้งาน	250 F
ความดันด้านทางเข้าวาล์ว	314.7 psia
ความดันด้านทางออกวาล์ว	104.7 psia
Specific Gravity	0.94
Valve Action	Flow-to-Open
ระบบท่อที่วาล์วติดตั้งขนาด	4 นิ้ว, Class 600
อัตราการไหล	500 gpm
Vapor Pressure (P_V)	30 psia

Kinematic Viscosity (ν)	0.014 centistokes
Flow Characteristic	Equal Percentage

1. เลือกและคำนวณหาความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP)

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 314.7 - 104.7 = 210\,\text{psi}$$

2. คำนวณหาความดันตกคร่อมวาล์วที่ทำให้เกิด Choked Flow ในการไหลของเหลว หรือ Choked Pressure Drop (ΔP_{ch})

$$\Delta P_{ch} = F_L{}^2\left[P_1 - F_F P_V\right]$$

a. หา Liquid Pressure Recovery Factor; F_L ใช้รูปที่ 5-13 เพื่อเลือกวาล์วชนิด Globe Valve, Flow-under, Full Area ได้ F_L =0.90

b. ประเมิน F_F จาก

$$F_F \cong 0.96 - 0.28\left(\frac{P_v}{P_c}\right)^{1/2} \cong 0.96 - 0.28\left(\frac{30}{3206.2}\right)^{1/2} \cong 0.93$$

ดังนั้น Choked Pressure Drop (ΔP_{ch})

$$\Delta P_{ch} = F_L{}^2\left[P_1 - F_F P_V\right] = 0.90^2\left[314.7 - 0.93\times 30\right] = 232.3\ \text{psi}$$

ตรวจสอบ: ถ้า $\Delta P_{ch} > \Delta P$.แสดงว่าไม่มี Choked Flow เกิดขึ้นในของเหลวไหลผ่านวาล์วให้เลือกใช้ ΔP เป็น ΔP_a และแทนเป็นค่า $P_1 - P_2$ ในแทนสมการ (5-8.1)

c. ประเมิน F_i จากรูปที่ 5-12 หรือรูปที่ 5-13 หาค่า F_i ที่สอดคล้องกับวาล์วชนิด Globe Valve, Flow-under เมื่อ F_L =0.90 ได้ว่า F_i =0.81
ดังนั้น Incipient Cavitation ($\Delta P_{\text{incipient cavitation}}$)

$$\Delta P_{\text{incipient cavitation}} = F_i{}^2\left[P_1 - P_V\right] = 0.81^2\left[314.7 - 30\right] = 187\ \text{psi}$$

พบว่า $\Delta P_{incipient\ cavitation} < \Delta P$.แสดงว่าเกิด Cavitation ภายใต้ไม่เกิด Choked Flow เกิดขึ้นในของเหลวที่ไหลผ่านวาล์ว การเลือกวัสดุของลิ้นวาล์วและ Seat Ring (Trim) ให้มีความแข็งทนทานต่อการเกิด Cavitation ต้องดำเนินการด้วยความรอบคอบ

3. หาค่า Specific Gravity (G_f) โดยเลือกค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอุณหภูมิทำงานจริง (Operating Temperature)

$$G_f = 0.94$$

4. คำนวณค่าประมาณการ C_V ที่ต้องการ โดยสมมุตให้ Piping Geometry Factor (F_P) มีค่าเท่ากับ 1, $\Delta P = P_a$

$$C_V = \frac{q}{N_1 \times 1}\sqrt{\frac{G_f}{P_a}} = \frac{500}{1\times 1}\sqrt{\frac{0.94}{210}} = 33.4$$

5. ประมาณการขนาดวาล์วควบคุม โดยยึดเอาค่า C_V ที่คำนวณได้จาก สมการ (5-8.1) ไปเปิดตาราง Catalog ของผู้ผลิตวาล์ว โดยให้เลือกขนาดวาล์วที่เล็กที่สุดที่มีค่ามากกว่า C_V ที่คำนวณได้เล็กน้อยพอประมาณ เราจะได้ค่า d ของวาล์ว

ดูรูปที่ 5-19 เลือกผู้ผลิตวาล์วยี่ห้อ Valtek รุ่น Mark One, Flow-under (ของเหลวเข้าทางใต้ลิ้นวาล์ว) มี Flow Characteristic แบบ Equal Percentage ชั้นทนความดัน Class 600 เลือกวาล์วที่มีขนาดเล็กที่สุดที่มีค่าใกล้เคียง C_V ที่คำนวณได้ C_V = 33.4 เราเลือกวาล์วขนาด 2 นิ้วค่า C_V ที่วาล์วเปิดเต็มที่ 100% มีค่า C_V = 34

6. คำนวณค่า Valve Reynolds Number (Re_V)

a. ใช้ค่า F_d ที่สอดคล้องกับ F_L ที่ประมาณจากรูปที่ 5-13 หาค่าสอดคล้องกับวาล์วชนิด Globe Valve, Flow-under เมื่อ F_L =0.90, F_i = 0.81 จะได้ F_d = 1.0

b. ใช้ค่า C_V = 33.4

c. ใช้ค่าขนาดวาล์ว d = 2 นิ้ว

d. ใช้ค่า q = 500 gpm

e. ตรวจสอบหน่วยที่ใช้ในสมการจากรูปที่ 5-9 N_2 = 890, N_4 = 17,300

TABLE 118

Manufacturer: Valtek
Valve Type: Mark One, Balanced
Pressure Class: 150#-600#
Trim Characteristic: Equal Percentage
Flow Direction: Under/Downstream

Valve Size (in.)	Trim Size (in.)	Stroke (in.)	Cv At Percent Open										
			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	1.62	1	1.2	2.4	3.5	5.1	7.4	11	15	23	29	31	34
	1.25	1	0.7	1.4	2.1	3.0	4.4	6.5	9.4	13	20	26	28
3	2.62	1.5	3.4	6.7	11	17	29	55	65	79	91	98	98
	2.00	1.5	2.0	3.9	6.2	9.8	15	25	44	55	67	80	90
	1.62	1.5	1.2	2.4	3.5	5.2	7.6	11	16	24	34	49	57
	1.25	1	0.7	1.4	2.1	3.1	4.5	6.7	9.8	14	22	30	34
4	3.50	2	6.0	12	18	28	40	79	108	123	142	155	160
	2.62	2	3.3	6.6	10	16	24	37	61	94	107	126	144
	2.25	2	2.5	4.9	7.5	12	18	27	37	65	82	97	112
	1.25	1	0.7	1.4	2.1	3.1	4.5	6.7	9.8	14	22	31	38
6	5.00	2.5	12	24	36	55	96	163	209	259	296	318	324
	4.00	2.5	7.5	15	23	35	54	89	144	184	230	269	297
	3.00	2	4.4	8.7	13	21	32	52	95	119	152	189	223
8	6.25	3	18	36	55	79	154	246	324	405	464	500	514
	5.00	3	12	24	36	54	82	135	220	280	354	416	463
	3.50	2	6.0	12	18	28	42	89	133	162	208	258	306
10	8.00	3	29	58	107	276	362	469	584	681	748	790	810
	6.25	3	19	37	56	80	160	290	351	453	553	640	706
	5.00	3	12	24	36	55	83	139	248	305	384	474	557
12	9.50	4	42	83	125	208	457	587	770	930	1040	1110	1140
	7.38	4	25	50	76	115	171	309	457	602	750	890	990
	6.00	3	17	34	51	79	138	276	346	451	571	687	790
14	11.00	4	56	111	201	492	643	850	1020	1140	1220	1270	1290
	8.00	4	30	60	90	135	210	422	544	718	880	1010	1110
	6.25	4	18	36	55	83	125	188	330	453	591	738	860
16	13.00	6	54	65	96	142	210	311	460	680	1006	1488	2200
18	15.50	6	67	81	120	178	263	389	575	850	1258	1860	2750
20	16.25	8	79	96	142	210	311	460	680	1005	1486	2198	3250
24	20.00	8	122	148	219	323	478	707	1046	1546	2287	3381	5000
30	24.00	12	182	222	328	485	717	1061	1568	2319	3430	5072	7500
36	29.50	12	243	296	437	647	956	1414	2091	3092	4573	6762	10000

รูปที่ 5-19 Catalog ผู้ผลิตวาล์วยี่ห้อ Valtek

$$Re_V = \frac{N_4 F_d q}{\nu F_L^{1/2} C_V^{1/2}} \left(\frac{F_L^2 C_V^2}{N_2 d^4} + 1 \right)^{1/4}$$

$$= \frac{17{,}300 \times 1 \times 500}{0.014 \times \sqrt{0.90 \times 33.4}} \left(\frac{0.9^2 \times 33.4^2}{890 \times 2^4} + 1 \right)^{1/4}$$

$$= 114 \times 10^6$$

พบว่าค่า Re_V > 40,000 จึงถือว่าการไหลของเหลวภายในวาล์วเป็น Turbulent Flow ดำเนินการคำนวณต่อไป โดยให้ Valve Reynolds Number Factor; F_R = 1

7. คำนวณ Piping Geometry Factor (F_P) จาก Catalog ของผู้ผลิตวาล์วโดยให้มีค่าสอดคล้องกับชนิดวาล์วจากการเลือก Liquid Pressure Recovery Factor; F_L ในขั้นตอนที่ 2 และขนาดวาล์วจากการเลือกไว้ในขั้นตอนที่ 5 หากไม่มีข้อมูลให้คำนวณหาค่า F_P โดยประมาณ

$$\begin{aligned}\sum K &= K_1 + K_2 + K_{B1} + K_{B2} \\ &= \left[0.5\left(1-\frac{d^2}{{D_1}^2}\right)^2\right] + \left[1.0\left(1-\frac{d^2}{{D_2}^2}\right)^2\right] + \left[1-\left(\frac{d}{D_1}\right)^4\right] + \left[\left(\frac{d}{D_2}\right)^4 - 1\right] \\ &= \left[0.5\left(1-\frac{2^2}{4^2}\right)^2\right] + \left[1.0\left(1-\frac{2^2}{4^2}\right)^2\right] + \left[1-\left(\frac{2}{4}\right)^4\right] + \left[\left(\frac{2}{4}\right)^4 - 1\right] \\ &= 0.84375\end{aligned}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned}F_P &= \left[\frac{(\sum K){C_V}^2}{N_2 d^4} + 1\right]^{-1/2} \\ &= \left[\frac{0.84375 \times 33.4^2}{890 \times 2^4} + 1\right]^{-1/2} \\ &= 0.968503 \\ &\cong 0.97\end{aligned}$$

8. คำนวณหาค่าสุดท้ายของ C_V

$$C_V = \frac{q}{N_1 F_P}\sqrt{\frac{G_f}{P_a}} = \frac{500}{1 \times 0.97}\sqrt{\frac{0.94}{210}} = 34.5$$

9. คำนวณความเร็วด้านทางออกวาล์ว เมื่อวาล์วขนาด 2 นิ้วและชั้นทนความดัน Class 600 มีพื้นที่ทางออกวาล์ว 3.14 in^2 (จากรูปที่ 5-21)

$$V = \frac{q}{A_V} = \frac{(500\,\text{gpm} \times 0.002228093)\ \text{ft}^3/\text{sec}}{(3.14\,\text{in}^2 \times 0.00694444)\ \text{ft}^2} = 51.09\ \text{ft/sec}$$

พิจารณาว่าความเร็วของเหลวสูงกว่าที่ยอมรับได้หรือไม่เทียบกับความเร็วที่ยอมรับได้ในรูปที่ 5-18 ซึ่งยอมให้ความเร็วของเหลวด้านทางออกวาล์วไม่ควรมีค่าเกิน 100 ft/sec งานนี้จึงยอมรับได้เพราะความเร็วด้านทางออกวาล์วคำนวณได้ 51.09 ft/sec ไม่เกิน 100 ft/sec

10. เนื่องจาก $\Delta P_{\text{incipient cavitation}} < \Delta P$ แสดงว่าเกิด Cavitation ภายใต้สถานะการณ์ไม่เกิด Choked Flow เกิดขึ้นในของเหลวที่ไหลผ่านวาล์ว ดังนั้นเพื่อบรรเทาปัญหาเรื่อง Cavitation จึงทำการเพิ่มขนาดวาล์วจาก 2 นิ้วไปเป็น 3 นิ้ว จากนั้นเริ่มคำนวณตามขั้นตอนหาค่า C_V อีกครั้งหลังจากปรับขนาดวาล์วตามขั้นตอนที่ 7 - ขั้นตอนที่ 8

a. ขั้นตอนที่ 7: Piping Geometry Factor (F_P) 3 นิ้ว , F_P = 1.0

b. ขั้นตอนที่ 8: C_V 3 นิ้ว , C_V = 33.4

ดูรูปที่ 5-19 เลือกผู้ผลิตวาล์วยี่ห้อ Valtek รุ่น Mark One, Flow-under (ของเหลวเข้าทางใต้ลิ้นวาล์ว) มี Flow Characteristic แบบ Equal Percentage ด้วยชั้นทนความดัน Class 600 เลือกวาล์วขนาด 3 นิ้วมีค่า C_V ที่วาล์วเปิดเต็มที่ 100% มีค่า C_V = 34 , Trim Number 1.25

$$V = \frac{q}{A_V} = \frac{(500\,\text{gpm} \times 0.002228093)\ \text{ft}^3/\text{sec}}{(7.07\ \text{in}^2 \times 0.00694444)\ \text{ft}^2} = 22.69\ \text{ft/sec}$$

พิจารณาว่าความเร็วของเหลวสูงกว่าที่ยอมรับได้หรือไม่เทียบกับความเร็วที่ยอมรับได้ในรูปที่ 5-18

11. การเลือกชนิดและวัสดุ Trim ของวาล์วต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมและแข็งเพียงพอเพราะต้องใช้ไปต่อสู้กับ Cavitation ที่เกิดขึ้น

การเลือกวาล์วทั้งชนิดและขนาดอาจมีมิติเรื่องค่าใช้จ่ายเข้ามาเกี่ยวข้อง การซ่อมบำรุง Spare parts ระบบการควบคุม ฯลฯ ที่ต้องคำนึงถึงและใช้ประกอบการพิจารณาซึ่งเราจะไม่คุยกันในที่นี้

Table 3-VII: Pipe Flow Areas, A_p (Square Inches)

Nominal Pipe Diameter	Schedule												
	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	STD	XS	XXS
1/2				0.30		0.23				0.17	0.30	0.23	0.05
3/4				0.53		0.43				0.30	0.53	0.43	0.15
1				0.86		0.72				0.52	0.86	0.72	0.28
1 1/2				2.04		1.77				1.41	2.04	1.77	0.95
2				3.36		2.95				2.24	3.36	2.95	1.77
3				7.39		6.61				5.41	7.39	6.61	4.16
4				12.73		11.50		10.32		9.28	12.73	11.50	7.80
6				28.89		26.07		23.77		21.15	28.89	26.07	18.83
8		51.8	51.2	50.0	47.9	45.7	43.5	40.6	38.5	36.5	50.0	45.7	37.1
10		82.5	80.7	78.9	74.7	71.8	68.1	64.5	60.1	56.7	78.9	74.7	
12		117.9	114.8	111.9	106.2	101.6	96.1	90.8	86.6	80.5	113.1	108.4	
14	143.1	140.5	137.9	135.3	129.0	122.7	115.5	109.6	103.9	98.3	137.9	132.7	
16	188.7	185.7	182.6	176.7	169.4	160.9	152.6	144.5	135.3	129.0	182.6	176.7	
18	240.5	237.1	230.4	223.7	213.8	204.2	193.3	182.7	173.8	163.7	233.7	227.0	
20	298.6	291.0	283.5	278.0	265.2	252.7	238.8	227.0	213.8	202.7	298.0	283.5	
24	434	425	411	402	382	365	344	326	310	293	425	415	
30	678	661	649	663	602	574	542	513					
36	975	956	938	914	870	830	782						
42	1328	1302	1282	1255	1187	1132	1064						

รูปที่ 5-20 พื้นที่หน้าตัดภายในท่อตามขนาดและชั้นความหนา

Table 3-VIII: Valve Outlet Areas

Valve Size (inches)	Valve Outlet Area, A_v (Square Inches)						
	Class 150	Class 300	Class 600	Class 900	Class 1500	Class 2500	Class 4500
1/2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.11
3/4	0.44	0.44	0.44	0.37	0.37	0.25	0.20
1	0.79	0.79	0.79	0.61	0.61	0.44	0.37
1 1/2	1.77	1.77	1.77	1.50	1.50	0.99	0.79
2	3.14	3.14	3.14	2.78	2.78	1.77	1.23
3	7.07	7.07	7.07	6.51	5.94	3.98	2.78
4	12.57	12.57	12.57	11.82	10.29	6.51	3.98
6	28.27	28.27	28.27	25.97	22.73	15.07	10.29
8	50.27	50.27	48.77	44.18	38.48	25.97	19.63
10	78.54	78.54	74.66	69.10	60.13	41.28	28.27
12	113.10	113.10	108.43	97.12	84.62	58.36	41.28
14	137.89	137.89	130.29	117.86	101.71	70.88	50.27
16	182.65	182.65	170.87	153.94	132.73	92.80	63.62
18	233.70	226.98	213.82	194.83	167.87	117.86	84.46
20	291.04	283.53	261.59	240.53	210.73	143.14	101.53
24	424.56	415.48	380.13	346.36	302.33	207.39	143.14
30	671.96	660.52	588.35	541.19	476.06	325.89	
36	962.11	907.92	855.30				
42	1320.25	1194.59					

NOTE: *To find approximate fluid velocity in the pipe, use the Equation* $V_p = V_v A_v / A_p$ *where:*

V_p = Velocity in pipe A_v = Valve Outlet area from Table 3-VIII

V_v = Velocity in valve outlet A_p = Pipe area from Table 3-VII

To find equivalent diameters of the valve or pipe inside diameter use: $d = \sqrt{4A_v/\pi}$, $D = \sqrt{4A_p/\pi}$

รูปที่ 5-21 พื้นที่ทางออกวาล์วโดยผู้ผลิตวาล์วยี่ห้อ Valtek

วาล์วควบคุมกับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

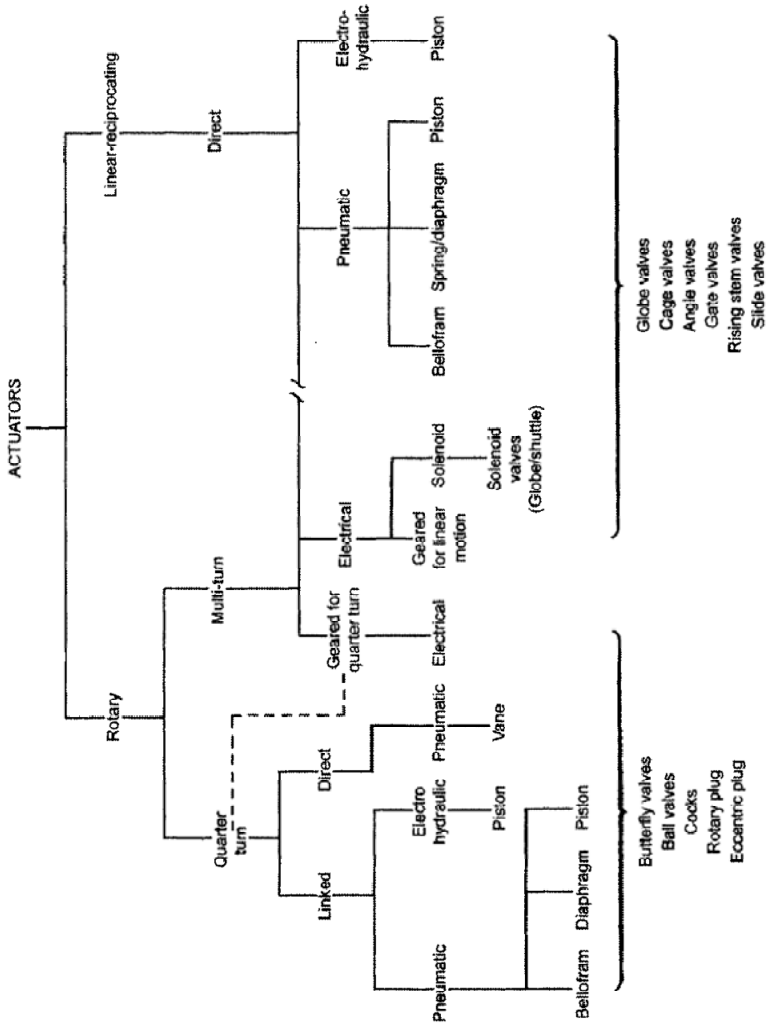
(Control Valves in Dynamic Measuring Systems)

ตอนที่ 6 Valve Actuators

เราสามารถควบคุมการทำงานของวาล์วให้ทำงานอัตโนมัติได้นั้น จำเป็นต้องติดตั้งส่วนที่เรียกว่า Valve Actuator หรือ “หัวขับวาล์ว” เข้ากับวาล์ว ดังนั้น Valve Actuator หรือ “หัวขับวาล์ว” ซึ่งถูกติดตั้งเข้ากับก้านลิ้นวาล์ว โดยตรงหรือโดยอ้อมจึงทำหน้าที่ปรับตำแหน่งก้านลิ้นวาล์ว (โดยใช้พลังงานจากภายนอก) ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการเพื่อให้สอดคล้องและมั่นใจว่าวาล์วควบคุม (Control Valve) ได้ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการหรือระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวได้ถูกต้องตามที่ได้รับการออกแบบไว้ ตำแหน่งของลิ้นวาล์วควบคุมจึงต้องอยู่ได้ในทุกตำแหน่งระหว่างตำแหน่ง “ปิด” จนถึงตำแหน่ง “เปิด” ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของ Actuator มีประสิทธิภาพ ตัว Actuator จึงต้องมีพลังงานขับก้านลิ้นวาล์วที่มากเพียงพอ แม่นยำเพียงพอ และตอบสนองได้ไวต่อสัญญาณควบคุมที่ถูกส่งมาถึง Actuator และถ้าหากสัญญาณควบคุมที่ส่งมายังตัว Actuator เกิดล้มเหลวหรือขาดหายไป Actuator อาจขับก้านลิ้นวาล์วให้กลับไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ เช่น ตำแหน่ง “ปิด” หรือตำแหน่ง “เปิด” หรือให้อยู่ในตำแหน่งเดิมล่าสุดครั้งสุดท้าย เพื่อระบบความปลอดภัยการทำงานหรือด้วยเหตุผลทางเทคนิคใดๆของกระบวนการหรือระบบนั้นๆ

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะกำหนดชนิดและขนาดของ Actuator เพื่อให้ได้ตามความต้องการของกระบวนการหรือระบบนั้นเป็นหลัก หรือด้วยเหตุผลอื่นๆประกอบกันไป เช่น ความน่าเชื่อถือของการทำงานของระบบ ความปลอดภัย การคุ้มทุนในการลงทุน ฯลฯ แต่ในบทนี้เราจะไม่ลงลึกถึงการคำนวณหาขนาด Actuator เพราะเนื้อหาเท่านี้ก็ถือว่า “เหาะเกินกรุงลงกา” เอา

เพียงแค่ทำความเข้าใจลักษณะการทำงานและข้อดีข้อเสียเพื่อเป็นข้อมูลในการเตรียมพร้อมต่อการแก้ไขปัญหาเรื่องวาล์วควบคุมในระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว



รูปที่ 6-1 ชนิด Actuators หรือ “หัวขับวาล์ว” และการนำไปใช้งาน

ชนิดของ Valve Actuator

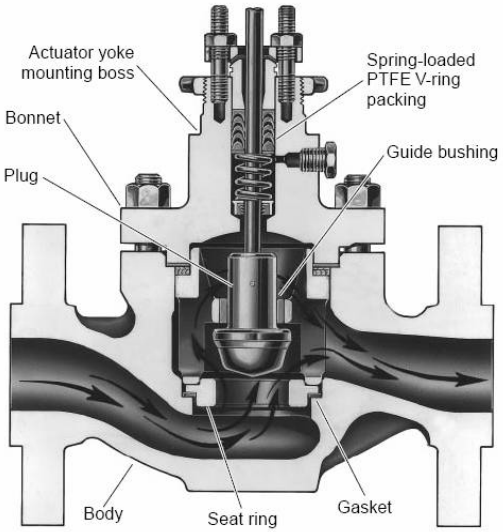
Actuator มีด้วยกันหลายชนิดดังแสดงโดยภายรวมในรูปที่ 6-1 เพื่อเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจทั้งนี้ทั้งนั้นการจัดกลุ่ม Actuators ก็อาจแตกต่างกันไปตามความคิดเห็นและประสบการณ์ทำงานเป็นรายๆไปโดยเฉพาะชนิด Pneumatic Diaphragm ซึ่งเป็นชนิดที่เราจะพบเห็นมากหน่อยเพราะได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายอาจเป็นเพราะมันมีราคาถูกมากเมื่อเทียบกับ Actuator ชนิดอื่น ในปัจจุบัน Actuator ได้รับการพัฒนาให้มีการทำงานที่ตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมที่ถูกส่งมาถึงได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ ยกระดับจาก Pneumatic Diaphragm ไปเป็น Electro-Hydraulic จากนั้นเป็น Electric Actuator เราจึงพอแบ่งชนิด Valve Actuator ได้ดังนี้

1. Pneumatic Actuator

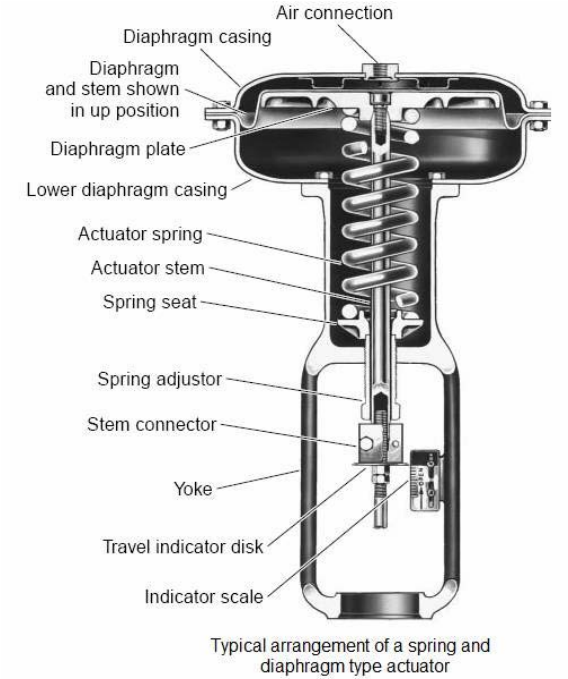
Actuator ที่ใช้พลังงานจากภายนอกด้วยแรงดันอากาศ โดยทั่วไปกำหนดระบบสร้างความดันอากาศเพื่อส่งจ่ายไปยัง Actuator ให้มีขีดความสามารถสร้างความดันอากาศขณะทำงาน (Nominal Operating Pressure) อยู่ที่ประมาณ 8.5 barg และให้อยู่ในช่วงความดันต่ำสุดจนถึงความดันสูงสุดระหว่าง 4 barg - 10.5 barg ระบบท่อสำหรับส่งจ่ายอากาศที่มีแรงดันไปยัง Actuator ดังกล่าวควรใช้วัสดุท่อ AISI 316 Stainless Steel เป็นอย่างต่ำ อีกทั้งต้องจัดให้มีเครื่องวัดความดันอากาศประจำท่อส่งจ่ายอากาศทั้งที่ Actuator และ Positioner (หากใช้ระบบความดันอากาศ) แบ่งย่อย Pneumatic Actuator ได้ดังนี้

1.1. **Diaphragm Actuator** ตัว Actuator ทำหน้าที่แปลความหมายของสัญญาณความดันอากาศจากตัวควบคุม (Controller) ให้เป็นระยะยกตัวก้านลิ้นวาล์ว หรือการเคลื่อนที่ของลิ้นวาล์วโดยใช้ความดันอากาศจากภายนอกอัดกระทำต่อตัว Diaphragm หรือบางทีเรียกว่า Air Bladder ซึ่งต่อเชื่อมกับก้านลิ้นวาล์วให้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามที่ต้องการ ในขณะเดียวกันได้ติดตั้งสปริงเพื่อสร้างแรงต้านในทิศสวนทางกับแรงที่กระทำจากตัว Diaphragm ที่เคลื่อนตัวลงมาเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงการเคลื่อนที่ของ Diaphragm หรือทำหน้าที่เสมือนเป็นตัว

Damper อีกทั้งยังทำหน้าที่ดัน Diaphragm ซึ่งต่อเชื่อมกับก้านลิ้นวาล์วให้เคลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิมเมื่อความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวไม่สามารถส่งความดันอากาศมายังวาล์วควบคุมได้ ลักษณะโดยทั่วไปดังในรูปที่ 6-3 แต่เนื่องจากความต้องการของกระบวนการหรือระบบต่างๆมีความหลากหลายทำให้ต้องออกแบบ Diaphragm Actuator มี 3 แบบหลักๆ คือ แบบแรก “Direct-Acting” ซึ่งเมื่อมีความดันอากาศจากภายนอกอัดเข้ามาใน Actuator และกระทำต่อ Diaphragm ซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับก้านลิ้นวาล์วแล้วทำให้ก้านลิ้นวาล์เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่ง “เปิด” ขึ้น ส่วนจะเปิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ Controller จะส่งความดันอากาศมายัง Actuator มากน้อยเพียงใด เมื่อความดันที่ส่งมาลดลงสปริงจะดีดตัวกลับไปจนถึงจุดสมดุลย์ของแรงที่กระทำต่อ Diaphragm (ดูรูปที่ 6-4 ก) และเมื่อระบบส่งจ่ายความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวไม่มีความดันอากาศส่งมายัง Actuator สปริงที่ต้านอยู่กับ Diaphragm จะดัน Diaphragm ซึ่งต่อเชื่อมกับก้านลิ้นวาล์วให้เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเดิมคือตำแหน่ง “ปิด” วาล์ว ทำให้สปริงที่ใช้ไม่ต้องมีค่า k สูงมากนัก



รูปที่ 6-2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ Globe Valve

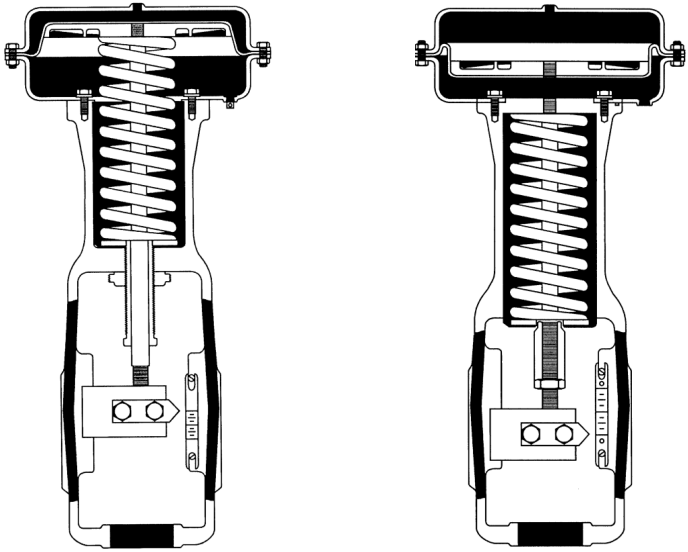


รูปที่ 6-3 โครงสร้างโดยทั่วไปของ Actuator ซึ่งติดตั้งเข้ากับ Globe Valve

สำหรับแบบที่ 2 เรียกว่า “Reverse-Acting” (ดูรูปที่ 6-4 ข) การจัดวางตำแหน่ง Diaphragm และสปริงสร้างแรงต้านต่อแรงที่กระทำจากตัว Diaphragm มีลักษณะตรงข้ามกันทำให้มีการทำงานตรงกันข้ามกันคือ มีความดันอากาศจากภายนอกอัดเข้ามาใน Actuator จากด้านล่างและกระทำต่อ Diaphragm ซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับก้านลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ยกตัวขึ้นแล้วทำให้ก้านลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่ง “ปิด” ลง ส่วนจะปิดลงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ Controller จะส่งความดันอากาศมายัง Actuator มากน้อยเพียงใด และเมื่อระบบส่งจ่ายความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวไม่มีความดันอากาศส่งมายัง Actuator สปริงที่ต้านการเคลื่อนติดอยู่กับ Diaphragm จะดึง Diaphragm ซึ่งต่อเชื่อมกับก้านลิ้นวาล์วให้เคลื่อนที่กลับลงมายังตำแหน่งเดิมคือตำแหน่ง “เปิด” วาล์ว ทำให้สปริงที่ใช้ต้องมีค่า k สูงมากเพื่อดึงก้านลิ้นวาล์วรวมทั้งสร้างแรงกดอัดกับ Seat Ring ให้มาก

เพียงพอต่อความดันของเหลวในกระบวนการหรือระบบฯ เพื่อไม่ให้วาล์วรั่วสำหรับในการทำหน้าที่หลักของมัน

ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การจัดสร้าง จำนวน ชนิด และจัดรูปแบบการวางตำแหน่งของสปริงแตกต่างกันไป

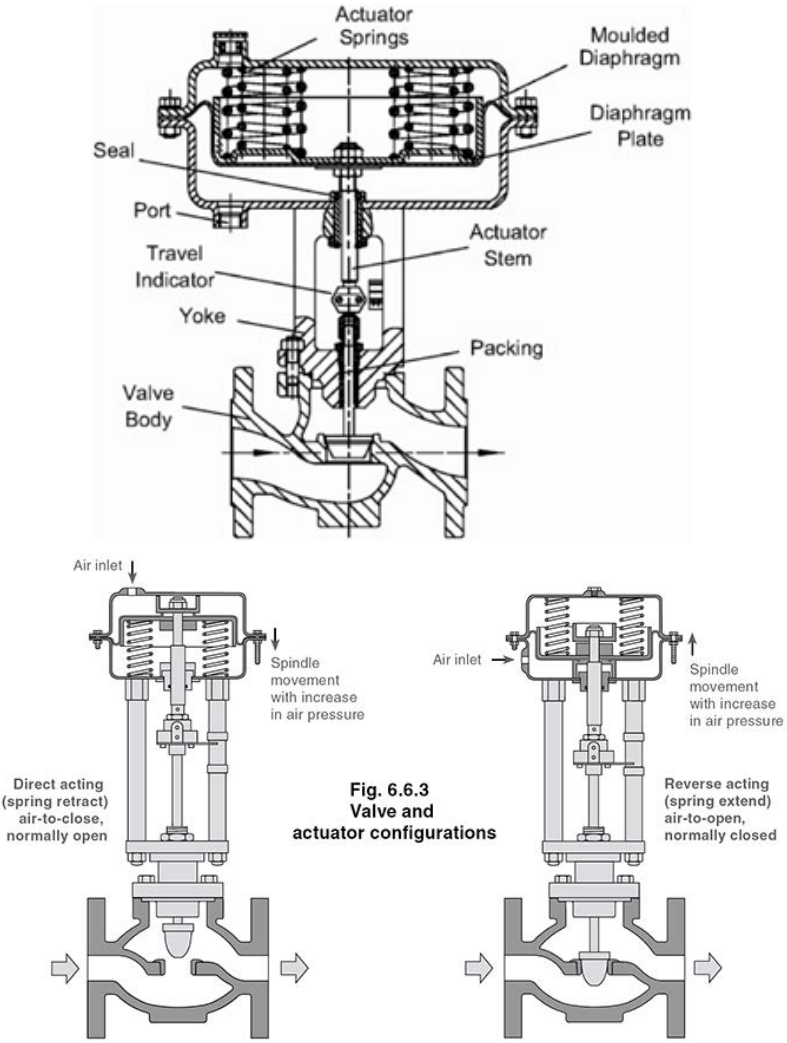


ก. Direct-Acting หรือ Spring-Opposed Diaphragm

ข. Reverse-Acting

รูปที่ 6-4 2 หลักการทำงานของ Diaphragm Actuator

แบบที่ 3 เรียกว่า “Duplex” หรือ “Double Acting” นั่นคือมีความดันอากาศจากภายนอกเข้า Actuator ทั้งข้างบนและข้างล่างทำให้มีความดันแตกต่างกันระหว่างแผ่น Diaphragm การเคลื่อนที่ของ Diaphragm ซึ่งยึดติดกับก้านลิ้นวาล์วจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามผลลัพธ์ของผลต่างความดันจากภายนอกที่กระทำต่อ Diaphragm เมื่อระบบส่งจ่ายความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวไม่มีความดันอากาศส่งมายัง Actuator แล้ว Diaphragm จะเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นดังเดิม ส่วนจะเป็นตำแหน่งใดขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิตวาล์ว



รูปที่ 6-5 Diaphragm Actuator แบบ Reverse-Acting ซึ่งออกแบบให้มีจำนวน ขนาด และตำแหน่งติดตั้งสปริงที่แตกต่างกัน

ในขณะทำงาน Diaphragm Actuator ใช้ความดันอากาศอยู่ในช่วง 0.21 barg – 1.03 barg (3 -15 psig) หรือ 0.41 barg – 2.07 barg (6 -30 psig)

วัสดุที่ใช้ทำ Diaphragm ที่ได้รับความนิยมมากได้แก่ Nylon เสริมด้วย Nitrile Rubber เหมาะกับอุณหภูมิใช้งานระหว่าง -40°C ถึง 80°C ส่วน PTFE จะเหมาะกับงานด้านอาหาร (Hygiene) โดยมีพื้นที่ Diaphragm ในช่วง 160 – 2900 cm^2 (30 -450 in^2) ส่งผลให้ระยะการเคลื่อนตัว Diaphragm ที่สร้างระยะช่วงชักของก้านลิ้นวาล์วโดยทั่วไปมีระยะ 20 mm, 30 mm, 54 mm และ 105 mm และสร้างแรงได้ประมาณ 2 kN – 125 kN

Diaphragm Actuator เป็นที่นิยมกันมากที่สุดชนิดหนึ่งในปัจจุบันทั้งนี้ก็เพราะมีข้อดี คือ

- แข็งแรงทนทาน การทำงานน่าเชื่อถือมั่นใจได้
- เป็นโครงสร้างที่เรียบง่าย สามารถเลือกวัสดุได้หลากหลายเพราะวัสดุที่ทำงานได้ไม่ดีกับอากาศมีน้อยมาก
- ตอบสนองได้ไวในวาล์วขนาดเล็ก เช่น ขนาด DN100 (4 นิ้ว) ใช้เวลาประมาณ 4-8 วินาที แต่ในวาล์วตัวใหญ่ เช่น DN250 (10 นิ้ว) อาจใช้เวลา 20 วินาที เนื่องจากต้องใช้เวลาสำหรับสร้างความดันอากาศที่มีค่าต่ำในช่วง 0.21 barg – 1.03 barg (3 -15 psig) หรือ 0.41 barg – 2.07 barg (6 -30 psig) เติมเต็มช่องว่างภายในช่องระหว่าง Diaphragm กับตัวเรือน Actuator จากนั้นค่อยๆ สร้างความดันให้สูงขึ้นหรือในกรณี 0.21 barg – 1.03 barg (3 -15 psig) ที่ความดัน 0.21 barg วาล์วเริ่มเคลื่อนที่แต่ลิ้นวาล์วจะเปิดจริงเมื่อความดันเท่ากับ 0.3 barg ซึ่งจะมีแรงเท่ากับแรงอัดเริ่มต้นของสปริงด้าน
- ราคาถูกเมื่อเทียบกับ Actuator ชนิดอื่นๆ
- โดยปกติแล้วโรงงานหรือสถานที่ติดตั้งวาล์วได้มีการจัดสร้างระบบความดันอากาศเพื่อใช้งานในด้านต่างๆอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องใช้ระบบไฮดรอลิคซึ่งต้องการบำรุงรักษาสูงหรือระบบไฟฟ้าที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้โดยเฉพาะโรงงานด้านปิโตรเลียม

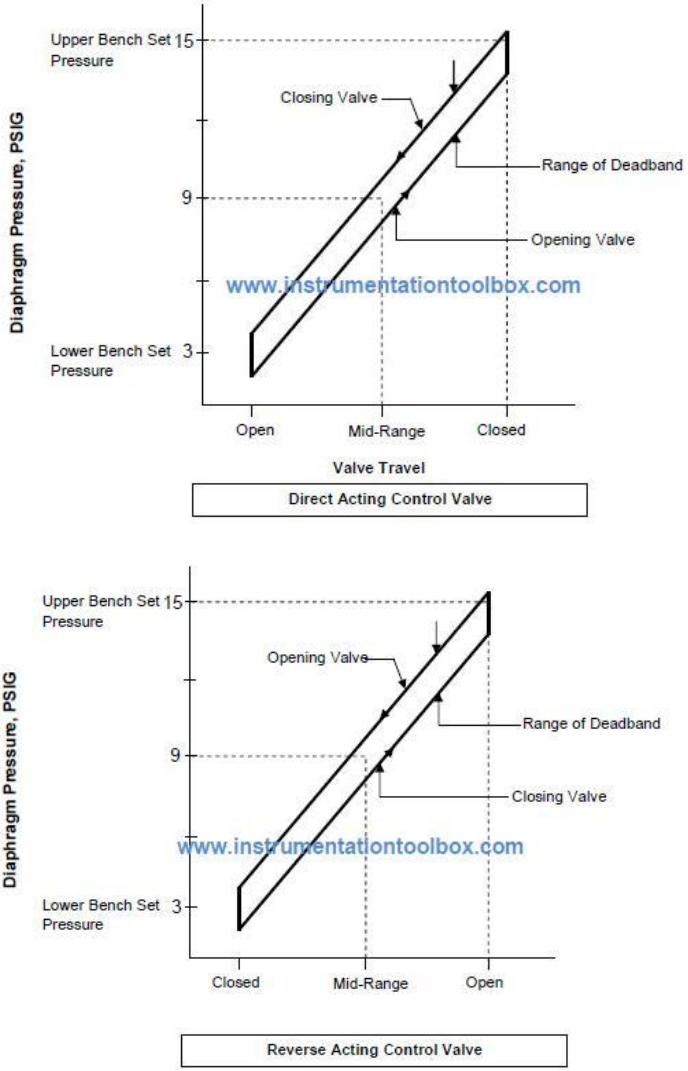
- ค่อนข้างมั่นใจในระบบ “Fail-safe” คือเมื่อระบบส่งจ่ายความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวไม่มีความดันอากาศส่งมายัง Actuator ลิ้นวาล์วสามารถเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ (ปิดหรือเปิด) แต่ในกรณีต้องการให้ก้านลิ้นวาล์วอยู่ในตำแหน่งสุดท้ายก่อนระบบส่งจ่ายความดันอากาศจากภายนอกล้มเหลวอาจไม่ได้ผลดีเพียงพอกับ Diaphragm Actuator
- มีความคล่องตัวในการปรับใช้กับเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น Positioner, Regulator, Booters และ ฯลฯ
- เหมาะสำหรับการใช้งานช่วงความดันต่ำ ในช่วงแรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) ได้ถึง 10 kN
- มีความต้านทานต่อความผิดพลาดของสัญญาณจาก Controller ที่ส่งมาสั่งการได้ในระดับหนึ่ง (Controller Signal) หรือรวมทั้งปัญหา Electrical Noise การต้านทานและรองรับความผิดพลาดดังกล่าวด้วยปริมาตรอากาศใน Actuator เพราะปริมาตรอากาศที่มากดังกล่าวถือเสมือนเป็นตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ เป็นข้อดีที่เราอาจมองข้ามไป

สำหรับข้อเสียของ Diaphragm Actuator ได้แก่

- รูปร่างสูงใหญ่ น้ำหนักมาก อาจมีปัญหาการติดตั้งในสถานที่พื้นที่จำกัด
- มีช่วงระยะชักหรือระยะเคลื่อนที่น้อย (20 mm. -105 mm.) เพราะ Diaphragm (ปูทับแผ่นเหล็กบางๆ) เคลื่อนตัวได้น้อยจึงเหมาะกับวาล์วชนิดที่มีระยะเคลื่อนที่ก้านวาล์วน้อยในการปิด-เปิด วาล์ว เช่น Globe Valve เป็นต้น
- ให้แรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) น้อย
- ความดันส่งเข้า Actuator เพื่อสร้างแรงกดบน Diaphragm ไม่สามารถมีค่าสูงมากเนื่องจากวัสดุของ Diaphragm
- มีคุณสมบัติไม่ถึงกับเป็น Linear Characteristic แต่โดยทั่วไปอยู่ในขอบเขต 3%

- เมื่อใช้งานไปอาจมีการสูญเสียความดันอากาศเนื่องจากอากาศรั่วหรือไหลซึมผ่านตัว Diaphragm
- Diaphragm เกิดการล้า
- Dead Band ของ Actuator เกิดจากความเสียดทานที่มาจากทั้งตัว Actuator และตัววาล์วหน่วงการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วจากการทำงานของ Actuator ดังนั้นเมื่อสัญญาณจาก Controller ถูกส่งมายัง Actuator ให้เคลื่อนที่แต่ด้วย Dead Band นี้เองทำให้ก้านลิ้นวาล์วอยู่นิ่งในช่วง Dead Band เช่น Actuator แบบแรก “Direct-Acting” มีช่วงการทำงานด้วยแรงดัน 3 -15 psig มี Dead Band 10% (รูปที่ 6-6) นั่นหมายถึงมีความเสียดทานหน่วง (Friction Drag) 1.5 psi (15*10/100 = 1.5 psi) และตำแหน่งคลาดเคลื่อนไป 10% เมื่อพิจารณากลางช่วงระยะเคลื่อนที่ระหว่าง 3 -15 psig คือที่ 9 psi จะได้ว่าความดันขณะก้านลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ถึงช่วงกลางของระยะทั้งหมดจากตำแหน่ง “เปิด” ไปยังตำแหน่ง “ปิด”(Closing Valve นั่นคือ จากตำแหน่งวาล์ว “OPEN” ไปยังตำแหน่งวาล์ว “CLOSE” ต้องกลับทิศลูกศรในรูป) จะมีความดันที่ 9 +1.5 psi = 10.5 psi ในขณะที่ความดันขณะก้านลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ถึงช่วงกลางของระยะทั้งหมดจากตำแหน่ง “ปิด” ไปยังตำแหน่ง “เปิด”(Opening Valve) จะมีความดันที่ 9 - 1.5 psi = 7.5 psi ดังนั้นที่ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วมาถึงจุดกึ่งกลางของระยะทั้งหมดจะมีความดัน 7.5 psi ถึง 10.5 psi ซึ่งหากเราแปลค่าความดันให้เป็นระยะตำแหน่งการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วไปเป็นอัตราการไหลผ่านวาล์วจะพบว่าอัตราการไหลจะแตกต่างกันอย่างมากระหว่างค่า 7.5 psi กับ 10.5 psi ซึ่งจะสะท้อนถึงความเที่ยงในการทำงานของวาล์วควบคุม วิธีการแก้ไขปัญหาในเหตุการณ์เช่นนี้ส่วนใหญ่กระทำด้วยการติดตั้งตัว Positioner
- การรั้งก้านวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการด้วยการทำงานของ Diaphragm Actuator นั้นค่อนข้างให้ตัวได้และมีตำแหน่งไม่คงที่มากนักเนื่องจากปริมาตรของอากาศในช่อง Diaphragm กับตัวเรือนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามคุณสมบัติของอากาศซึ่งเป็น Compressible Fluid ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

และความดันส่งผลให้ค่าของแรงต่อระยะเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์ว (N/mm) ไม่คงที่ ทำให้ “Actuator Stiffness” ของ Diaphragm Actuator ยืดหยุ่นตัวดังในรูปที่ 6-7



รูปที่ 6-6 Dead Band ของ Actuator

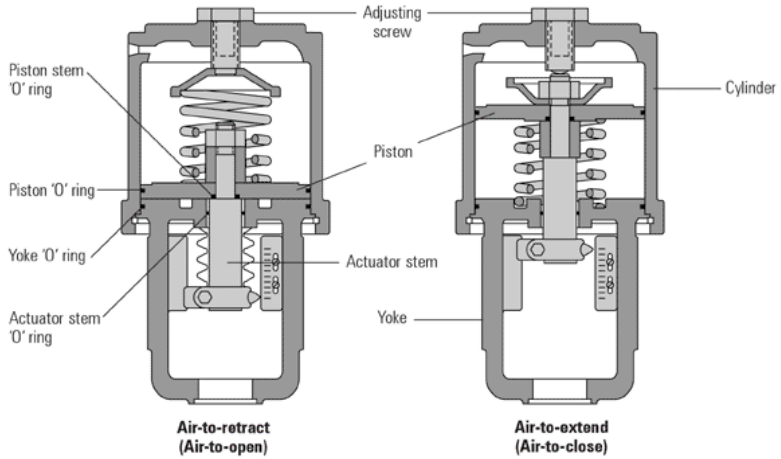
Most stiff	Electro-mechanical
	Electro-hydraulic
	Double-acting pneumatic piston
	Single-acting pneumatic piston
Most flexible	Pneumatic diaphragm

รูปที่ 6-7 Actuator Stiffness

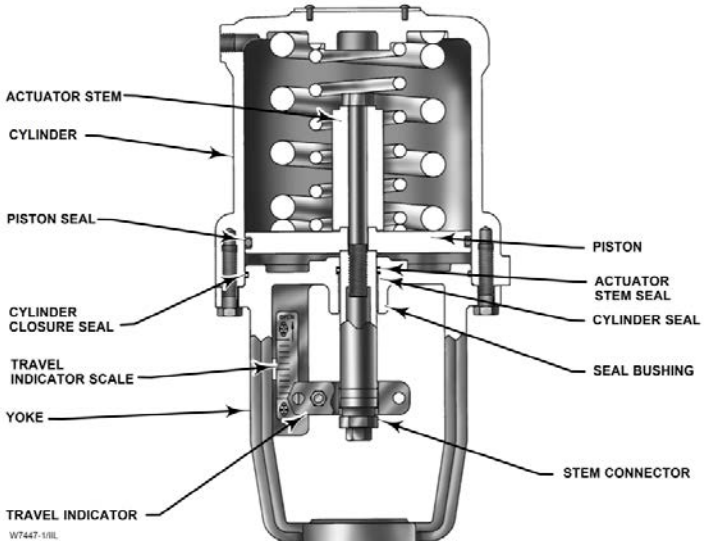
1.2. **Piston-Cylinder Actuator** มีอีกชื่อว่า “Cylinder Actuator” ได้นำข้อดีหลายข้อจาก Diaphragm Actuator มาใช้งานต่อ เพียงแตกต่างตรงที่ใช้กระบอกสูบกับลูกสูบมาใช้แทน Diaphragm ส่งผลให้มีข้อดีขึ้นที่สำคัญคือ Piston-Cylinder Actuator มีขีดความสามารถเคลื่อนที่เพิ่มช่วงชักได้มากขึ้น (นำไปใช้กับ Gate Valve ได้) และรองรับความดันอากาศที่ส่งเข้ามาในกระบอกและลูกสูบสูงมากขึ้นถึงความดัน 6 barg – 10 barg ทำให้การอัดอากาศเข้ากระบอกสูบกระทำได้รวดเร็วส่งผลให้ Piston-Cylinder Actuator ตอบสนองต่อสัญญาณความดันอากาศที่ส่งมาจาก controller ได้รวดเร็วเช่นกัน ในขณะที่นำเอาการออกแบบสปริงต้านการเคลื่อนที่ Diaphragm มาใช้งานต่อให้อยู่ในรูปของสปริงต้านการเคลื่อนที่ลูกสูบแทนทำให้ Piston-Cylinder Actuator ทำงานได้ 3 รูปแบบเช่นเดียวกับ Diaphragm Actuator คือ “Direct-Acting”, “Reverse-Acting”, และ “Duplex” หรือ “Double Acting”

Piston-Cylinder Actuator มีข้อดี คือ

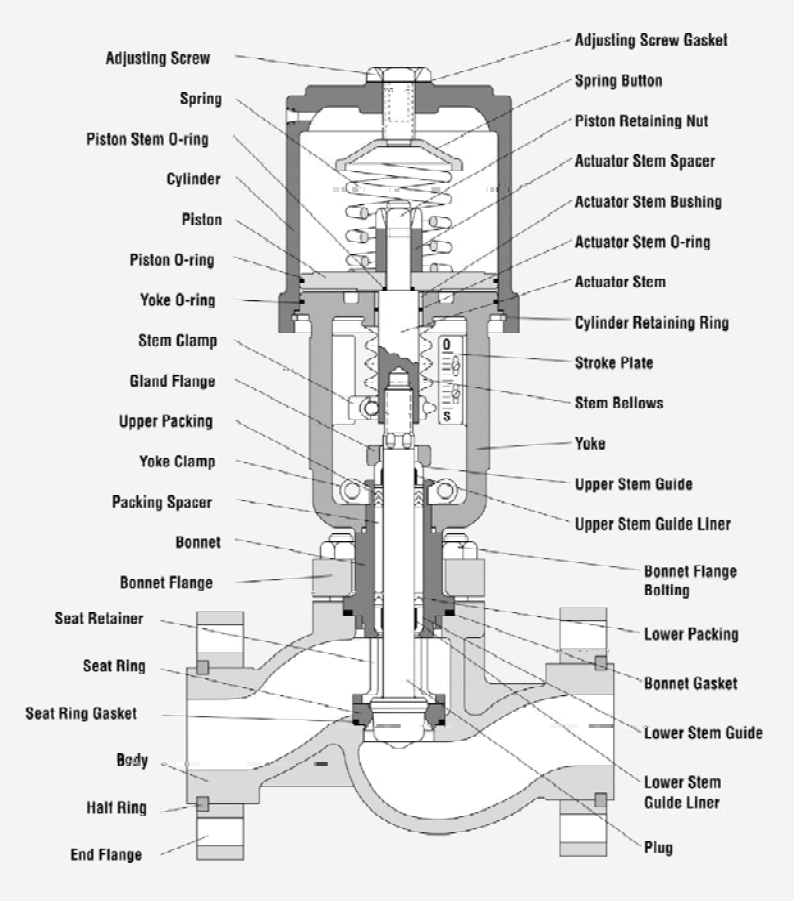
- ให้แรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) สูง เนื่องจาก Actuator ทำงานภายใต้ความดันอากาศจากภายนอกที่สูงขึ้น
- ความเร็วช่วงชักของการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วโดย Piston-Cylinder Actuator เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับ Diaphragm Actuator
- มีระยะช่วงชักยาวขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับวาล์วที่ต้องการระยะการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วมาก เช่น Gate Valve
- สามารถติดตั้งสปริงเพื่อให้ทำงานในโหมด Fail-Safe ได้



รูปที่ 6-8 รูปแบบโดยทั่วไปของ “Direct-Acting” กับ “Reverse-Acting”ใน Piston-Cylinder Actuator



รูปที่ 6-9 รูปแบบโดยทั่วไปของ “Duplex” หรือ “Double Acting” ใน Piston-Cylinder Actuator



รูปที่ 6-10 ชิ้นส่วน Piston-Cylinder Actuator ที่ติดตั้งเข้ากับ Globe Valve

- มี Actuator Stiffness สูงทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งหนึ่งแล้ว Actuator สามารถรักษาตำแหน่งของก้านลิ้นวาล์วได้มั่นคงและเที่ยงตรง ถึงแม้แรงสำหรับการรักษาตำแหน่งลิ้นวาล์วของวาล์วในแต่ละตำแหน่งจะไม่เท่ากันก็ตาม อีกทั้งรองรับแรงสั่นสะเทือนที่ตามมากับการทำงานของก้านลิ้นวาล์วเนื่องจากความดันในระบบท่อของกระบวนการหรือระบบหนึ่งๆ เปลี่ยนแปลง

- มีคุณสมบัติเป็น Linear Characteristic ดีเยี่ยม
- ตอบสนองต่อสัญญาณความดันอากาศที่ส่งจาก Controller มายัง Actuator ได้รวดเร็วแม่นยำ
- มีความคล่องตัวในทิศทางการติดตั้งภาคสนาม
- มีขนาดเล็กและเบา



รูปที่ 6-11 Piston-Cylinder Actuator ที่ติดตั้งเข้ากับ Globe Valve

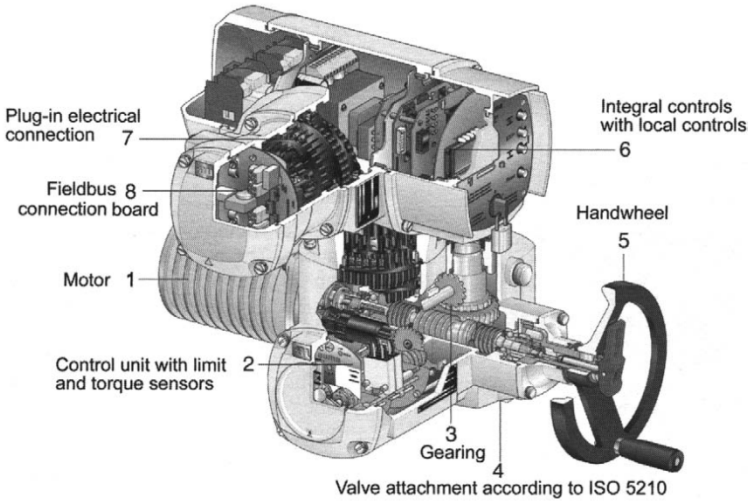
สำหรับข้อเสียของ Piston-Cylinder Actuator นั้นคือติดตั้ง Positioner เพื่อใช้ทำงานร่วมกับ Actuator ชนิดนี้กระทำได้ยาก



รูปที่ 6-12 ความคล่องตัวในทิศทางการติดตั้งภาคสนาม

2. Electro-mechanical Actuator

หรืออาจเรียกว่า “Electric Motor Actuator” หรือ “Electric Motor/Gear” หรือ Electric Gear Drive Actuator” ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมชุดเกียร์เฟื่องทดซึ่งจะผลิตแรงบิดในรูปแบบการเคลื่อนที่แบบหมุนจึงใช้ได้กับวาล์วควบคุมจำพวก Rotary Valve อีกทั้งสามารถใช้งานได้หลายรูปแบบการเคลื่อนที่เมื่อทำงานร่วมกับกลไกเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear), หมุน 90 องศา, หมุน 180 องศา, หมุนครบรอบ 360 องศาหรือแม้แต่หมุนหลายรอบก็ตาม เนื่องจากต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงานการติดตั้งจึงต้องให้ความระมัดระวังโดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียม



รูปที่ 6-13 Electro-mechanical Actuator แบบหมุนได้หลายรอบ

Electro-mechanical Actuator ประกอบด้วยหลายชิ้นส่วน เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดสูงอาจใช้ไฟฟ้าแบบกระแสตรงหรือกระแสสลับ ในกรณี Actuator ตัวใหญ่ก็อาจใช้ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส ส่วนใน Actuator ตัวเล็กอาจใช้เป็น Capacitor-Run นอกจากนี้ภายในตัว Actuator อาจประกอบด้วยชุดเกียร์เฟืองทดซึ่งสามารถลดรอบจาก 1,000 rpm เหลือเพียง 10 rpm เพราะต้องการรอบต่ำ

แต่แรงบิดสูงหรือต้องการรอบสูงแต่แรงบิดต่ำก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสลับการทำงานจากไฟฟ้าให้มาเป็นมือหมุนแทนก็ได้ ตัวอย่างดังในรูปที่ 6-13

Electro-mechanical Actuator มีข้อดีที่ให้เราพิจารณาหลายข้อ คือ

- มีความเสถียรในการทำงานสูง
- ให้แรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) คงที่
- มี Actuator Stiffness สูงมาก
- เหมาะกับการใช้งานในสถานที่ห่างไกลจากศูนย์กลางการควบคุมการทำงาน เช่น Control Room เพราะการส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยระยะทางไกลๆ ไปยัง Actuator ดีกว่าการส่งพลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่น ความดันอากาศ
- เมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง Actuator ยังคงรักษาตำแหน่ง “ปิด-เปิด” คงที่ไม่เปลี่ยน (Fail in Place) เฟืองขับจะไม่หมุนยกเว้นใน Actuator ซึ่งประกอบด้วยชุดเฟืองทดที่มีประสิทธิภาพสูงหรือเกิด Back Drive (เกลียวไม่ล็อคในตัวเอง) ดังนั้นเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้องตำแหน่ง “ปิด-เปิด” ของวาล์วอาจคลาดเคลื่อนไปมากน้อยแตกต่างกันไป
- มีคุณสมบัติเป็น Linear Characteristic ดีเยี่ยม



รูปที่ 6-14 รภาพตัด Electro-mechanical Actuator แบบหมุนได้หลายรอบ

ข้อเสียของ Electro-mechanical Actuator

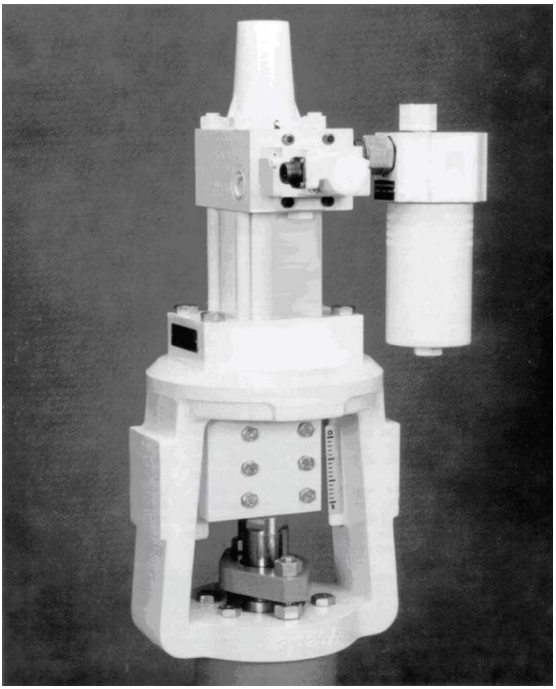
- ราคาแพง
- มีความซับซ้อนของระบบการทำงาน
- การตอบสนองอาจไม่รวดเร็วเนื่องจากความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้า
- เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้า จึงไม่เหมาะกับสภาวะแวดล้อมที่อาจเกิดระเบิดได้ง่าย เช่น โรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

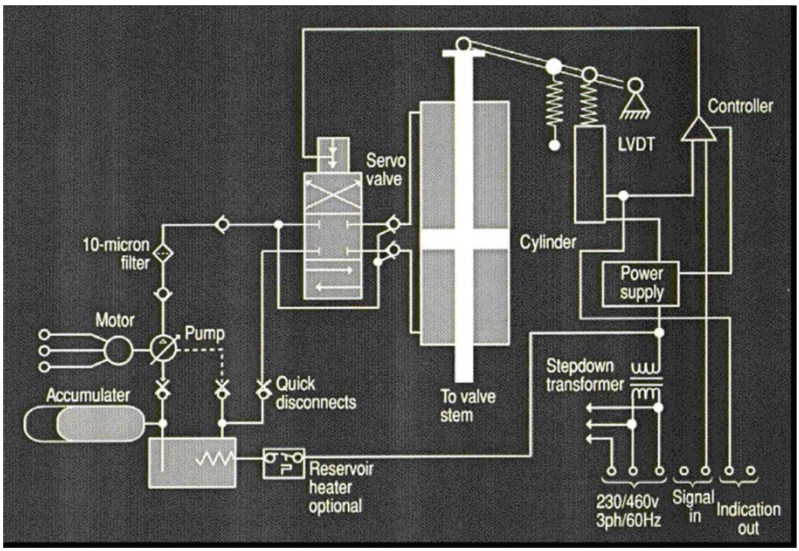
3. Electro Hydraulic Actuator

เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกระบอกสูบและลูกสูบไฮโดรลิกกับปั๊มไฮโดรลิกซึ่งขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าจึงให้แรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) สูงกว่า 100 kN รวมทั้งขับเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการด้วยความแม่นยำและรวดเร็ว ถือได้ว่ามีความเป็น Actuator Stiffness สูงเนื่องจากใช้น้ำมันไฮโดรลิกในการขับเคลื่อนกระบอกสูบและลูกสูบซึ่งถือว่าเป็นของไหลไม่ยุบตัว (Incompressible Fluid) สามารถตอบสนองต่อสัญญาณจาก Controller ได้รวดเร็วแต่อาจทำให้เกิด Water Hammer ในระบบท่อได้เนื่องจากการปิด-เปิดวาล์วด้วยความรวดเร็วเกินควร ในขณะเดียวกันก็เป็น Actuator ที่มีระบบการทำงานที่ซับซ้อนและราคาแพงอีกทั้งใช้พลังงานในการทำงานมากและต้องเสียค่าบำรุงรักษาสูง



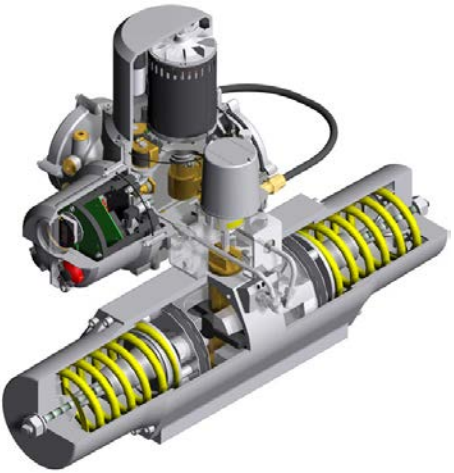
รูปที่ 6-15 Self-Contained Electro Hydraulic Actuator





รูปที่ 6-16 Electro- Hydraulic Actuator

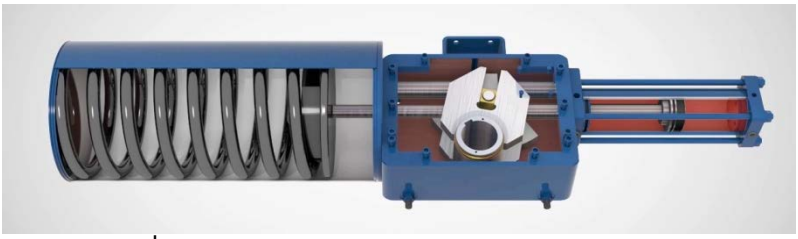
ในกรณีที่ใช้ปั๊มไฮโดรลิกซึ่งขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด Stepping Motor พบว่ายิ่งทำให้การทำงานดีขึ้นและใช้พลังงานน้อยลง นอกจากนี้อาจทำการติดตั้งสปริงเข้าไปเพิ่มเติมเพื่อให้ทำงานดันก้านลิ้นวาล์วกลับไปตำแหน่งที่ต้องการว่าจะให้ปิดหรือเปิดในกรณีระบบไฮดรอริกไม่ทำงาน หรือ Fail-Safe Mode เช่นเดียวกับ Diaphragm Actuator (ดูรูปที่ 6-17)



รูปที่ 6-17 Self-Contained Electro- Hydraulic Actuator

4. Hydraulic Actuator

หลักการทำงานคล้ายกับ Pneumatic Actuator เพียงแต่แทนที่จะใช้พลังงานจากภายนอกด้วยแรงดันอากาศแต่ใช้น้ำมันไฮโดรลิกแทน ซึ่งจะเป็นระบบที่มีความดันสูงกว่า ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงกว่า (ดูรูปที่ 6-18)



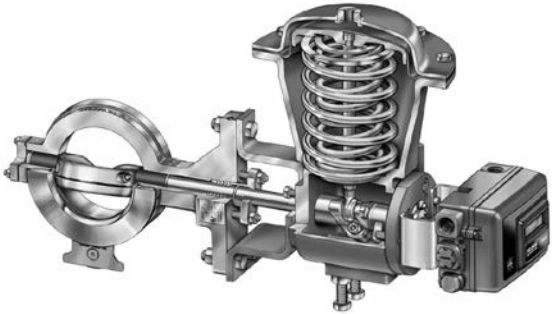
รูปที่ 6-18 รูปตัดขวางแสดงภายใน Hydraulic Actuator



รูปที่ 6-19 แสดงการติดตั้งในภาคสนามของ Hydraulic Actuator

5. Electrical Actuator

ใช้พลังงานไฟฟ้าล้วน แต่ถ้าหากใช้พลังงานไฟฟ้าคู่กับระบบไฮโดรลิกก็เรียกว่า Electro Hydraulic Actuator, ใช้พลังงานไฟฟ้าคู่กับระบบเฟืองทดเรียกว่า Electric Gear Drive Actuator (ดูรูปที่ 6-20)



รูปที่ 6-20 Electrical Actuator ติดตั้ง Spring เสริมการทำงาน



รูปที่ 6-21 Electrical Actuator ติดตั้งคู่กับ Ball Valve

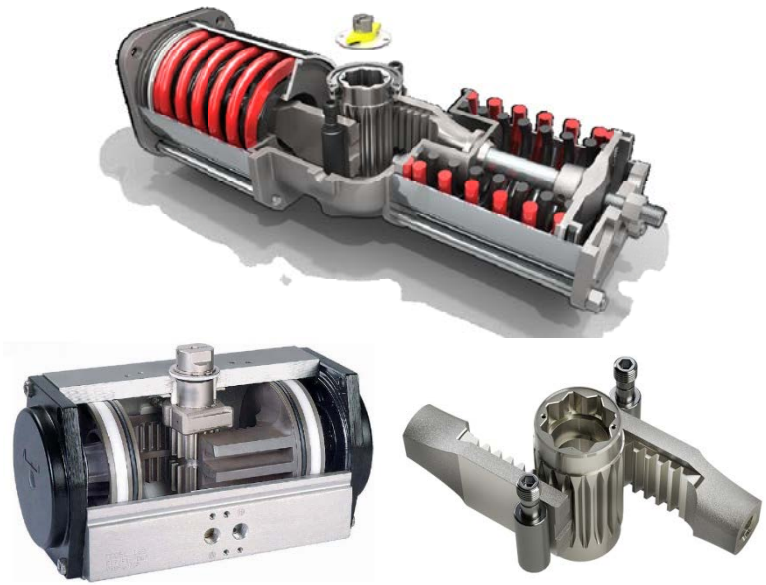
ตัวแปรรูปแบบการเคลื่อนที่ (Motion Conversion)

Diaphragm Actuator, Piston Actuator ส่งแรงขับวาล์วในรูปแบบการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์วเป็นเส้นตรง ในขณะที่ Electro-mechanical Actuator ส่งแรงขับวาล์วในรูปแบบการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์วเป็นการหมุนวนรอบแกนก้านลิ้นวาล์ว แต่เราสามารถนำ Actuators มาใช้ขับวาล์วได้ทั้งในรูปแบบเส้นตรงและรูปแบบหมุนวนรอบได้ด้วยตัวแปรรูปแบบการเคลื่อนที่

1. แปลงการเคลื่อนที่จากเส้นตรงเป็นการหมุน (Linear to Rotary)

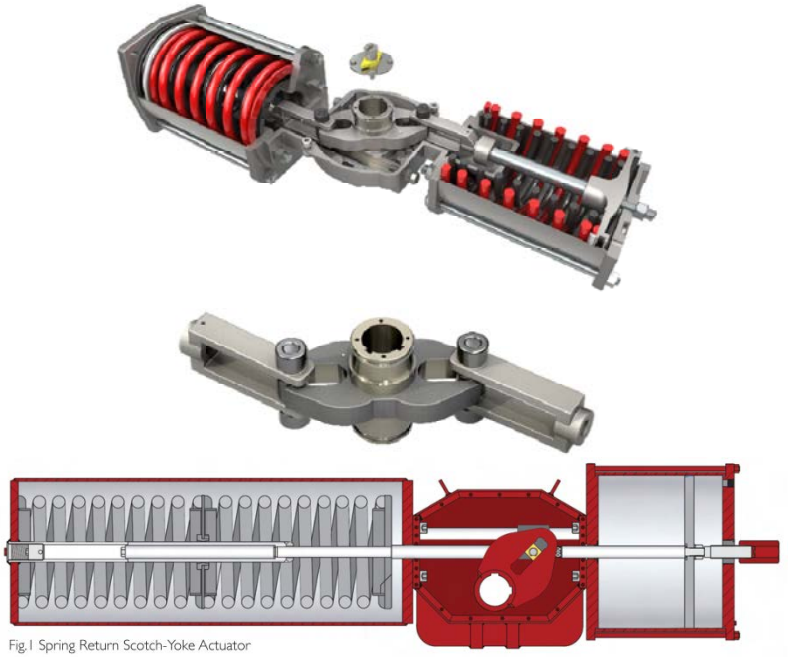
1.1. **ระบบคาน (Lever)** ใช้แท่นคานเชื่อมต่อระหว่างปลาย Actuator กับปลายแกนก้านหมุนวาล์ โดยเมื่อ Actuator เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงจะไปดันคานให้หมุนรอบแกนก้านลิ้นวาล์ว

1.2. **Rack and Pinion** เชื่อมปลาย Actuator ซึ่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเข้ากับ Rack Gear จากนั้นติดตั้ง Pinion Gear เข้ากับแกนก้านลิ้นวาล์ว (ดูรูปที่ 6-22)



รูปที่ 6-22 ระบบ Rack and Pinion

1.3. **Scotch Yoke** เป็นรูปแบบหลักการทำงานของระบบคานที่เรียกว่า Scotch Yoke ดูรูปที่ 6-23



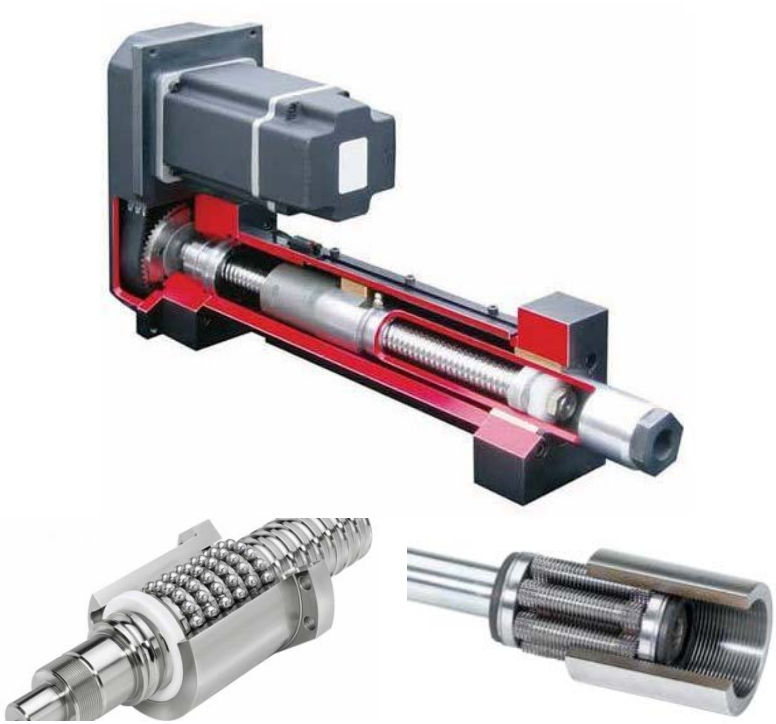
รูปที่ 6-23 ระบบ Scotch Yoke

2. แปลงการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นเส้นตรง (Rotary to Linear)

2.1. **Threaded Screw หรือ Ball Screw** โดยใช้กลไกการหมุนของสกรูเกลียวหรือสกรู Ball ผ่านกลไกเพื่อขับก้านวาล์วให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงโดยที่แกน Actuator ซึ่งต่อเข้ากับก้านลิ้นวาล์วไม่มีการหมุนแต่อย่างใด (ดูรูปที่ 6-24)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดด้านทางออกกับระยะเคลื่อนที่ของก้าน Actuator ภายใต้เงื่อนไขที่ให้แรงปลายก้านคงที่สำหรับการแปลงการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงเป็นการหมุน (Linear-to-Rotary Conversion) รูปแบบของแรงบิดของตัวแปรรูปแบบการเคลื่อนที่ของ Actuator ที่มีกลไกต่างกันจะให้ผลแตกต่างกัน โดยพบว่า

- แรงบิดด้านทางออกที่ใช้คาน (Lever) จะมีค่าสูงสุดในตำแหน่งกึ่งกลางของการเคลื่อนที่เมื่อคานอยู่ตำแหน่งทำทิศตั้งฉากกับก้าน Actuator
- สำหรับระบบที่ใช้กลไก Rack & Pinion แรงบิดด้านทางออกให้ค่าคงที่ตลอดช่วงชักของ Actuator
- ตัวแปรรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Scotch Yoke ให้แรงบิดมากที่สุดในตำแหน่งปลายสุดทางการเคลื่อนที่ของช่วงหมุนในการทำงานของ Scotch Yoke ซึ่งจะเหมาะสมกับวาล์วชนิด Rotary ที่ต้องการแรงบิดสำหรับการนั่งของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring มากในตำแหน่งดังกล่าว



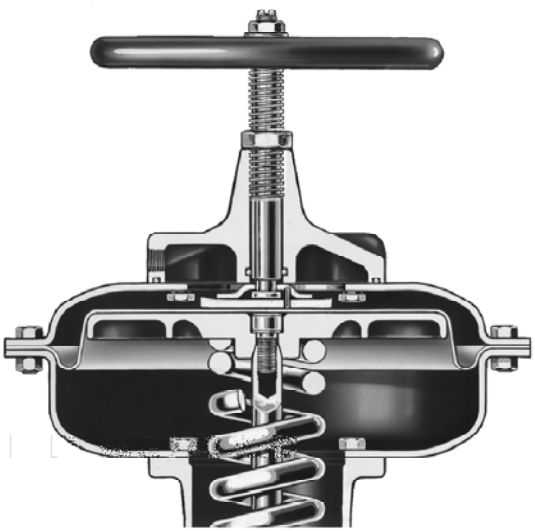
Ball Screw Threaded Screw

รูปที่ 6-24 Threaded Screw หรือ Ball Screw

อุปกรณ์ช่วยเสริม (Actuator Accessories)

Valve Actuator หรือหัวขับวาล์วอาจประกอบด้วยส่วนเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้ Actuator ทำงานได้มีสมรรถนะเพิ่มสูงขึ้น

1. **Manual Override หรือ Handwheel** การยกเลิกการทำงานของ Actuator ด้วยมือนั้นทำด้วยการติดตั้งมือหมุน (Handwheel) บริเวณด้านบน Actuator บริเวณติดตั้งสปริงและ Diaphragm โดยปกติจะติดตั้งในทิศทางตรงข้ามกับสปริงใน Actuator (ดูรูปที่ 6-25) เมื่อต้องการยกเลิกการทำงานของ Actuator ให้ดึงหรือกดมือหมุนดังกล่าว กลไกการทำงานของมือหมุนต้องไม่ไปสร้างความเสียดทานให้กับ Actuator อีกทั้งต้องระบุตำแหน่ง “ว่าง (Neutral)” ของมือหมุนอย่างชัดเจนเพื่อแสดงว่าเป็นตำแหน่งของมือหมุนไม่ทำงาน การยกเลิกการทำงานของ Actuator ก็เพื่อใช้ระบุตำแหน่งของก้านวาล์วและเพื่อให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งที่ออกแบบไว้เมื่อระบบการทำงาน Actuator ล้มเหลว และในบางครั้งอาจถูกออกแบบมาเพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์ว



รูปที่ 6-25 การติดตั้ง Top-Mount Handwheel เข้ากับ Diaphragm Actuator

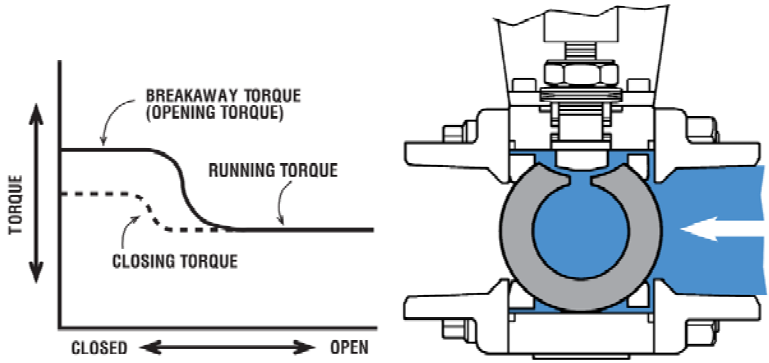
2. **Positioners** ตัว Positioner ถือเป็นตัวควบคุมวาล์ว (Valve Controller) ตัวหนึ่ง โดยทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณที่อยู่ในรูปสัญญาณความดันอากาศ (Pneumatic Signal) หรือสัญญาณไฟฟ้า (Electronic Signal) จากตัวควบคุมวาล์วหลักกับสัญญาณระบุตำแหน่งของก้านลิ้นวาล์วเพื่อตรวจสอบและส่งข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ของก้านลิ้นวาล์วย้อนกลับไปประมวลผลการทำงานของวาล์วควบคุม ถ้าผลการเปรียบเทียบสัญญาณจากตัวควบคุมหลักกับสัญญาณของตำแหน่งของก้านลิ้นวาล์วต่างกัน Positioner จะส่งกำลังจากภายนอกเช่นความดันอากาศส่งไปกระตุ้นให้ Actuator เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ต้องการจนกระทั่งไม่มีผลต่างของสัญญาณจากตัวควบคุมหลักกับสัญญาณระบุตำแหน่งของก้านลิ้นวาล์ว

Positioner จึงช่วยให้การตรวจสอบและกำหนดระยะการเคลื่อนที่ระยะยกลิ้นวาล์วมีความแม่นยำถูกต้องเที่ยงตรงและเคลื่อนที่ได้รวดเร็ว Positioner สามารถใช้ระบบ Pneumatic หรือระบบ Electropneumatic หรือระบบ Electric ก็ได้ ส่วนความแม่นย่ำถูกต้องก็แตกต่างกันไปตามหลักการทำงาน

ด้วยเหตุนี้การติดตั้ง Positioner เข้ากับ Actuator จึงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำงานของวาล์วควบคุม อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำงานของวาล์วควบคุมอีกด้วย เช่น

- ความเสียดทานที่เกิดกับปะเก็นก้านวาล์วอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเข้าไปหรือตัวปะเก็นเมื่อใช้งานไปเกิดขาดความหล่อลื่น
- แรงที่กระทำต่อก้านลิ้นวาล์วเปลี่ยนแปลงตามความดันในระบบท่อของเหลวของกระบวนหรือระบบนั้นๆ
- อีกทั้งในแต่ละตำแหน่งของการปิด-เปิดเองก็มีแรงกระทำต่อก้านลิ้นวาล์วแตกต่างกันไปด้วยเช่นกันขึ้นอยู่กับชนิดของวาล์ว รวมทั้งแรงเสียดทานระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring ที่ผันแปรไปตามตำแหน่งปิด-เปิดของวาล์วส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของแรงกระทำต่อก้านลิ้นวาล์ว อย่างเช่นในกรณีบอลวาล์ว (ดูรูปที่ 6-26) เริ่มต้นที่ตำแหน่งปิด ต้องใช้แรงมากกว่าปกติในการเริ่มหมุน

วาล์วเพื่อเปิดวาล์วเนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างลิ้นวาล์วกับ Seat Ring สูงในตอนเริ่มแรกเพราะเป็นตำแหน่งที่มีผิวสัมผัสของลิ้นวาล์วกับ Seat Ring มากที่สุด



รูปที่ 6-26 แรงบิดที่ต้องใช้ในการปิด-เปิดวาล์วในแต่ละตำแหน่งปิด-เปิด

- นอกจากนี้ยังรวมไปถึงคุณสมบัติประจำตัวของตัว Actuator เองที่ไม่ได้ทำงานในลักษณะความเป็นเชิงเส้น (Linear Characteristic)
- โดยทั่วไปการทำงานร่วมกันของตัววาล์วกับ Actuator จะมีค่า Deadband อยู่ในช่วง 2-5% หรือมากกว่านั้น แต่เมื่อติดตั้ง Positioner เข้ากับ Actuator จะช่วยลด Deadband ลงได้จนเหลือเพียง 0.5% หรือน้อยกว่าสำหรับในแต่ละช่วงการชัก

ข้อพิจารณาในการตัดสินใจเลือกใช้ Positioner ควรเลือกใช้เมื่อ

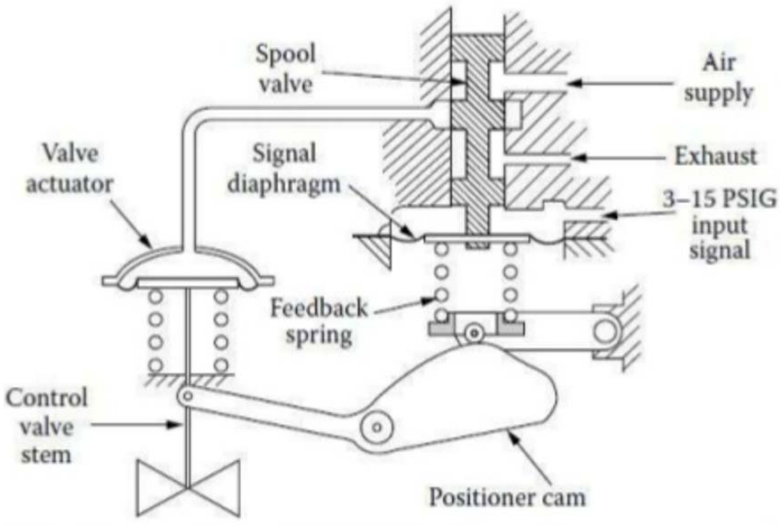
- Actuator ต้องทำงานที่ความดันในระบบท่อมีค่าสูงเพื่อต้องการเพิ่ม Actuator Stiffness
- ใช้กับวาล์วเมื่อความดันทำงานของ Actuator มีค่ามากกว่าความดันสัญญาณควบคุม ทั้งนี้เพราะการใช้ความดันทำงานของ Actuator ที่เพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้มั่นใจว่ามีแรงเพียงพอต่อการขับให้ลิ้นวาล์วเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าในช่วง 0.4 barg ถึง 2.0 barg (6 – 29 psig)

- ต้องการระบบควบคุมที่มีความแม่นยำสูงและตอบสนองได้รวดเร็วต่อคำสั่งที่ส่งมาจากตัวควบคุม ดังนั้นถ้าหากต้องเดินระบบท่อความดันอากาศจากแหล่งกำเนิดภายนอกจนถึงวาล์วกับตัวควบคุมความดันอากาศ (Regulator) เป็นระยะทางไกลจะนำมาซึ่งปัญหาความรวดเร็วในการส่งสัญญาณ การปรับระบบการส่งสัญญาณจากความดันอากาศมาเป็นระบบไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องจำเป็นส่งผลให้ต้องติดตั้ง Positioner เพื่อสร้างระบบควบคุมแบบย้อนกลับได้
- ระบบควบคุมการทำงาน (Control Loop) ของระบบควบคุมตอบสนองได้ช้าต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งก้านลิ้นวาล์ว
- ในระบบที่แบ่งช่วงการไหลของไหลผ่านวาล์วควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมเพียงตัวเดียวที่เรียกว่า “Split-rang Systems”

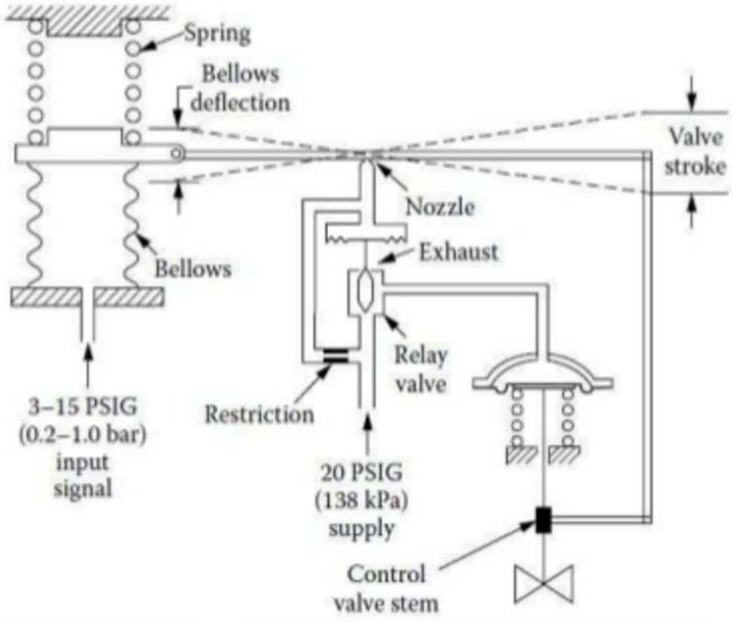
2.1. ชนิดของ Control Valve Positioner เนื่องจาก Valve Positioner มีหลากหลายการออกแบบการทำงานเพื่อให้เหมาะกับความต้องการ เรามาดูภาพรวมชนิดของ Valve Positioner

2.1.1. Pneumatic Positioner รับและส่งสัญญาณความดันอากาศ (Pneumatic Signal) ที่ความดัน 3 -15 psi หรือ 6-30 psi ด้วยเหตุนี้จึงต้องจัดให้มีเครื่องวัดความดันอากาศเพื่อตรวจสอบค่าความดันอากาศในท่อส่งจ่ายเข้า Positioner, ความดันในท่อสัญญาณความดันอากาศจากตัวควบคุม (Controller) และความดันในท่อด้านท่อทางออกจาก Positioner เพื่อส่งสัญญาณกลับไปยังตัวควบคุมหรือส่งไปขับ Actuator เพื่อปรับตำแหน่งก้านลิ้นวาล์ว ผลการตรวจสอบค่าความดันดังกล่าวจะมีผลต่อการทำงาน Positioner แบ่งย่อยออกเป็น

ก. **Force Balance Positioner** หลักการทำงานของ Positioner ชนิดนี้เป็นการเปรียบเทียบแรงดันจากความดันอากาศที่ส่งมาจากตัวควบคุมกับแรงดันที่สร้างจากระบบคานทดและสปริงที่ต่อเชื่อมติดกับการเคลื่อนที่ก้านวาล์ว ซึ่งถือเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed Back Control) (ดูรูปที่ 6-27)

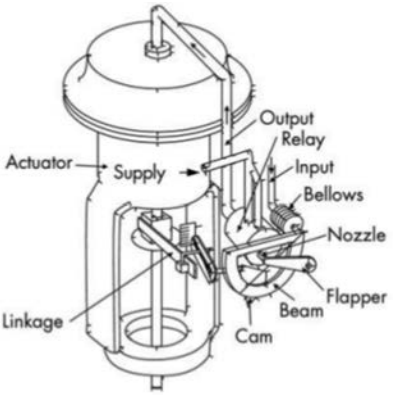


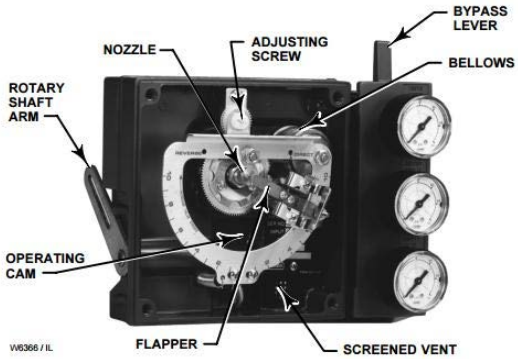
รูปที่ 6-27 หลักการทำงาน Force Balance Positioner



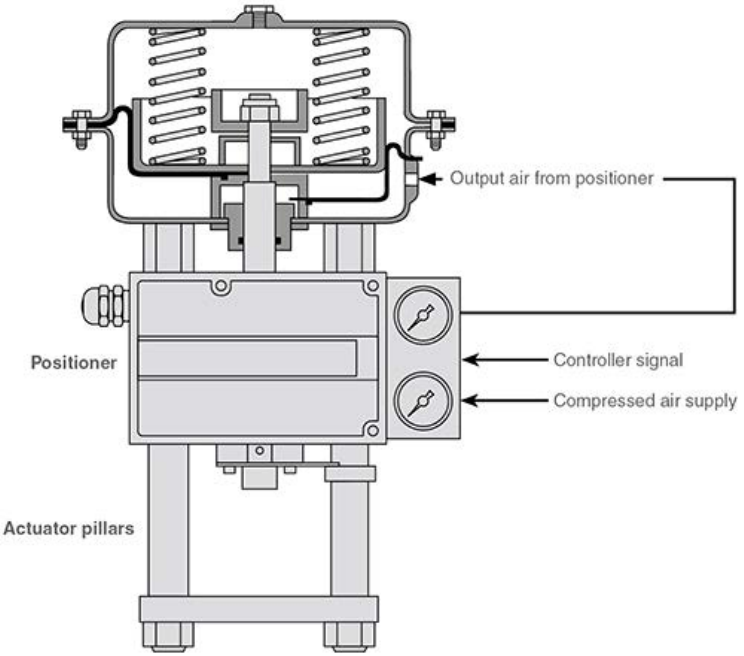
รูปที่ 6-28 หลักการทำงาน Motion Balance Positioner

ข. **Motion Balance Positioner** การทำงานของ Positioner ชนิดนี้เป็นการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของ Bellows หรือตัว Diaphragm อันเนื่องจากความดันอากาศที่ส่งมาจากตัวควบคุมกระทำต่อ Bellows หรือตัว Diaphragm กับตำแหน่งระบบคานทดที่ต่อเชื่อมติดกับการเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (ดูรูปที่ 6-28) ซึ่งให้ผลที่มีความเที่ยงสูงในการควบคุมการทำงานก้านลิ้นวาล์ว โดยการทำงานของ Bellow จะให้ผลแม่นยำกว่าการทำงานของตัว Diaphragm แต่ก็มีปัญหาร่วมกันคือมีความล้าเกิดขึ้นจากการทำงานเนื่องจากความดันและระยะยืดตัวของทั้ง Bellows และ Diaphragm ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำงาน จึงได้มีการคิดค้นหลักการทำงานใหม่จน Position ชนิดนี้ถูกแทนที่ด้วย Electronic Positioners หากต้องการความแม่นยำสูงขึ้น





รูปที่ 6-29 ตัวอย่าง Motion Balance Positioner



รูปที่ 6-30 สัญญาณความดันอากาศจากตัวควบคุมไปยัง Positioner ซึ่งขยายสัญญาณความดันอากาศแล้วส่งแรงดันอากาศไปขับเคลื่อน Actuator

2.1.2. Digital Positioner จะรับและส่งสัญญาณไฟฟ้า (Electronic Signal) ที่ 4 - 20 mA หรือ 10 – 50 mA ในการทำงาน แทนที่จะเป็นสัญญาณความดันอากาศ (Pneumatic Signal) ที่ความดัน 3 -15 psi หรือ 6-30 psi (ดูรูปที่ 6-31)

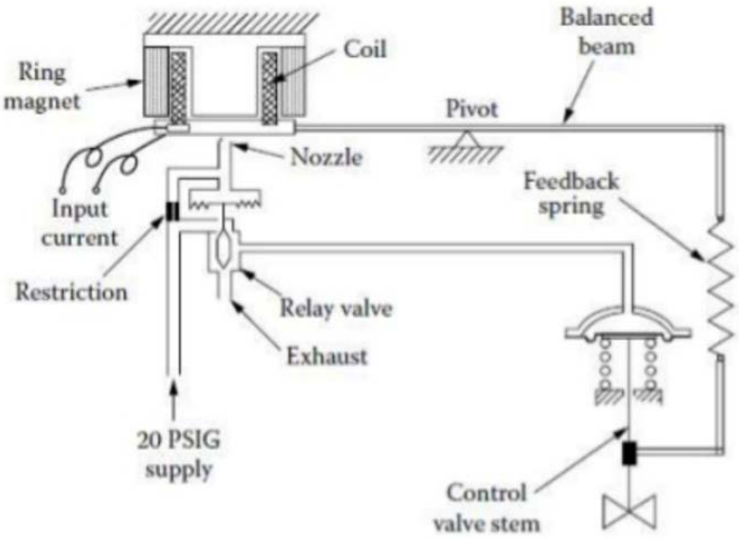
2.1.3. Pneumatic-Digital Positioner ซึ่งผสมกันระหว่างสัญญาณความดันอากาศกับสัญญาณไฟฟ้า แบ่งออกเป็น

ก. Electro-Pneumatic (ดูรูปที่ 6-32 รูปที่ 6-33)

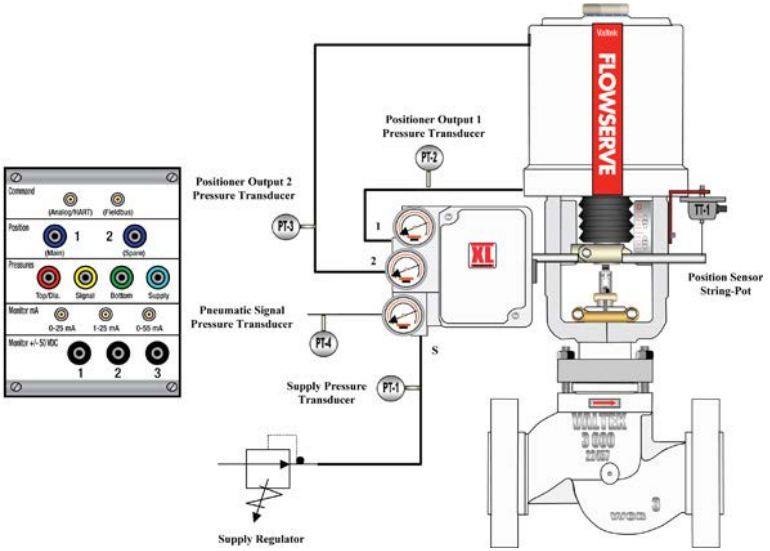
ข. Digital to Pneumatic Positioner



รูปที่ 6-31 Digital Positioner



รูปที่ 6-32 หลักการทำงาน Electro-Pneumatic Positioner



รูปที่ 6-33 Electro-Pneumatic Positioner

3. **Limit Switches** อาจทำการติดตั้ง Limit Switches ภายในหรือภายนอกตัว Actuator ในตำแหน่งปลายสุดทั้ง 2 ด้านของก้าน Actuator หรืออาจติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางระยะการเคลื่อนที่ของก้าน Actuator ก็ได้เพื่อติดตามตรวจสอบตำแหน่งก้านวาล์ววาอยู่ ณ ตำแหน่งใด โดยใช้ Limit Switch 1 ตัวต่อ 1 ตำแหน่ง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งจากตัว Limit Switch ไปแจ้งเตือนสถานะการทำงานของวาล์วควบคุม (ดูรูปที่ 6-34)



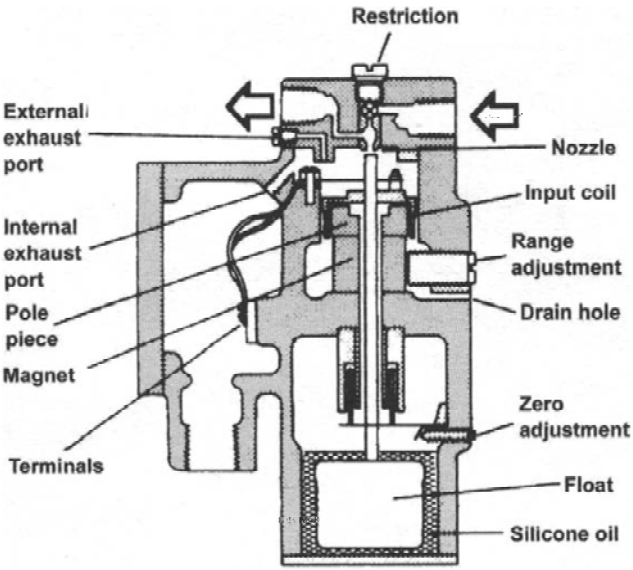
รูปที่ 6-34 รูปแบบต่างๆ ของ Limit Switches

4. **Position Transmitter** ถือเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานกลับกันกับ Positioner นั่นคือ Position Transmitter ทำหน้าที่รายงานบ่งบอกตำแหน่งก้าน Actuator ตลอดเวลาโดยจะถ่ายทอดสัญญาณอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาด้วยขนาด 3 – 15 Psig หรือ 4- 20 mA เทียบเป็นสัดส่วนกับระยะช่วงชักทั้งหมดของ Actuator เช่น 4 mA เป็นตำแหน่งเริ่มต้นการเคลื่อนของก้าน Actuator และ 20 mA เป็นตำแหน่งปลายสุดของช่วงชักของก้าน Actuator การทำงานของ Position Transmitter จึงต่างกับ Limit Switch ซึ่งจะรายงานตำแหน่งเฉพาะจุดนั้นๆ

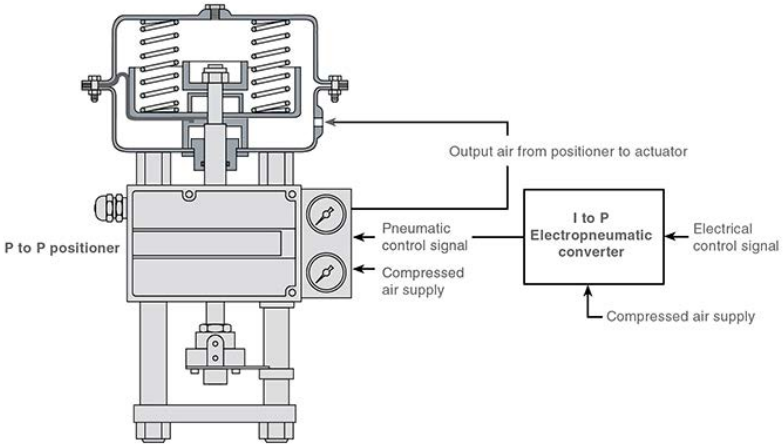


รูปที่ 6-35 Position Transmitter

5. **I/P Converter** หรือ **Current-to-Pressure** โดย Current หมายถึงสัญญาณไฟฟ้า ส่วน Pressure ในที่นี้เป็นทั้งระบบ Pneumatic และระบบ Hydraulic ดังนั้น I/P Converter จึงมีหน้าที่แปลงสัญญาณด้านทางเข้าในรูปของกระแสไฟฟ้า เช่น 4-20 mA (DC) ให้เป็นค่าสัญญาณความดันอากาศหรือความดันไฮโดรลิกด้านทางออก เช่น 3 - 15 psig ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงนั้น คือสัญญาณเข้ามา 4 mA ตัว I/P Converter จะส่งสัญญาณทางออกเป็น 3 psig และเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่จนถึงสัญญาณเข้ามา 20 mA ตัว I/P Converter จะส่งสัญญาณทางออกเป็น 15 psig ตัว I/P Converter จึงถูกใช้ในระบบควบคุมที่ข้ามสายพันธ์กันนั้นเอง เช่น Electro-Pneumatic Positioner (รูปที่ 6-37)



รูปที่ 6-36 I/P Converter



รูปที่ 6-37 สัญญาณไฟฟ้าจากตัวควบคุมถูกแปรความหมายด้วย I/P Converter แล้วส่งสัญญาณความดันอากาศไปยัง Positioner ซึ่งขยายสัญญาณความดันอากาศแล้วส่งแรงดันอากาศไปขับเคลื่อน Actuator



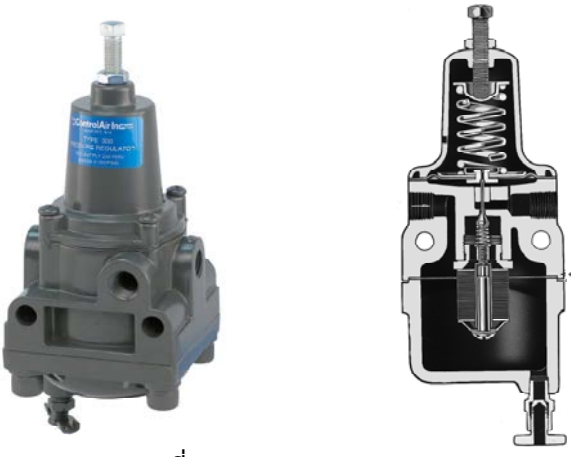
รูปที่ 6-38 Electro-Pneumatic Positioner ใช้ I/P Converter

6. **Solenoid Valve** ถูกใช้เพื่อยกเลิกสัญญาณที่ส่งมาหรืออาจถูกใช้เพื่อระบายอากาศออกจาก Actuator หรืออัดอากาศเข้า Actuator ให้เต็มทีโดยไม่คำนึงถึงสัญญาณควบคุมใดๆ เป็นต้น



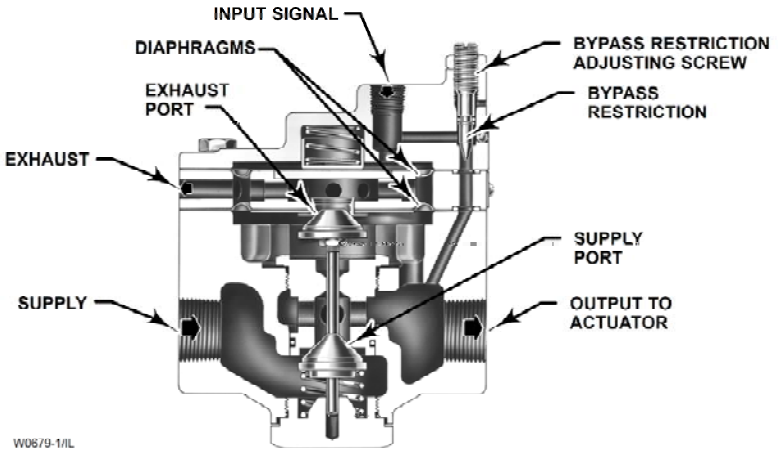
รูปที่ 6-39 Solenoid Valve

7. **Air Regulators** ช่วยควบคุมและรักษาระดับความดันอากาศจากแหล่งกำเนิดพลังงานภายนอกระบบที่ส่งมายัง Actuator หรืออุปกรณ์เสริมต่างๆ ไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความดันอากาศที่ถูกส่งมามีค่าสูงเกินกว่าค่าความดันทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าว



รูปที่ 6-40 Air Regulator

8. **Volume Boosters** ถูกใช้เพื่อเร่งการเพิ่มปริมาตรอากาศจากแหล่งกำเนิดภายนอกระบบเข้าสู่ Actuator ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ Positioner หรือตัวควบคุม (Controller) อาจส่งสัญญาณให้อากาศผ่านเข้ามาใน Actuator ไม่เพียงพอต่อการเคลื่อนที่ก้าน Actuator ให้ได้ภายในระยะเวลาที่ต้องการ เช่น ตัว Pneumatic Actuator ตัวใหญ่ จึงต้องเร่งการส่งความดันอากาศให้เร็วและมากขึ้น เพื่อให้กระบวนการหรือระบบฯนั้นๆทำงานได้ผลตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 6-41 Volume Boosters

แนวการพิจารณาเลือก Actuator

เมื่อต้องเลือกใช้ Actuator ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการในเบื้องต้นเราควรพิจารณา

1. ความเข้ากันได้ระหว่าง Actuator กับวาล์วที่ต้องการ
2. พลังงานภายนอกที่ใช้ในการทำงาน Actuator
   - 2.1. Pneumatic
   - 2.2. Hydraulic
   - 2.3. Electric
   - 2.4. ระบบผสมจากระบบที่กล่าวมาแล้ว
3. ระบบทิศทางการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์ว
   - 3.1. Single Acting (Direct Acting หรือ Reverse-Acting)
   - 3.2. Double Acting
4. การส่งสัญญาณจากตัวควบคุมมายัง Actuator ในรูปแบบ
   - 4.1. Pneumatic Analogue
   - 4.2. Electric Analogue
   - 4.3. Electric Digital
   - 4.4. Analogue/Digital Combination
5. แรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วเพื่อปิด-เปิด (Thrust) ที่ต้องการ
6. ความรวดเร็วในการทำงาน ปิด-เปิด วาล์ว
   - 6.1. Slow
   - 6.2. Fast
   - 6.3. Variable
7. กำลังที่ต้องการเพื่อให้ Actuator สามารถทำงานด้วยแรงขับเคลื่อนก้านลิ้นวาล์วรวมทั้งความรวดเร็วในการทำงาน ปิด-เปิด วาล์ว
8. Actuator Stiffness ที่ต้องการ

9. โหมดการทำงานเมื่อแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกที่ส่งมายัง Actuator ล้มเหลว (Fail-Safe)

9.1. Stay-Put ให้วาล์วอยู่ตำแหน่งเดิมก่อนแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกล้มเหลว

9.2. Close ให้วาล์วเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่ง “ปิด” เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกล้มเหลว

9.3. Open ให้วาล์วเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่ง “เปิด” เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานภายนอกล้มเหลว

10. ความต้องการอุปกรณ์เสริมการทำงาน Actuator

10.1. Handwheel

10.2. Local Powered Operation

10.3. Positioners

10.4. Boosters

10.5. Remote Indication

10.6. ESD Override Facilities

10.7. Damping Facilities

11. สภาวะแวดล้อมของวาล์วควบคุม

11.1. Electrically Hazardous

11.2. Air-borne Contamination/Corrosion

11.3. Water Hazards

11.4. Temperature Extremes,

11.5. Humidity

11.6. Biological Attack

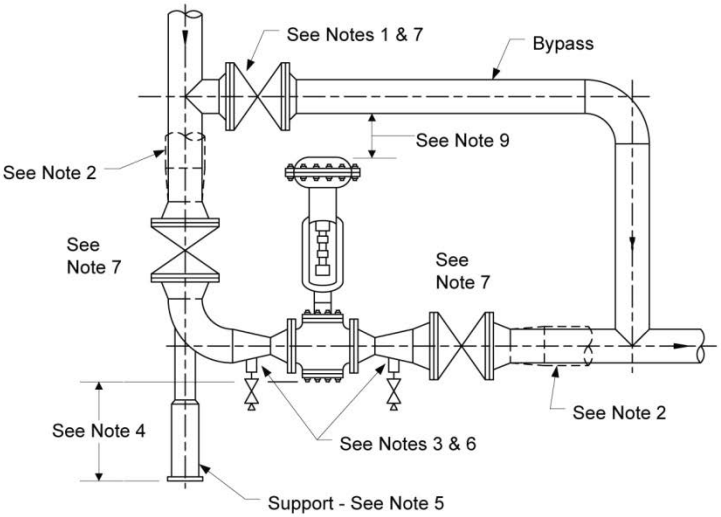
11.7. Vibration, External and Valve-Generated

11.8. Seismic Considerations

12. การซ่อมบำรุงรักษา

13. ค่าใช้จ่ายแรกเริ่มในการซื้อ และค่าติดตั้ง ค่าบำรุงรักษา

สำหรับสมรรถนะของวาล์วควบคุม ก็ไปหาอ่านกันเองนะครับ เดินทางมาถึงจุดนี้ก็จำนวนหน้าหนาพอสมควรแล้ว ก็น่าจะพอเข้าใจและนำไปใช้ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ได้ในระดับหนึ่งแล้ว



NOTES:

(1) Bypass valve size should be equivalent to Control Valve size (i.e. as close to equivalent C_v as possible).

(2) Reduce line size ahead of the block valves so that the manifold pipe size and the control valve fall within the relationships.

(3) Where control valve is line size, provide minimum straight length of six inches or one pipe diameter, whichever is larger. For rotary control valve, allow sufficient length of straight pipe on one side of the valve to permit removal of line flange bolting.

(4) Install control valve close to grade or platform with a 30 mm (12 in.) minimum under clearance.

(5) Support control valve manifold.

(6) An NPS 3/4 (DIN 20) bleeder valve should be installed between the block valves and the control valve.

(7) Block and bypass valve sizes should be standard sizes.

(8) Expander and reducing flanges should not be used in control valve manifolds.

(9) Clearance should be provided to permit the removal of the actuator with the valve in the line. This dimension should not be less than 30 mm (12 in.).

Figure 32—Typical Control Valve Manifold

รูปที่ 6-42 รูปแบบการติดตั้งโดยทั่วไปตาม API RP 553, 2012

เมื่อจัดทำระบบ Actuator และอุปกรณ์เสริมดังกล่าวโดยเฉพาะ Positioner เข้ากับวาล์วควบคุมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว วาล์วควบคุม (Control

Valve) จะต้องมีผลผิดรวมสูงสุดนั้นคืองรวมทั้งระบบของตำแหน่งการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์วอันเนื่องจากข้อจำกัดหรือปัจจัยต่างๆ เช่น Repeatability, Dead Band, Resolution, Hysteresis, Nonlinear และ ฯลฯ แล้ว

- วาล์วควบคุมต้องมีค่าผลผิดรวมสูงสุดต้องไม่เกิน 1.5% สำหรับวาล์วควบคุมขนาดเล็กกว่า 12 นิ้ว และ
- วาล์วควบคุมต้องมีค่าผลผิดรวมสูงสุดต้องไม่เกิน 2.5% สำหรับวาล์วควบคุมขนาด 14 นิ้วถึง 18 นิ้ว

จากนั้นหากเราต้องการทราบความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลของวาล์วควบคุมว่าจะมีค่ากี่เปอร์เซ็นต์ เราก็ต้องไปหากราฟหรือตารางความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์วหรือระยะยกลิ้นวาล์วกับอัตราการไหลผ่านวาล์วควบคุม แทนค่าความคลาดเคลื่อนระยะของก้านลิ้นวาล์วเราก็จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลของวาล์วควบคุมได้ เช่นในกรณีวาล์วควบคุมมี Linear Characteristic (มีความชันของเส้นกราฟเท่ากับ 1) ก็จะทราบได้ทันทีว่าวาล์วควบคุมขนาด 6 นิ้วมีอัตราการไหลคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.5% เท่ากับผลผิดสูงสุดรวมทั้งระบบของตำแหน่งการเคลื่อนที่ก้านลิ้นวาล์ว 1.5% เช่นกัน เป็นต้น

หนังสืออ้างอิง
(Bibliography)

1. 981101B-Using-the-Audit-Trail-Event-Logger-Feature-and-Sealing-of-the-Flow-Computer Omni.pdf

2. A Study of Coriolis Flowmeter as a Reference Instrument in Multiphase Flow, Seigve Naustdal, Master's Thesis, University of Bergen, September 2015.

3. Aerated Flow Measurement and Modeling of a Coriolis Flowmeter, Katrine Arnoldsen Juhl, Master's Thesis, Anlborg University, June 2014.

4. AGA Report No. 11, Measurement of Natural Gas by Coriolis Meter, 2003, American Gas Association

5. Allow Smart Meter Verification to Reduce your Proving and Proof-Test Costs, White Paper WP-001540, Rev. A©2012, Timothy J. Cunnungham and Tom O' Banion, Micro Motion Inc

6. American Petroleum Institute, 12J, Specification for Oil and Gas Separators, 8th Edition, October, 2008

7. Analytical Study of Liquid/Vapour Separation Efficiency, W.D. Monnery and W.Y. Svreck, 2000, In the Alternative Flaring Technologies program sponsored by Environment Canada, CAPP, and PTAC

8. ANSI/FCI 70-2-2006, Control Valve Seat Leakage, American National Standard

9. ANSI/ISA-75.02.01-2008, Control Valve Capacity Test Procedures, Approved 21 April 2009, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

10. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 21 - Flow Measurement Using Electronic Metering Systems, Section 2 - Flow Measurement Using Electronic Metering System, Inferred Mass; 2000, American Petroleum Institute.

11. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 4 - Proving Systems, Section 3 - Small Volume Provers, First Edition, July 1988, American Petroleum Institute.

12. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 4 - Proving Systems, Section 7 - Field Standard Test Measures, Second Edition, December 1998, American Petroleum Institute.

13. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 4.8 - Operation of Proving Systems, Second Edition, September 2013, American Petroleum Institute.

14. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 7 - Temperature Determination, Section 2 - Dynamic Temperature; 1985, American Petroleum Institute.

15. API Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 4 - Proving Systems, Section 9 - Methods of Calibration for Displacement and Volumetric Tank Provers, Part 2 - Determination of the Volume of Displacement and Tank Provers by the Waterdraw Method of Calibration, First Edition, December 2005, American Petroleum Institute.

16. API Recommended Practice 553 Refinery Valves and Accessories for Control and Safety Instrumented Systems, Second Edition, OCTOBER 2012, American Petroleum Institute

17. API Standard 598 Valve Inspection and Testing, Ninth Edition September 2009, American Petroleum Institute

18. Applied Chemical Process Design, Frank Aerstin and Gary Street, 1989, Plenum Press, New York

19. Basic Operation, OMNI 3000/6000 Flow Computer, Volume 2, June 2007, OMNI.

20. Basics of Explosion Protection, Hazardous Locations, STAHL

21. Basics Operation and Function of Control Valves, -Cashco, 02-99

22. BIPM, JCGM 200:2012, International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition

23. COMMISSION REGULATION (EC) No 97/95 of 17 January 1995

24. COMMISION REGULATION (EC) NO. 1949/95, of 7 August 1995, Official Journal of the European Communities, No. L 187/6

25. Compact Prover, Operating and maintenance instructions, Part Number: 3-9008-701, Rev. J, January 2015, Daniel Measurement and Control, Inc.,

26. Concept Diagrams for International Vocabulary of Terms in Legal Metrology, O. Velychko, XX IMEKO World Congress, September 9-14, 2012, Busan, Republic of Korea.

27. Configuration and Advance Operation, Firmware Revision 20.74/24.74, OMNI 3000/6000 Flow Computer, User Manual, Volume 3, May 2009, OMNI.

28. Considering Control Valve EFFICIENCY, By Jörg Kiesbauer, Ph.D., Domagoj Vnucec, Joseph Dufresne, Jimmy Tsiantopoulos, Flow Control Magazine, July 2014, P30 - P36.

29. Control Valve Handbook, 4th Edition, 2005. FISHER, Fisher Controls International LLC, EMERSON Process Management.

30. Control Valve Primer; A User's Guide, 4th Edition, 2009, Hans D. Baumann, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

31. Control Valve Selection and Sizing, Leslie R. Driskell, June 1983, Instrument Society of America

32. Control Valve Seminar: Most cost effective valve solutions, KOSO, May 2017

33. Coriolis Meter K-Factor Calculation, MC-001949 Rev A, 08/2014, Micro Motion. INC.

34. Correction of Coriolis flowmeter measurements due to multiphase flows, Patent No. US 6,327,914 B1, Date of Patent: Dec. 11,2001

35. Correcting Coriolis Meter for Two Phase Oil & Gas Flow, Chris Mills, NEL, International Flow Measurement Conference 2015, 1-2 July 2015

36. Design Two-Phase Separators Within the Right Limits, W.Y. Svrcek and W.D. Monnery, Chem Eng Prog, October 1993, p. 53.

37. DOE Fundamentals Handbook, Mechanical Science, Volume 2, Module 4 Valves, DOE-HDBK-1018/2-93, U.S. Department of Energy

38. EC type-examination Certificate, Number T10020 revision11, Project number SO16201099, 8 April, 2016

39. Effect of Reynolds Number in Coriolis Flow Measurement, Christof Huber, Michael Nuber and Martin Anklin, , Endress+Hauser Flowtec AG, Switzerland

40. Engineering Data Book, 12th Edition, Vol. 1, Ch. 7 (2004), Gas Processors Suppliers Association, Tulsa, Oklahoma.

41. Engineering Data Book, Valve Basics and Sizing Information Section, Section Vb1: Valve, Johnson Controls., Inc., LIT-347Vb

42. Entrained Gas Handling in Micro Motion Coriolis Flowmeter, WP-00920, 2012, Tim Patten, Joel Weinstein, Michelle Marceny, Micro Motion. INC.

43. Explaining how two-phase flow affects mass flowmeters, WP-00698, 2004, Micro Motion. INC.

44. Flashing and Cavitation, Bert Evans and Richard L. Ritter III, Valve Magazine, Summer 2015

45. Flow Control Manual, 6th Edition, Metso Automation Inc., Finland, 2011

46. Flow Measurement Handbook : Industrial designs, operating principles, performance and applications, ROGER C. BAKER, 2000, Cambridge University Press

47. Flow Measurement: Practical Guides for Measurement and Control, David W. Spitzer, 1991, Instrument Society of America.

48. Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe, Technical Paper No. 410, 2013, Crane Co.,

49. Fluid Mechanic, 7th Edition, Frank M. White, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 2011

50. FLUID MECHANICS with Engineering Applications, Robert L. Daugherty, Joseph B. Franzini and E. John Finnemore, McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,1985

51. Gas-Liquid and Liquid-Liquid Separators, Maurice Stewart and Ken Arnold, 2008, Gulf Professional Publishing.

52. Gas-Liquid Separators – Quantifying Separation Performance Part 1, Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 22 – 29, Aug. 2013.

53. Gas-Liquid Separators – Quantifying Separation Performance Part 2, Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 35 – 47, Oct. 2013.

54. Gas-Liquid Separators – Quantifying Separation Performance Part 3, Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 34 – 47, Dec. 2013.

55. Gas-Liquid Separators Sizing Parameter, Mahmood Moshfeghian, September 2015, Production & Processing Facilities Tip of the Month, PetroSkills, John M. Cambell

56. Gravity Separation Fundamentals and Design, Todd B. Jekel, Douglas T. Reindl and J. Michael Fisher, IIAR 2001 Ammonia Refrigeration Convention & Exhibition Long Beach, CA March 18-21, 2001

57. Guidance Note: Installation and Set-up of Coriolis Mass Flow Meters, NEL. UK, 2011

58. Guidelines for Selecting the Proper Valve Characteristic, Michael C. Headley, Valve Magazine, Volume 15, No. 2 ,Spring 2003.

59. Guidelines for the Selection and Operation of Small Volume Provers (SVP) with Micro Motion High Capacity ELITE CMF Coriolis Flow Meters, MC-001597 REV D, 5/2016, Micro Motion. INC.

60. Hand Book of Mass Measurement, Frank E. Jones, Randall M. Schoonover, CRC Press LLC, 2002

61. Handbook of Valves and Actuators, Valves Manual International, Brian Nesbitt, 2007, Elsevier Science & Technology Books

62. How a Coriolis mass flow meter can operate in two phase (gas/liquid) flow, Manus Henry, Mihaela Duta, Michael Tombs, Hoi Yeung and Wade Mattear, Conference Paper October 2004, ISA

63. Installation, Electronic Preset Delivery System, Smith Meter ® AccuLoad ® III with ALX Firmware, Bulletin MN06135, Issue/Rev. 1.2 (1/14), FMC Technologies.

64. Instrument Engineers' Handbook, Process Control and Optimization Volume II, 4th Edition, Béla G. Lipták, editor-in-chief.,2006, CRC Press

65. International Bureau of Weights and Measures (BIPM), The International System of Units (SI), 8th edition, (2006), http://www.bipm.org/en/si/si_brochure.

66. Introduction of German Legal Metrology Management System, Dr.-Ing. habil. Peter Ulbig, Physikalisch-Technische

Bundesanstalt, OIML Seminar on Legal Metrology Management Systems, Guangzhou, China, 9th – 11th August 2016,

67. ISA S75.01–1985 (R1995), Flow Equations for Sizing Control Valves, Reaffirmed 18 October 1995, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

68. ISA S75.05-1983, Control Valve Terminology, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

69. ISA S75.11–1985 (R1996), Inherent Flow Characteristic and Rangeability of Control Valves, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

70. ISA RP75.23–1995, Considerations for Evaluating Control Valve Cavitation, Approved 2 June 1995, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA)

71. Linearity of Coriolis flowmeters at full scale value, Dr. Jesús Aguilera and Paul Ceglia, 3rd European flow measurement workshop on USM and CFM, Noordwijk, Netherlands, 2015

72. Linearity of Coriolis Mass Flowmeters, Dean Standiford, March 26, 2014, EMERSON

73. Liquid Flow in Control Valves – Choked flow, Cavitation and Flashing, JonMonsen, Ph.D., http: //www.valin.com/resources/ blog / liquid - flow- control-valves-choked-flow-cavitation-and-flashing

74. Liquid-Liquid Coalescer Design Manual, ACS Industries

75. Manfred Kochsiek, Michael Glaser, Comprehensive Mass Metrology, © WILEY-VCH Verlag Berlin GmbH, Berlin (Federal Republic of Germany), 2000

76. Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, Ninth Edition, Edited by Bugene A. Avallone and Thedore Baumeister III, McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,1987

77. Masoneilan Control Valve Sizing Handbook, Bulletin OZ1000, 03/04, Dresser, Inc.

78. Measurement and Control Basics, 3rd Ed, Thomas A. Hughes, The Instrumentation, System, and Automation Society (ISA) 2002

79. Metrology – In Short, 3rd Edition, July 2008, EURAMET

80. Micro Motion® Model 1500 Transmitters with the Filling and Dosing Application, Configuration and Use Manual, P/N 20002743, Rev. B, October 2006, Micro Motion. INC.

81. Micro Motion® Model 2700 Transmitters with Analog Outputs, Configuration and Use Manual, MMI-20019043, Rev AA, March 2012, Micro Motion. INC.

82. Micro Motion® Model CNG050 Compressed Natural Gas Flowmeters, Product Data Sheet, PS-00408, Rev. E, April 2013, Micro Motion. INC.

83. Micro Motion® Technical Overview and Specification Summary Emerson's, Product Data Sheet, PS-00232, Rev T, June 2016

84. Modbus Database Addresses and Index Number, Firmware Revision 20.74/24.74, OMNI 3000/6000 Flow Computer, User Manual, Volume 4, August 2009, OMNI.

85. NOTE ON THE HISTORY OF THE REYNOLDS NUMBER, N. Rott, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Stanford, California., Fluid Mech. 1990.22-1-12

86. OECD/OIML (2016), International Regulatory Co-operation and International Organisations: The Case of the International Organization of Legal Metrology (OIML), OECD and OIML.

87. OIML D1:2004. Elements for a Law on Metrology.

88. OIML R 120, Edition 2010(E) : Standard capacity measures for testing measuring systems for liquids other than water

89. OIML R 35-1, Edition 2007 (E), Material measures of length for general use.

90. OIML R 85-1 & 2, Edition 2008 (E), Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks

91. OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML).

92. OIML V2-200:2007. International Vocabulary of Metrology. – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM).

93. On Selecting Appropriate Control Valves for Pipework Systems, John R.E. Christy, University of Edinburgh, Scotland.

94. On the redefinition of the kilogram, Dr Philippe RICHARD, Federal Institute of Metrology METAS, Switzerland,,2016

95. Operator Reference Manual, Electronic Preset Delivery System, Smith Meter ® AccuLoad ® III, Bulletin MN06129, Issue/Rev. 1.6 (10/11), FMC Technologies.

96. Part I: Verifying Coriolis Flow Meter Calibration, Advanced diagnostics help this technology's reliability, Tom O' Banion, Flow Control Magazine, March 2016

97. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition, McGraw-Hill Companies, Inc. New York, NY, 2008

98. Practical Instrumentation for Automation and Process Control for Engineers and Technicians, IDC Technologies, 2004

99. Practical Process Control, Tuning and Troubleshooting, Cecil L. Smith, 2009, John Wiley & Sons, Inc.

100. Process/Industrial Instruments and Controls Handbook, Gregory K. McMillan (Editor-in-Chief), Douglas M. Considine (Late Editor-in-Chief), 5th Edition, 1999, McGRAW-HILL

101. Product Data Sheet, PS-00374, Rev AE, July 2017, Micro Motion® ELITE® Coriolis Flow and Density Meters

102. Proving Coriolis Flowmeter, October 1998, Micro Motion. INC.

103. PUMP HANDBOOK, Second edition; Edited by IGOR J. KILLIAM C.KRUTZSCH , WARREN H. FRASER and JOSEPH P.MESSINA, McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,1986

104. PUMPS AND PUMPING with particular reference to variable-duty pumps, ION I. IONEL, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo ; 1986

105. Reynolds Number, the Correct Calibration, Characterization and Proving of Flow Meters, T. Cousins, CEEI, 34th International North Sea Flow Measurement Workshop, 25-28 October 2016

106. Shell DEP 31.22.05.11-Gen., MANUAL GAS/LIQUID SEPARATORS - TYPE SELECTION AND DESIGN RULES, December 2007

107. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering", 3rd Edition, William C. Lyons, Gary J. Plisga, and Michael D. Lorenz, 2016, Gulf Professional Publishing.

108. Surface Production Operations Design of Oil Handling Systems and Facilities, Volume 1, 3rd Edition, Ken Arnold and Maurice Stewart, 2008, Gulf Professional Publishing

109. System Architecture and Installation, OMNI 3000/6000 Flow Computer, Volume 1, 50-0000-0001/REV B, OMNI.

110. TC 1 Terminology., W. Kool, Warsaw, 29–30 September 2010, OIML Bulletin, vol. LII, numb. 1, January 2011, p. 36.

111. The Art of Tank Gauging, vW-IN-4416.650-V4, ENRAF B.V.

112. The Best Practices to Improve Performance of Coriolis Flowmeters in Multiphase Applications, Joel Weinstein, 2012, Micro Motion. INC.

113. The Dissemination of Mass in the United States: Results and Implications of Recent BIPM Calibrations of US National Prototype Kilograms, Zeina J. Kubarych and Patrick J. Abbott, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 119 (March 12, 2014)

114. The Effects of Aeration on Coriolis Mass Flow Meters, Reizner, J.R., 2001.

115. The Engineer's Guide to Level Measurement, 2013, Rosemount, Literature Reference number: 00805-100-1034 Rev. BA June 2013.

116. The Kilogram and Measurements of Mass and Force, Z. J. Jabbour and S. L. Yaniv, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 106, Number 1, January–February 2001

117. The National Fire Protection Association (NFPA) Publication 70

118. The Valtek Sizing & Selection Manual, Control Valve Sizing, REV 6/94, VALTEK

119. The Valve Primer, Brent T. Stojkov, 1997, Industrial Press Inc.,

120. The Washing and Cleaning of Kilogram Prototypes at the BIPM, Bureau International Des Poids Et Mesures, G. Girard, 1990

121. Theoretical and Experimental Studies of the Coriolis Mass Flowmeter, G. SULTAN, PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology, March 1990.

122. Time for Calibration?, Jonas Berge, P24-28 CONTROL ENGINEERING ASIA , October 2009

123. Understanding Choked Flow in Fisher™ Valves, Product Bulletin 59.1:095, April 2016, Emerson Process Management

124. Using Structural Integrity Meter Verification to Verify Coriolis Flowmeters, Micro Motion White Paper, WP-00948, Tim Cunningham, Chuck Stack, and Chris Connor, 2007, Micro Motion Inc.

125. Valve Handbook, Philip L. Skousen, 2nd Edition,2004, McGraw-Hill

126. Verification of Coriolis Flow Meter Calibration: Theory and Practice, Including Lab and Field Results, Timothy J. Cunningham, Paper #2015-0164 CsHm 2015, Presented at Canadian School of Hydrocarbon Measurement March 17-18, 2015

127. What Is a Kilogram in the Revised International System of Units (SI)?, Richard S. Davis, DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00285, J. Chem. Educ. 2015, 92, 1604−1609

128. Why Coriolis Devices Measure Reliably in Various Media Properties, Christof Huber, Michael Nuber and Martin Anklin, Endress+Hauser Flowtec AG, Switzerland, The Americans Flow Measurement Conference, 1-2 May 2013

129. Zone Hazardous Location, Publication 800-WP004A-EN-POctober 2001, Allen-Bradley, Rockwell Automation

130. คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่มีไอระเหยของสารไวไฟ, 2548, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม

131. นานาสาระชั่งตวงวัด, จรินทร, สาธิต, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์

132. มารู้จักมาตรวัดมวลคอริออริส, โสภณ , สาธิต, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์