ชตว
CBWM

เล่ม
3

นานาสาระ
ชั่งตวงวัด

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures

นานาสาระ
ชั่งตวงวัด

เล่ม 3

เรียบเรียงโดย

สาธิต ชูสุวรรณ

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

Central Bureau of Weights & Measures

คำนำผู้เรียบเรียง

หลายปีผ่านไป... ตามกาลเวลา ในระหว่างทางเจอปัญหาที่ต้องแก้ไข เจอคำถามที่ดีและคิดว่าน่าจะมีประโยชน์กับทุกคน เจอเนื้อหาที่เราควรรู้เพื่อประกอบการทำงาน เจอเรื่องที่ต้องทำและเตรียมการเพื่ออนาคต เจอ.... และสิ่งที่เจออยู่ทุกวันคือการเปลี่ยนแปลง เราจึงต้องกระหายที่จะเรียนรู้อยู่ตลอดเวลา งานด้านชั่งตวงวัดจึงจะเจริญ เป็นที่พึ่งและรักษาปกป้องผลประโยชน์ของประชาชนในราชอาณาจักรไทยได้

สำหรับ "นานาสาระชั่งตวงวัด เล่ม 3" เล่มนี้เนื้อหาอาจมีสาระหนักไปบ้าง (ซึ่งก็หนักทุกเล่ม...แหละ) แต่มันจำเป็นเพื่อเรียนรู้ และต้องเรียนรู้ตลอดเวลา เช่นเดิม โดยทั่วไปเนื้อหาสาระที่เรียบเรียงมาไม่ได้มีความเชื่อมโยงหรือต่อเนื่องกันเลยเสียทีเดียว อยากจะอ่านเรื่องใดก่อนก็อ่าน ไม่ต้องเรียงบทลำดับก่อนหลัง ไม่ต้องเชื่อในเนื้อที่ปรากฏทุกเรื่องแต่ขอให้คิดตามและค้นคว้าเพิ่มเติมให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ต้องขออนุญาตนำรูปภาพประกอบในหนังสือเล่มนี้จากผู้ที่เป็นเจ้าของภาพมา ณ ที่นี่ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการเรียนรู้และสะสมองค์ความรู้ในงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ของราชอาณาจักรไทย หาใช่หาประโยชน์หรือขายหรือหารายได้ในรูปแบบใดจากหนังสือเล่มนี้แต่อย่างใด

งานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายต้องอยู่ร่วมกับเทคโนโลยีซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ฉะนั้นจำเป็นต้องยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นโดยเฉพาะในสังคมผู้มีความรู้ในปัจจุบัน ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ข้าราชการชั่งตวงวัดและผู้ที่มีความสนใจ

ผู้เรียบเรียง
กระทรวงพาณิชย์
สนามบินน้ำ นนทบุรี

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		
1	ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย	1
2	แนวคิดการออกแบบอาคารปฏิบัติการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรลียมขนาดใหญ่	18
3	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas; LPG)	119
4	“สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ” ใน พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 คือ..หน่วยงานใด?	169
5	เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) และทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)	179
6	ตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัด วันวานที่หวานอยู่	191
7	เล่าสู่กันฟัง 3	204
8	ตรวจสอบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ... แต่มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราหนักไม่ถึงพิกัดกำลังเครื่องฯ (Substitution of Standard Weights)	225
9	เราวัดปริมาตรของไหล (ของเหลว) สถานะเดียว (Single Phase Flow) เท่านั้น	253
10	คุณภาพน้ำประปา... คุณภาพชีวิต... คุณภาพวัสดุมาตรวัดปริมาตรน้ำ	279
11	มาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง (Class) B เดิมจะระบุข้อมูลอย่างไรตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ฉบับใหม่	327
12	แนวคิดการออกแบบระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)	353
หนังสืออ้างอิง (Bibliography)		432

ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย
สำนักชั่งตวงวัด

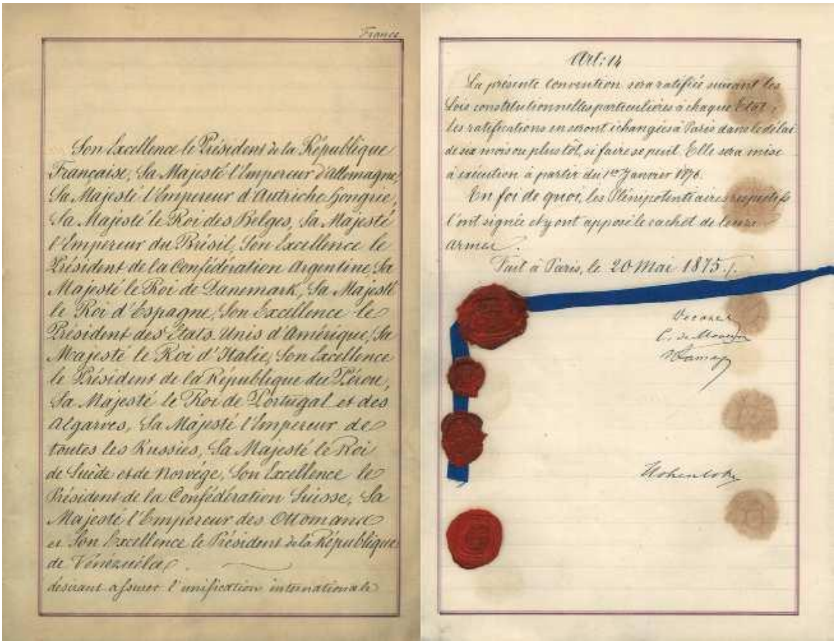
เดิมทีเดียวในประเทศไทยใช้วิธีชั่งตวงวัดกันหลายอย่าง ของไทยเองบ้าง ของจีนบ้าง ของฝรั่งบ้าง ต่างว่าเห็นสะดวกหรือเหมาะอย่างไหนก็ใช้อย่างนั้น นอกจากนี้ในอย่างหนึ่ง ๆ ก็มีพิกัดอัตราไม่แน่นอน การใช้วิธีชั่งตวงวัด ชื่อต่างพิกัดอัตรากันนี้เป็นเครื่องขัดขวางความเจริญในการค้าขาย อีกทั้งเมืองไทยขณะนั้นยังไม่มีกฎหมายควบคุมแต่อย่างใด เกิดความยุ่งยากในเรื่องการซื้อขายข้าวเปลือก ข้าวสาร เพราะเป็นอาหารประจำวันรวมทั้งการค้าขายสินค้าอื่นๆก็เจริญมากขึ้นมีการค้าระหว่างหัวเมืองและกับต่างประเทศ ฉะนั้น พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวจึงมีพระราชปรารภที่จะวางระเบียบการชั่งตวงวัดของประเทศขึ้นให้เป็นหลักฐาน ด้วยงานชั่งตวงวัดเป็นเรื่องของการค้าขาย จึงตกเป็นหน้าที่ของกระทรวงเกษตรพาณิชยการที่จะวางระเบียบในเรื่องนี้ เจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรีซึ่งเป็นเสนาบดีว่าการกระทรวงเกษตรพาณิชยการได้คิดที่จะใช้วิธีมาตราเมตริก เมื่อปี พ.ศ. 2440 แต่ไม่เป็นผลสำเร็จ ต่อมาในปี พ.ศ. 2443 สมัยเจ้าพระยาเทเวศร์วงศ์วิวัฒน์เป็นเสนาบดีกระทรวงเกษตราธิการได้ยกร่าง “พระราชบัญญัติอัตราถังและทะนาน ร.ศ. 119 (พ.ศ. 2444)” ซึ่งเป็นเอาเฉพาะการตวงขึ้นมาพิจารณาเพราะเหตุว่าประเทศสยามมีสินค้าข้าวที่จะต้องตวงซื้อตวงขายเป็นสินค้าสำคัญ ขึ้นทูลเกล้าฯถวาย ในครั้งนั้นสภาเสนาบดีได้ประชุมกันพิจารณาเห็นว่า เมื่อจะแก้ไขแล้วก็ควรจะได้รวมการชั่งและการวัดเข้าไว้ด้วย ในการพิจารณาครั้งนี้ท่านเจ้าพระยาอภัยราชา (M. Rolin Jacqumyns) ที่ปรึกษาราชการแผ่นดินกับนายชเลสเซอร์ที่ปรึกษากฎหมาย ได้เสนอให้ใช้วิธีเมตริกและได้แก้ไขร่าง “พระราชบัญญัติวัดตวงและชั่ง ร.ศ.119” ขึ้นใหม่ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงโปรดให้ตั้งคณะกรรมการขึ้นในปี พ.ศ.2445 เพื่อพิจารณาว่าประเทศไทยควรจะใช้วิธีชั่งตวงวัดใดเป็นมาตรฐานเดียวกันจึงจะเหมาะสม คณะกรรมการที่

ทรงแต่งตั้งขึ้นได้ทำรายงานทูลเกล้าฯ ถวาย เมื่อปี พ.ศ.2448 ว่าควรใช้วิธีเมตริก แต่กระนั้นร่างพระราชบัญญัติดังกล่าวก็ไม่ได้มีผลบังคับใช้แต่อย่างใด เรื่องชะงักไปอีกคราวหนึ่งจนถึง พ.ศ.2452 กระทรวงเกษตราธิการซึ่งในขณะนั้นเจ้าพระยาวงศานุประพันธ์เสนาบดีเป็นเสนาบดีกระทรวงเกษตราธิการ ได้ทำการติดต่อกับสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM)) เพื่อขอเข้าเป็นสมาชิกพร้อมกันนั้นก็ได้ทำหนังสือกราบบังคมทูลพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ว่าเห็นควรที่ประเทศสยามจะเข้าร่วมสัญญาสากลชั่งตวงวัดในวิธีเมตริกหรืออนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ในปี พ.ศ. 2452 ในปีเดียวกัน ในการนี้พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เสนาบดีกระทรวงมหาดไทย เสนาบดีกระทรวงพระคลังและเสนาบดีกระทรวงนครบาล ประชุมปรึกษากันทำความเห็นในเรื่องนี้อีกครั้งหนึ่ง ที่ประชุมทูลเกล้าฯ ถวายรายงานความเห็นเมื่อ พ.ศ.2454 ว่าประเทศไทยเราควรเข้าเป็นสมาชิกเพื่อรับเอาวิธีเมตริกมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบชั่งตวงวัดของประเทศสอดคล้องต้องกันกับประเทศอนารยะทั้งหลายรวมทั้งสภาพการติดต่อค้าขายของภูมิภาคและของโลกและได้ทรงพิจารณาเห็นชอบด้วย

เมื่อปี พ.ศ. 2454 โดยกระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอกรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสนาบดีกระทรวงเกษตราธิการได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) หรือรู้จักในนาม “Treaty of the Metre” และในปีถัดมา พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) ประเทศสยามจึงได้เป็นสมาชิก “Member States” ของอนุสัญญาระบบเมตริก และขอเข้าร่วมเป็นสมาชิกสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) ที่ประเทศฝรั่งเศส

ภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ถูกก่อตั้งด้วยความร่วมมือของ 17 ประเทศก่อตั้งเมื่อ ค.ศ. 1875

ความเป็นมาของอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) หรือรู้จักในนาม “Treaty of the Metre” เกิดจากรัฐบาล 17 ประเทศ



France

Son Excellence le Président de la République Française, Sa Majesté l'Empereur d'Allemagne, Sa Majesté l'Empereur d'Autriche-Hongrie, Sa Majesté le Roi des Belges, Sa Majesté l'Empereur du Brésil, Son Excellence le Président de la Confédération Argentine, Sa Majesté le Roi de Danemark, Sa Majesté le Roi d'Espagne, Son Excellence le Président des États-Unis d'Amérique, Sa Majesté le Roi d'Italie, Son Excellence le Président de la République du Pérou, Sa Majesté le Roi de Portugal et des Algarves, Sa Majesté l'Empereur de toutes les Russies, Sa Majesté le Roi de Suède et de Norvège, Son Excellence le Président de la Confédération Suisse, Sa Majesté l'Empereur des Ottomans et Son Excellence le Président de la République de Vénézuéla,

désirant assurer l'unification internationale

Art. 14

La présente Convention sera ratifiée suivant les lois constitutionnelles particulières à chaque État; 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 International Metric Convention) หรือ รู้จักในนาม “Treaty of the Metre"

(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, 17. Venezuela) ได้ก่อตั้ง The Metre Convention และได้ลงนามร่วมกันในสนธิสัญญาเมตริกขึ้นในวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875) พร้อมกับจัดตั้งหน่วยงานรองลงมาเพื่อปฏิบัติงานอีก 3 หน่วยงานได้แก่ General Conference on Weights and Measures; (CGPM), คณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee on Weights and Measures; CIPM, French: Comité international des poids et measures; CIPM) และสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures หรือ International Bureau of

Weights and Measures; BIPM) ที่ประเทศฝรั่งเศส เพื่อกำหนดนิยามและจัดตั้งแบบมาตราคือ “มวลกับความยาว (international standard for length and mass)” ในเบื้องต้นก่อน โดยรัฐบาลฝรั่งเศษอุทิศที่ดินที่จังหวัด Severes เป็นสถานที่ตั้งที่ทำการสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) ให้เป็นสถานที่เก็บประถมแบบมาตราและบริหารจัดการ ด้วยเหตุนี้กระมังที่โลกและไทยเราถือเอาวันที่ 20 พฤษภาคม ของทุกปีเป็น “วันมาตรวิทยาโลก (World Metrology Day)”

BIPM เป็นสำนักงานและทำหน้าที่ภายใต้การกำกับดูแลของคณะกรรมการบริหารที่มีชื่อว่า “the International Committee for Weights and Measures; CIPM” มีหน้าที่ในการส่งเสริมหน่วยวัดสากลให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจัดการประชุมปีละ 1 ครั้ง ณ สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) CIPM ประกอบด้วยตัวแทนจากประเทศสมาชิกฯ ที่เรียกว่า “Member States” ของอนุสัญญาระบบเมตริกจำนวน 18 คนซึ่งถูกเลือกจากที่ประชุมใหญ่ของประเทศสมาชิกฯ ทั้งหมดของอนุสัญญาระบบเมตริก ที่เรียกว่า “the General Conference on Weights and Measures (French: Conférence générale des poids et mesures, CGPM)” ที่จะประชุมกันทุกๆ 4 ปี ด้วยเหตุนี้เราจึงจะเห็นชื่อหน่วยงาน “BIPM” ในภาษาไทยใช้ชื่อว่า “สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ” ปรากฏในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 หรือ “สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ” ปรากฏในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ก็เพราะว่าประเทศสยามเราได้เข้าร่วมเซ็นต์สนธิสัญญาที่มีชื่อว่า “อนุสัญญาระบบเมตริก” ในรัชสมัยของสมเด็จพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชการที่ 6)

เมื่อรัฐบาลสยามเข้าเป็นสมาชิกสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) ต้องเสียเงินค่าเข้าเป็นสมาชิกเมื่อปี พ.ศ. 2455 และได้จำลอง “แบบประถมตัวมาตรา (Prototype)” จาก BIPM รวมทั้งถ่ายทอดความเที่ยงจากแบบประถมตัวมาตราลงมายังชั้นความเที่ยงต่ำกว่าซึ่งเรียกว่า “แบบมาตรา (Standard)” เพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในประเทศสยามในขณะนั้น ซึ่งในเวลานั้นทั้งแบบประถมตัวมาตรา (Prototype) และแบบมาตรา (Standard)” เก็บรักษาไว้ใน

กระทรวงเศษฐการ

ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าประเทศไทยได้เข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก และรับเอาวิธีเมตริกมาเป็นหลักการชั่งตวงวัดของประเทศตั้งแต่ พ.ศ. 2455 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน

รูปที่ 2 BIPM Logo

ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้มีการก่อตั้งหน่วยงาน 2 หน่วยงานที่สำคัญคือ "สภาเผยแผ่พาณิชย์"♣(1) เมื่อปี พ.ศ.2463 โดยถูกกำหนดให้เป็นหน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ ซึ่งถ้าหากจะเปรียบเทียบกับหน่วยงานที่มีลักษณะอย่างเดียวกันในปัจจุบันแล้ว ก็อาจกล่าวได้ว่าหน้าที่และบทบาทของสภาเผยแผ่พาณิชย์นั้นใกล้เคียงกับ "สภาพัฒนาการเศรษฐกิจแห่งชาติ" และอีกหน่วยงานหนึ่งคือ "ศาลแยกธาตุ" เมื่อปี พ.ศ.2460 ซึ่งถือได้ว่าเป็นหน่วยงานที่ก้าวหน้ามากสำหรับยุคนั้นเพราะมีบทบาทเทียบเท่ากับ "สภาวิจัยแห่งชาติ" ที่เพิ่งก่อตั้งขึ้นใหม่ในภายหลัง

สภาเผยแผ่พาณิชย์ถูกกำหนดให้เป็นหน่วยงานกลางที่ทำหน้าที่ทั้งในด้านการวางแผน การจัดการประสานความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการขยายการผลิต ทั้งในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ทำการคาดคะเนตลาดสินค้า

♣(1) อ้างจากบทความโดย รองศาสตราจารย์อัสมภินพงศ์ ฉัตราคม อาจารย์ประจำคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ต่าง ๆ ทั้งภายในและต่างประเทศ รวมทั้งประสานงานให้การขยายตลาดสินค้าของไทยเป็นไปได้อย่างประสบผล ตลอดจนชี้ช่องทางการลงทุนในด้านต่าง ๆ ที่น่าจะเป็นไปได้แก่เอกชนทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศด้วยซึ่งจุดมุ่งหมายของการก่อตั้งอาจเห็นได้ชัดแจ้งจากข้อความต่อไปนี้

“กุศโลบายของรัฐบาลในการสร้างทางรถไฟและทางหลวง...ได้ตั้งต้นเปิดตาของผู้ที่ใฝ่ใจในความเจริญของบ้านเมือง ทั้งไทยและเทศ ให้เห็นว่าประเทศสยามมีช่องทางที่จะเจริญได้ใหญ่โตเพียงไร และมีความจำเป็นเพียงไรที่จะต้องวางแผนทางการไว้ให้เรียบร้อยในเรื่องนี้ ด้วยความมุ่งหมายดังกล่าวนั้นและด้วยประสงค์ที่จะสหกิจการทั้งปวงของกระทรวงทบวงการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องหรือมีหน้าที่ในการบำรุง ให้กลมเกลียวกัน พระบาทสมเด็จพระรามาธิบดีที่ 6 จึงได้ทรงพระราชดำริโดยพระปรีชาญาณอันสุขุม ให้สถาปนากระทรวงพาณิชย์และสภาเผยแผ่พาณิชย์ขึ้นเมื่อ พ.ศ.2463 ซึ่งสภาฯ นี้ประกอบด้วยกรรมการคือ เสนาบดีกระทรวงพระคลังฯ เสนาบดีกระทรวงเกษตรฯ เสนาบดีกระทรวงพาณิชย์ ผู้บัญชาการรถไฟหลวงแห่งกรุงสยาม อธิบดีกรมสรรพากร อธิบดีกรมศุลกากร อธิบดีกรมทดน้ำ และมีที่ปรึกษา 3 นายคือ ที่ปรึกษาราชการกระทรวงพระคลังฯ ที่ปรึกษาราชการกระทรวงเกษตรฯ และที่ปรึกษาราชการกระทรวงพาณิชย์ ประจำอยู่ด้วยสำหรับปรึกษากิจการทั้งปวง

บรรดากฎหมายและแผนการทั้งหลาย ซึ่งเกี่ยวกับการพาณิชย์หรือการบำรุงพระราชอาณาเขตนั้น ให้เสนอต่อสภานี้ก่อนเมื่อสภาฯ พิจารณาวินิจฉัยแล้ว จึงนำความขึ้นกราบบังคมทูลพระกรุณาต่อไป”

สำหรับหน่วยงาน “ศาลแยกธาตุ” ให้มีหน้าที่ด้านการค้นคว้า วิจัย ทดลองต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายสำคัญที่จะนำทรัพยากรภายในประเทศมาผลิตเป็นสินค้า อันจะเป็นหนทางไปสู่ความเจริญมั่งคั่งทางเศรษฐกิจของชาติต่อไป

ครั้นพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงตั้งสภาเผยแพร่พาณิชย์และกระทรวงพาณิชย์ขึ้นในปี พ.ศ. 2463 นั้นก็โอนงานชั่งตวงวัดมาขึ้นกับสภาเผยแพร่

พาณิชย์ แล้วจึงได้มีพระบรมราชโองการประกาศให้ตราพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดขึ้นใช้เป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2466♣(2) ในการตราพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ได้ทรงมีพระราชปรารภไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

"พระบาทสมเด็จพระรามาธิบดีศรีสินทรมหาวชิราวุธ พระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชดำริห์ว่า พระราชอาณาจักรสยามในเวลานี้ยังไม่มีวิธีชั่งตวงวัดเป็นสมานรูป ซึ่งกำหนดเป็นแบบมาตราและบัญญัติเป็นกฎหมาย สมควรจะมีวิธีเช่นที่กล่าวนี้ขึ้น

อนึ่ง วิธีชั่งตวงวัดของประเทศสยามนั้น ควรอนุโลมตามวิธีแห่งนานาประเทศสุดแต่จะสมกับความประสงค์ภายในพระราชอาณาจักร และวิธีเมตริกนั้นปรากฏว่าได้ใช้กันไพศาลแล้ว

จึงมีพระบรมราชโองการดำรัสเหนือเกล้าฯ สั่งว่า วิธีชั่งตวงวัด ของประเทศสยามนั้นให้เป็นวิธีเมตริก กับให้รวมจำนวนหน่วยที่เป็นประเพณีบางอย่างซึ่งได้ดัดแปลงเข้าหาวิธีเมตริกนั้นแล้วเพิ่มขึ้นชั่วกาลที่จำเป็นยังจะต้องใช้ เพื่อประสพความประสงค์ของภูมิประเทศ"

แม้ว่าการดำเนินงานของสภาเผยแผ่พาณิชย์และศาลแยกธาตุจะประสบผลสำเร็จอย่างน่าพอใจ แต่ปัญหาการขาดแคลนงบประมาณอันเนื่องมาจากวิกฤตการณ์ทางการคลังในช่วงปลายรัชสมัยและตามมาด้วยผลกระทบจากภาวะเศรษฐกิจตกต่ำครั้งใหญ่ทั่วโลกในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ซึ่งมีผลต่อเนื่องมาถึงต้นรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว ทำให้สภาเผยแผ่พาณิชย์และศาลแยกธาตุถูกยุบเลิกไป

พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 มีผลบังคับใช้มาตั้งแต่วันที่ 17 ธันวาคม 2466 โดยมอบหมายให้เสนาบดีกระทรวงพาณิชย์เป็น

♣(2) วารสารกรมทะเบียนการค้า ฉบับที่พิเศษ เนื่องในโอกาสคล้ายวันสถาปนากรมทะเบียนการค้าครบรอบ 55 ปี, 16 มกราคม 2522

เจ้าหน้าที่จัดการทั้งปวงตามพระราชบัญญัตินี้ ต่อมาภายหลังที่ได้มีประกาศพระบรมราชโองการตั้งกรมทะเบียนการค้า (กรมพัฒนาธุรกิจการค้าในปัจจุบัน) ขึ้นในกระทรวงพาณิชย์เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2466 แล้วในปีถัดมาเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2467 จึงได้มีการประกาศกฎเสนาบดีออกตามความในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ขึ้นเป็นฉบับแรก โดยได้กำหนดให้จัดตั้งสำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัดขึ้นในกระทรวงพาณิชย์และให้อยู่ในความบังคับบัญชาของอธิบดีกรมทะเบียนการค้า การบริหารงานชั่งตวงวัดจึงสังกัดอยู่ในกรมทะเบียนการค้ามาตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดที่ประกาศใช้ในครั้งแรกนี้ได้เปลี่ยนแปลงประเพณีการชั่งตวงวัดของคนไทยที่เคยใช้ติดต่อกันมาเป็นเวลาช้านาน มีบทเฉพาะกาลอนุญาตให้ใช้วิธีประเพณีตามที่เคยใช้อยู่ต่อไปอีกได้โดยไม่ผิดกฎหมายอีกระยะหนึ่ง เว้นเสียแต่ผู้ใดมีความประสงค์ที่จะใช้วิธีชั่งตวงวัด หรือเครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัดตามพระราชบัญญัติที่ตั้งขึ้นก่อนก็จะต้องปฏิบัติตามกฎหมายให้ถูกต้อง กรมทะเบียนการค้าซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารให้เป็นไปตามความประสงค์ของกฎหมายจำเป็นต้องรีบดำเนินการโดยมิให้กระทบกระเทือนถึงความเดือดร้อนของประชาชนด้วย ภายหลังที่ได้จัดตั้งสำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัดขึ้นแล้ว ได้รับสมัครรับข้าราชการและทำการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้มีความรู้งานชั่งตวงวัด ซึ่งเป็นของใหม่เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นผู้สอบมาตรา นายตรวจมาตราชั่งตวงวัด และนายทะเบียน ปฏิบัติงานทั้งในสำนักงานกลางและออกปฏิบัติงานในท้องถิ่นต่างๆ เพื่อแนะนำชี้แจงให้ประชาชนเข้าใจวิธีการชั่งตวงวัดตามกฎหมายที่ออกมาใหม่ ซึ่งรวมไปถึงการจัดซื้อแบบมาตราชั่งตวงวัด การจัดทำเอกสารเผยแพร่แจกจ่ายประชาชนให้มีความรู้ความเข้าใจ

ในระยะนั้นเจ้าหน้าที่จะต้องเดินทางรอนแรมออกไปแนะนำชี้แจงแก่พ่อค้าประชาชนทุกท้องที่ทั่วประเทศไทย นับว่าได้รับความลำบากกันมิใช่น้อยเนื่องจากบ้านเมืองยังไม่เจริญ การคมนาคมก็ไม่สะดวกเหมือนในปัจจุบัน การประชาสัมพันธ์ก็กระทำได้ยากต้องใช้ติดประกาศตามย่านชุมนุมชนที่ว่าการอำเภอ และตามวัด เพราะวิทยุกระจายเสียงก็ยังไม่มีแพร่หลาย

สำหรับทางด้านส่วนราชการต่างๆ ก็ได้ขอความร่วมมือให้ใช้วิธีชั่งตวงวัดให้ถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อเป็นการชักนำประชาชนให้เข้าใจและปฏิบัติตามด้วย เช่น การเรียกหน่วยความยาวของทางรถไฟ ถนนหนทาง คูคลองต่างๆ เรียกเป็นจำนวนกิโลเมตร หรือในการออกโฉนดที่ดินที่ยังคงใช้มาตราประเพณีสำหรับพื้นที่ดิน ไร่นาเป็นไร่ งาน เส้น วา ศอก ก็ให้เทียบเข้าหาวิธีเมตริกตามที่กำหนดไว้ในอัตราเทียบกฎหมาย

ปัญหาที่สำคัญก็คือกฎหมายบังคับใช้แล้ว แต่เครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัดที่ถูกต้องตามกฎหมายยังไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดที่ผลิตได้ภายในประเทศมีเฉพาะเครื่องตวงบางชนิด เช่น สัดหลวง (20 ลิตร) ทะนาน (1 ลิตร) และเครื่องวัดความยาวบางชนิด เช่น ไม้วา ไม้เมตร เท่านั้น ส่วนเครื่องชั่งยังไม่มีผู้ใดผลิตขึ้นจำหน่ายเลยต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ครั้งแรกมีผู้สั่งเครื่องชั่งชนิดที่ 3♣(3) ที่มีลักษณะเป็นแบบชั่งจีนแต่คันชั่งเป็นเหล็ก แล้วต่อมาก็มีผู้ผลิตเครื่องชั่งจีนขึ้นโดยใช้ไม้แก้ไขดัดแปลงให้มีลักษณะถูกต้องตามกฎกระทรวงที่กำหนด สำหรับเครื่องชั่งชนิดอื่นๆ ยังคงสั่งเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น เช่น เครื่องชั่งทอง เครื่องชั่งเพชรพลอย เครื่องชั่งยา เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักมากๆที่ใช้ตามโรงสี โรงงานอุตสาหกรรม เพราะยังไม่มีผู้ผลิตขึ้น สำหรับการค้าขายแลกเปลี่ยนสินค้าของประชาชนทั่วไปยังคงเป็นไปตามปกติ ส่วนใหญ่เป็นผลิตผลทางการเกษตร นิยมใช้วิธีตวงเกือบทั้งสิ้น ส่วนผลไม้ก็ใช้วิธีนับจำนวนหรือขายเหมากัน

จนเวลาได้ล่วงเลยมาเกือบ 10 ปี ประชาชนเข้าใจวิธีการชั่งตวงวัดตามกฎหมายกันเป็นส่วนมากแล้ว และมีผู้สั่ง ผู้ทำ ผู้ขาย ผู้ซ่อมเครื่องชั่งตวงวัดได้เริ่มขออาชญาบัตร เพื่อประกอบธุรกิจเป็นการสนับสนุนการใช้เครื่องชั่งตวงวัดพอสมควรแล้ว กรมทะเบียนการค้าจึงได้เสนอกระทรวงพาณิชย์ดำเนินการออกประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้วิธีมาตราชั่งตวงวัดและจำนวนหน่วยกับเครื่องชั่ง เครื่องตวงเครื่องวัด ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ขึ้นเป็นครั้งแรก

♣(3) การแบ่งเครื่องชั่งตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ.2466

ในเขตมณฑลกรุงเทพฯ มณฑลอยุธยา มณฑลราชบุรี และมณฑลปราจีนบุรีเดิม เมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2475 ขยายไปต่อยัง 28 จังหวัด คือ พระนคร ธนบุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นครนายก ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สระบุรี สมุทรปราการ นนทบุรี สมุทรสาคร นครปฐม สมุทรสงคราม ราชบุรี ปราจีนบุรี เพชรบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท ตราด จันทบุรี ระยะอง ลพบุรี นครสวรรค์ สุพรรณบุรี ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี และอุทัยธานี ในวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2478 ได้ออกประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ในจังหวัดอุตตรดิตถ์ ในวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2478 ได้ออกประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ในจังหวัดสวรรค์โลก ในวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2479 ได้ออกประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ในจังหวัดภาคเหนือและภาคอีสาน 26 จังหวัด คือ พิษณุโลก พิจิตร์ เพ็ชรบูรณ์ ตาก เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน แพร่ ลำปาง น่าน นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด มหาสารคาม อุบลราชธานี ขุขันธ์ สุรินทร์ อุดรธานี หนองคาย นครพนม ขอนแก่น สกลนคร และเลย และภายหลังต่อมาก็ได้ขยายเขตการบังคับใช้กฎหมายโดยออกเป็นพระราชกฤษฎีกาอีกหลายคราวด้วยกันจนครบทุกจังหวัดทั่วราชอาณาจักร เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2479 รวมเวลาที่กรมทะเบียนการค้าได้ดำเนินการเผยแพร่การเปลี่ยนแปลงวิธีการชั่งตวงวัดตามประเพณีที่ใช้กันอยู่ตามประเพณีท้องถิ่นต่างๆให้มาใช้วิธีตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดและเตรียมการบริหารงานอยู่เป็นเวลาถึง 13 ปีเศษ

เมื่อได้มีประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้กฎหมายชั่งตวงวัดแล้วนั้นในปีเดียวกันก็ได้จัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดที่ 1 ขึ้นในภาคใต้ก่อนขึ้นที่จังหวัดสงขลา เมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2479 (บางก็ว่า 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2479) สำนักงานสาขาฯ ดังกล่าวมีหน้าที่ควบคุมงานชั่งตวงวัดในท้องที่จังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส และรุ่งขึ้นอีกหนึ่งปีจึงได้จัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดที่ 2 ขึ้นทางภาคเหนือที่จังหวัดลำปาง เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2480 ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้จัดตั้งขึ้นที่จังหวัด

อุบลราชธานี เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2482 ทั้งนี้เพื่อช่วยควบคุมการบริหารงานชั่งตวงวัดในส่วนภูมิภาคให้เรียบร้อย สำหรับในส่วนกลางก็ได้จัดการปรับปรุงงานเพิ่มอัตรากำลังเจ้าหน้าที่ สั่งแบบมาตราเครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัด และเครื่องมือเครื่องใช้สำหรับการปฏิบัติงานจากต่างประเทศให้เพียงพอแก่ความจำเป็น

สำหรับการจัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดในส่วนภูมิภาคได้เว้นระยะไปหลายปี กรมทะเบียนการค้าจึงได้ดำเนินการจัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดเพิ่มขึ้นอีกที่คือจังหวัดอุดรธานี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดนครปฐม จังหวัดชลบุรี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดชุมพร จังหวัดสระบุรี จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดขอนแก่น รวมสำนักงานสาขาชั่งตวงวัดในส่วนภูมิภาคที่ได้ตั้งขึ้นแล้วก่อนหน้านี้ 3 แห่งรวมกันเป็นทั้งหมด 15 แห่งด้วยกัน

หลังจากได้ตราพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ในระยะเวลาต่อมา ได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 อีกรวม 4 ครั้งด้วยกัน ตามพระราชบัญญัติแก้ไขเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

(1) พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2476 แก้ไขเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องคำจำกัดความของจำนวนหน่วย

(2) พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2477 แก้ไขเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องการให้เงินสินบนแก่ผู้จับ ผู้นำจับ หรือนำความมาแจ้งต่อเจ้าพนักงานเมื่อมีผู้กระทำความผิดขึ้น

(3) ประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 171 ลงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2515 แก้ไขเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องของสินค้าหีบห่อ โดยเพิ่มเติมคำจำกัดความของคำว่า “สินค้าหีบห่อ” และ “บรรจุ” เพิ่มเติมอำนาจของรัฐมนตรีให้มีอำนาจกำหนดวิธีการซื้อขายสินค้า กำหนดวิธีการแสดงปริมาณของสินค้าหีบห่อและกำหนดขนาดการบรรจุของสินค้าหีบห้อ รวมทั้งกำหนดอำนาจหน้าที่ของเจ้าพนักงานในการควบคุมสินค้าหีบห่อและกำหนดโทษผู้ฝ่าฝืนกฎหมายในเรื่องเกี่ยวกับสินค้าหีบห่ออีกด้วย

(4) พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด (ฉบับที่ 4) พ.ศ.2526 แก้ไขโดยการ

เพิ่มโทษแก่ผู้กระทำความผิดในเรื่องเครื่องชั่ง เครื่องตวง และเครื่องวัด รวมทั้งการกระทำความผิดในเรื่องสินค้าหีบห่อให้สูงขึ้น

ส่วนกฎกระทรวงที่ออกตามกฎหมายนั้น ปรากฏว่าได้มีการออกบังคับใช้รวมทั้งสิ้น 8 ฉบับ ด้วยกัน

ในปี พ.ศ. 2534 (1991) กองชั่งตวงวัดได้รับการสนับสนุนโครงการ "Upgrading Legal Metrology in Thailand" (Project no. 91.2173.2/PTB no. 8332) จากสหพันธรัฐเยอรมันนี โดยหน่วยงาน Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ใน Action Plan ของโครงการดังกล่าวได้ให้คำแนะนำให้ประเทศไทยเตรียมตัวสมัครเข้าเป็นสมาชิกองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML; International Organization of Legal Metrology) ซึ่งเป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ได้รับความน่าเชื่อถือในด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) เป็นอย่างสูง เมื่อมี Action Plan และชั่งตวงวัดเราเป็นเด็กดี ในปี พ.ศ. 2538 ประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML) โดย กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า ในปัจจุบัน) กระทรวงพาณิชย์ เป็นตัวแทนในนามของประเทศไทยเป็น "สมาชิกสมทบ (Corresponding Members)" ในวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2538 จนถึงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

ณ ช่วงเวลานี้ทำให้กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์จึงเป็นผู้ตั้งงบประมาณประจำปีเพื่อจ่ายค่าสมาชิกประจำปีให้กับสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) และองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (OIML) จนกระทั่งในช่วงประมาณ พ.ศ. 2546 - 2547 ชั่งตวงวัดจึงได้โอนการเป็นสมาชิก BIPM ไปยังสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพราะเนื้อหาสาระและบทบาทหน้าที่ของ BIPM เป็นงานทางด้าน Science Metrology ในขณะที่กองชั่งตวงวัดจะเป็นหน้างานทางด้าน Legal Metrology

รูปที่ 3 OIML Logo

เนื่องจากบริบทของสังคมและเทคโนโลยีของสังคมได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจึงมีความพยายามจัดทำและปรับปรุงพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ให้ทันสมัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 เรื่อยมาโดยกองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์ ได้เสนอร่างพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. .... ต่อรัฐสภาแห่งประเทศเพื่อพิจารณา และร่างพระราชบัญญัติดังกล่าวได้ผ่านการพิจารณาที่ประชุมแห่งสภาทั้งสองคือสภาผู้แทนราษฎรและวุฒิสภา โดยมีมติเห็นชอบร่างฯดังกล่าวเมื่อวันศุกร์ที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 ตามมาตรา 175 (3) ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2540 และได้นำขึ้นทูลเกล้าฯถวายเพื่อพระมหากษัตริย์ทรงลงพระปรมาภิไธย และทรงลงพระปรมาภิไธยเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2542 และมีผลบังคับใช้หลังจากประกาศในพระราชกฎิกา ฉบับกฤษฎิกา เล่ม 116 ตอนที่ 29ก วันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2542 เป็นเวลา 180 วันตามความในมาตรา 93 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 จึงมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2542 เป็นต้นไป

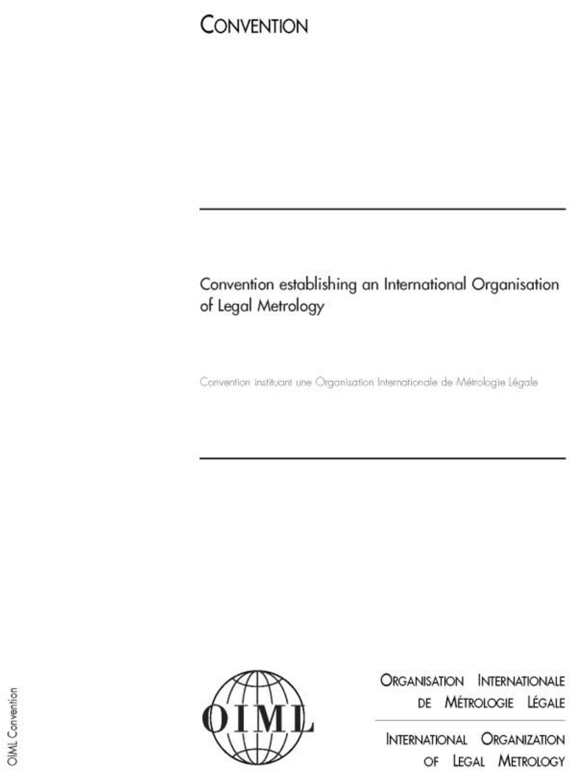
เมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ประเทศไทยโดยสำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ (กองชั่งตวงวัดถูกโอนมาสังกัดกรมการค้าภายในในปี พ.ศ. 2544 จากพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545) ในนามของประเทศไทยยกระดับความเป็นสมาชิกองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตร

วิทยาเชิงกฎหมาย♣(4) (OIML) จากประเภท "สมาชิกสมทบ (Corresponding Member)" เป็นประเภท "สมาชิกสามัญ (Member State)" จนถึงปัจจุบัน...... สนนราคาความเป็นสมาชิกสามัญต่อปีอยู่ที่ 56,000.EUROS เหตุที่นับเอาวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ว่าประเทศไทยมีสถานะ "สมาชิกสามัญ (Member State)" นั้นเริ่มจาก Instrument of Accession (ภาคยานุวัติสาร) ตามที่รัฐมนตรีกระทรวงการต่างประเทศ ลงนาม (ดังในรูปที่ 5) ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 แต่ตามข้อ XXXIV วรรคสองของอนุสัญญาฯ (Convention Establishing an International Organisation of Legal Metrology) ระบุให้อนุสัญญาฯมีผลบังคับกับรัฐที่ได้ภาคยานุวัติ 30 วันหลังจากการมอบภาคยานุวัติสาร ซึ่งสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปารีสได้แจ้งว่าได้ส่งมอบภาคยานุวัติสารต่อรัฐบาลฝรั่งเศสเรียบร้อยเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 ตามหนังสือที่ 15001/17 ลงวันที่ 6 มกราคม ค.ศ. 2016 ดังนั้นแสดงว่าภาคยานุวัติมีผลถัดจากวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 นับไป 30 วัน คือวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ส่วนวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เป็นวันที่มีการแจ้งยืนยันว่าได้รับเงินค่าสมาชิกจากประเทศไทย

งานด้านชั่งตวงวัดนับเป็นงานที่เป็นพื้นฐานและรากฐานของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมงานหนึ่งที่ไม่อาจมองข้ามไปได้ เป็นเวทีอำนวยความสะดวกและการเชื่อมต่อเศรษฐกิจและสังคมตั้งแต่สังคมชุมชนระดับเล็กสุดภายในประเทศขยายเชื่อมต่อไปจนไปถึงระหว่างชาติรัฐในสังคมโลก เนื่องจากหากประเทศใดที่มีระบบงานชั่งตวงวัดไม่เข้มแข็งแล้วจะก่อให้เกิดความสับสนวุ่นวายตลอดจนความสงบเรียบร้อยในสังคมภายในประเทศ อีกทั้งเป็นการยากที่ประเทศนั้นจะสามารถรักษาผลประโยชน์ของประเทศตนเองได้ในเวทีการค้าขายและอุตสาหกรรมของโลก ตลอดจนการ

♣(4) มติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2558 เห็นชอบให้ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นสมาชิกสามัญขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด และให้ปรับเปลี่ยนชื่อภาษไทยของ OIML จาก "องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด" เป็น "องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรวิทยาเชิงกฎหมาย"

ถ่ายทอดเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม งานด้านการแพทย์สาธารณะสุข เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันผู้ผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรมและในภาคสินค้าเกษตรเริ่มได้ผลกระทบจากการกีดกันทางการค้าในรูปแบบของมาตรฐานทางเทคนิคมากขึ้นเนื่องจากระดับเศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของแต่ละชาติรัฐมีความต่างกัน


CONVENTION

Convention establishing an International Organisation of Legal Metrology

Convention instituant une Organisation Internationale de Métrologie Légale

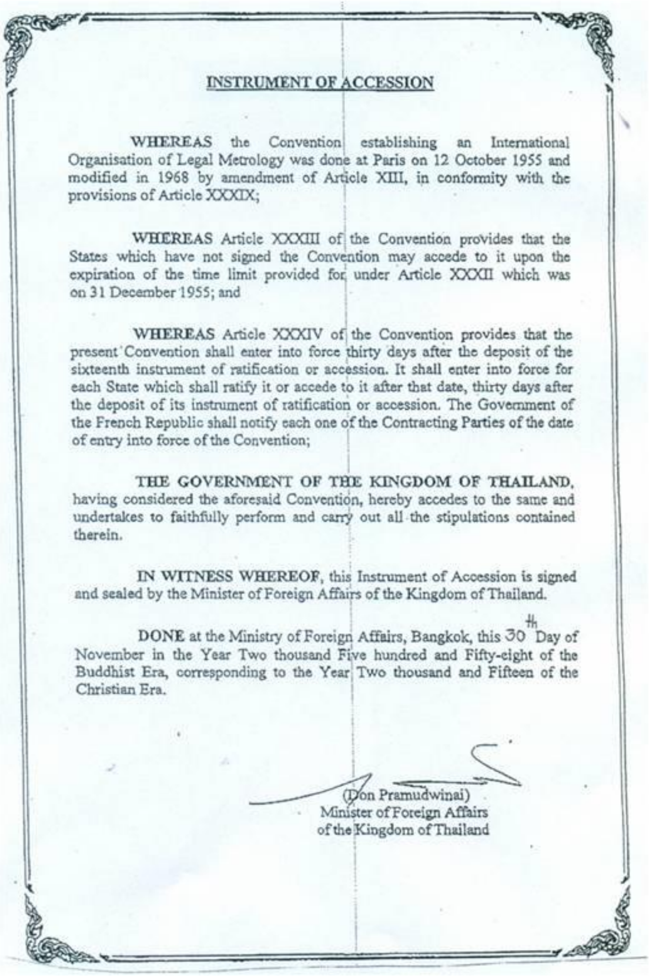
OIML Convention

OIML

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY

รูปที่ 4 อนุสัญญาฯ จัดตั้ง OIML (Convention Establishing an International Organisation of Legal Metrology) OIML



INSTRUMENT OF ACCESSION

WHEREAS the Convention establishing an International Organisation of Legal Metrology was done at Paris on 12 October 1955 and modified in 1968 by amendment of Article XIII, in conformity with the provisions of Article XXXIX;

WHEREAS Article XXXIII of the Convention provides that the States which have not signed the Convention may accede to it upon the expiration of the time limit provided for under Article XXXII which was on 31 December 1955; and

WHEREAS Article XXXIV of the Convention provides that the present Convention shall enter into force thirty days after the deposit of the sixteenth instrument of ratification or accession. It shall enter into force for each State which shall ratify it or accede to it after that date, thirty days after the deposit of its instrument of ratification or accession. The Government of the French Republic shall notify each one of the Contracting Parties of the date of entry into force of the Convention;

THE GOVERNMENT OF THE KINGDOM OF THAILAND, having considered the aforesaid Convention, hereby accedes to the same and undertakes to faithfully perform and carry out all the stipulations contained therein.

IN WITNESS WHEREOF, this Instrument of Accession is signed and sealed by the Minister of Foreign Affairs of the Kingdom of Thailand.

DONE at the Ministry of Foreign Affairs, Bangkok, this 30th Day of November in the Year Two thousand Five hundred and Fifty-eight of the Buddhist Era, corresponding to the Year Two thousand and Fifteen of the Christian Era.

(Don Pramudwinai)
Minister of Foreign Affairs
of the Kingdom of Thailand

รูปที่ 5 Instrument of Accession ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558; OIML

ชตว
CBWM

แนวคิดการออกแบบ
อาคารปฏิบัติการสอบเทียบ
มาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมขนาดใหญ่

บทนำ

การดำเนินงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นจำเป็นต้องมีความพร้อมทั้งในตัวกฎหมายและข้อระเบียบ ที่ออกจากหน่วยงานของรัฐซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ของประเทศ และของภูมิภาค ตลอดจนสภาวการณ์ของโลก และดูเหมือนว่าในประเทศไทยนั้นได้รับผลกระทบและต้องปรับตัวเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิภาคและของโลกได้เกิดขึ้นมาแล้วในสมัยรัชกาลที่ 5 การเร่งปรับปรุงงานด้านกฎหมายชั่งตวงวัด เป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เพื่อการปกป้องผลประโยชน์ของประเทศชาติ อีกทั้งความสงบสุขของบ้านเมือง ผลกระทบและสิ่งกระตุ้นที่รุนแรงดูเหมือนจะมีไม่เกินจากแรงกระตุ้นของการค้าขายระหว่างประเทศซึ่งมีผลประโยชน์มหาศาลและส่งผลคุกคามความมั่นคงของประเทศ

นับจากจากประวัติศาสตร์การค้าทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ ดูเหมือนเป็นสิ่งที่พึ่งเตือนใจแก่ คนรุ่นต่อมาจนถึง ณ ปัจจุบัน โลกาภิวัตน์ของการค้าสินค้าและการบริการส่งผลและมีอิทธิพลอย่างใหญ่หลวงต่องานด้านชั่งตวงวัด แรงกดดันทางการเมืองต่อสถาบันชั่งตวงวัด (ในอดีตเป็นรูปแบบผ่านทาง GATT) ผ่านทาง WTO เพื่อทำให้ขั้นตอนการวัดและแบบมาตรามีความโปร่งใสมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจถึงการรวมงานชั่งตวงวัดให้เป็นมาตรฐานหนึ่งเดียวกันของโลกที่จะตามมา (ตามข้อตกลง TBT ; The Agreement on Technical Barriers to Trade, 1995) และนี้เองดูเหมือนจะเป็นอีกหัวเลี้ยวหัวต่อหนึ่งของงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ว่าจะสามารถปรับตัวและเรียนรู้ได้ตามการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ของโลกและสามารถแสดงบทบาทรักษาและปกป้องผลประโยชน์ของ

ประเทศไทยได้มากน้อยเพียงใด ดังเช่นที่เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 มาแล้ว

ในประเทศที่มีการพัฒนาระบบงานชั่งตวงวัดอย่างดีแล้วระบบดังกล่าวได้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและส่งผลดีต่อระบบการค้าและอุตสาหกรรม (เศรษฐกิจของประเทศ), วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อีกทั้งยังเป็นกลไกสำคัญที่สุดสิ่งแรกสำหรับการคุ้มครองผู้บริโภคทั้งในด้านสุขภาพ แรงงานและสิ่งแวดล้อม และพบว่าบทบาทงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายกำลังเพิ่มบทบาทสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในด้านคุณภาพชีวิต, สิ่งแวดล้อมและการคุ้มครองแรงงาน

แต่อย่างไรแม้มีกฎหมายที่ดีพร้อมมากแค่ไหนแต่ปราศจากการบังคับใช้ให้เป็นผลตามกฎหมายนั้น ๆ แล้วล้วนไม่มีประโยชน์ใด ๆ ทั้งสิ้น จำเป็นต้องมีองค์ประกอบร่วมด้วยหลายปัจจัย ปัจจัยที่สำคัญและหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ บุคลากรชั่งตวงวัดที่ได้รับการพัฒนาฝึกอบรมอย่างดีเพื่อเข้ามาปฏิบัติงานบังคับใช้กฎหมายให้สมบูรณ์ดังเจตนารมย์ ตลอดจนการจัดให้มีสาธารณูประการพื้นฐานด้านชั่งตวงวัดระดับชาติ (National metrological infrastructures) เพื่อเป็นเครื่องมือในการปฏิบัติงานร่วมกันของหน่วยงานต่างๆภายในประเทศ

จากบทความ An efficient metrological infrastructure benefit for industry and society ของ Prof. Dr. M. Kochsiek, A. Odin, Physikalisch - Technische Bundesanstalt, Germany ได้ทำให้เกิดความคิดที่จะกระจายสร้างสาธารณูประการพื้นฐานในด้านชั่งตวงวัดให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการกิจกรรมหลักของแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย การก่อสร้างศูนย์ชั่งตวงวัดวัดประจำภาคทั้ง 4 ภาคของประเทศไทยนั้น นับเป็นการสร้างสาธารณูประการพื้นฐานด้านชั่งตวงวัดเพื่อเสริมสร้างประสานงานของการจัดการเพื่อกระจายสู่ภูมิภาค และให้มีกิจกรรมที่สอดคล้องรวมทั้งรองรับกับลักษณะงานเด่น ๆ ของภูมิภาคนั้น ๆ ด้วย การเล็งเห็นในเรื่องดังกล่าวดังนั้นในการออกแบบศูนย์ชั่งตวงวัดประจำภาค (ศูนย์ฯ) แต่ละภาคนั้นจึงต้องการให้ศูนย์ชั่งตวงวัดประจำภาคแต่ละศูนย์ฯ มีกิจกรรมเด่น และสนองกิจกรรมของภาคนั่นๆ เป็นหลัก ด้วยเหตุนี้ในส่วนของศูนย์ชั่งตวงวัดประจำภาคตะวันออก (The Eastern Verification Center) จึงมีความต้องการออกแบบให้ศูนย์ฯ มีลักษณะ

เด่นในเรื่องของการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองทางด้านปริมาตร และปริมาตรต่อหน่วยเวลา ซึ่งภูมิภาคตะวันออกมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากมายมีการใช้เครื่องชั่งตวงวัดหลากหลาย โดยเฉพาะมาตรวัดปริมาตรของเหลว มาตรวัดก๊าซ ตลอดจนถังสำรองผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมของเหลวขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ซึ่งจะมีอยู่ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ไม่ได้ละเลยกิจกรรมพื้นฐานที่มีอยู่ปกติในแต่ละภูมิภาคนั้นคือเครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัด และสินค้าหีบห่อด้วยเช่นกัน การออกแบบให้มีอาคารปฏิบัติการมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมขนาดใหญ่ภายในศูนย์ชั่งตวงวัดประจำภาคตะวันออกจึงเป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นเพื่อเป็นการปูพื้นฐานงานชั่งตวงวัด ไปตามขั้นตอนของการพัฒนาการซึ่งต้องใช้เวลาอันยาวนานมาก ซึ่งไม่เพียงเป็นการเตรียมความพร้อมเครื่องมืออุปกรณ์แต่เป็นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรชั่งตวงวัด (ซึ่งใช้เวลายาวนานมากและยากที่สุด) ให้มีความคุ้นเคยและเข้าใจในลักษณะงานที่มีเทคโนโลยีสูง ตลอดจนสามารถรองรับกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานกำกับดูแลงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย สมดังเจตนารมณ์ขององค์กร ทั้งยังคาดหวังว่าจะได้เป็นสาธารณูประการพื้นฐานในด้านชั่งตวงวัดร่วมกัน แบ่งปันและใช้ร่วมกันในภูมิภาคอาเซียนอีกด้วย เสมือนเฉกเช่นการแบ่งปันและการใช้สาธารณูประการพื้นฐานในด้านชั่งตวงวัดร่วมกันของกลุ่มประเทศ EU

หนังสือเล่มนี้ตั้งใจจัดทำขึ้นจากเศษกระดาษทดที่เขียนยุ่งเยิงแล้วนำมาประติดประต่อเรียบเรียงและอธิบายถึงสาเหตุของการคิดและการออกแบบ สรุปผลการคำนวณไว้ในตารางบ้าง ตลอดจนเหตุผลของการเลือกวิธีการสอบเทียบและเลือกขนาดและความแม่นยำถูกต้องของแบบมาตรา รวมทั้งการวาง Layout ของสถานที่เพื่อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานและการซ่อมบำรุงรักษา ตลอดจนเรื่องความปลอดภัยเนื่องจากเป็นงานด้านปิโตรเลียม ย้ำว่าตัวผู้เขียนเองกังวลเรื่องความปลอดภัยมากๆๆๆ นอกจากนี้ก็แสดงความคาดหมาย (แต่ไม่เหลวไหล) ว่าจะวางระบบ P&I Diagram อย่างไร เพื่อจะได้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารปฏิบัติการฯ ให้สอดคล้องกัน อีกทั้งต้องคำนึงถึงภาระน้ำหนักของโครงสร้าง, ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้, ระบบห้องควบคุม, สิ่ง

อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ฯลฯ ข้อมูลที่คิดหรือประมาณการนี้เป็นเพียงโครงร่างที่เป็นตัวโครงจริงๆ เพื่อบ่งบอกความต้องการและขอบเขตความต้องการโดยภาพรวมหลักๆ ส่วนในการที่จะลงในรายละเอียดจำเป็นต้องใช้เวลาในการทำงาน Man-hour สูงมากและต้องใช้วิศวกรชำนาญการแต่ละเรื่อง คงต้องมอบให้บริษัทที่ปรึกษา ที่จะมารับงานทำต่อไป ผู้เขียนเพียงคนเดียวทำได้ไม่หมดหรอกครับ เพราะไม่เก่งเสียไปทุกด้าน นอกจากนี้หนังสือเล่มนี้ยังเป็นหนังสือที่ให้เป็นข้อมูลพื้นฐานแก่เจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดที่ให้ความสนใจในเรื่องการออกแบบงานด้านชั่งตวงวัดในกรณีพิเศษ และรอคนที่ดีมีความสามารถมาต่อยอดองค์ความรู้หรือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ผู้เขียนยิ่งดีใจมาก

ข้อมูลเบื้องต้น

จากการสำรวจในเบื้องต้นอย่างคราวๆ พบว่าระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Liquid Metering System) ที่ใช้ในการซื้อขายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตามข้อกำหนดกฎหมายชั่งตวงวัดและการจัดเก็บภาษีอากร (Custody transfer) นั้นส่วนใหญ่มักจะใช้

1. Positive Displacement Meter และ Turbine Meter มักพบในสถานที่ขนถ่ายและซื้อขายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วยทางรถยนต์ และทางรถไฟตามคลังน้ำมันทั้งที่ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ตลอดจนโรงกลั่นน้ำมันซึ่งมีส่วนใหญ่แล้วโรงกลั่นของประเทศไทย จะอยู่ในภูมิภาคตะวันออก นอกจากนี้ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่มีการใช้ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอีกมากมาย แต่หากพิจารณาเฉพาะคลังน้ำมันทั้งที่ขนาดใหญ่และขนาดเล็กตลอดจนโรงกลั่นน้ำมันครอบคลุมทั้งประเทศควรจะอยู่ประมาณ 60 – 80 สถานที่ เนื่องจากเป็นแหล่งต้นตอของการกระจายตัวสินค้าของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไปยังสถานที่หรือโรงงานที่มีกิจกรรมต่อเนื่อง โดยแต่ละสถานที่มีจำนวน PD & Turbine Meter ประมาณโดยคราวๆ ดังสรุปดังในตาราง ที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปจำนวนประมาณการมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (ข้อมูลปี พ.ศ. 2544)

Truck Loading		60 – 80 places
มาตรวัด PD ∅ 4″ และ/หรือ มาตรวัด Turbine ∅ 3″	20 Units/Tank farm or Truck loading	1,200-1,600
มาตรวัด PD ∅ 2″ และ/หรือ มาตรวัด Turbine ∅ 2″	6 Units/Tank farm or Truck loading	360-480

ในส่วนของมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งอยู่ในขอบข่ายของ Custody Transfer ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่สรุปดังในตารางที่ 1 ก็มีอยู่จำนวนมาก แต่ในการออกแบบให้ครอบคลุมช่วงอัตราการไหลที่กว้างมากเกินไป ดูเหมือนจะเป็นเรื่องยากและใช้งบประมาณสูงมากและความพร้อมของเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดยังอยู่ในเงื่อนไขที่ต้องคำนึง ด้วยเหตุนี้การจำกัดช่วงอัตราการไหลของการวัดปริมาตรของเหลวช่วงแคบ ๆช่วงหนึ่งก่อนและเป็นมาตรวัดฯ ที่มีผลต่อเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้างก่อนจึงเป็นเงื่อนไขของการกำจัดขอบเขต

นอกจากนี้มาตรวัดที่มีขนาดใหญ่และอัตราการไหลที่สูงกว่าในตารางที่ 1 ซึ่งใช้วัดปริมาตรของเหลวในระบบท่อซึ่งเชื่อมระหว่างโรงกลั่นน้ำมันกับโรงกลั่นน้ำมันหรือโรงกลั่นน้ำมันกับคลังสำรองน้ำมัน หรือระหว่างคลังสำรองน้ำมันด้วยกันเอง ก็ยังอยู่ในการพิจารณาและดำเนินการสอบเทียบจริงในภาคสนามด้วยแบบมาตรา เช่น Pipe Prover หรือ Compact Prover นอกจากนี้เนื่องจากเป็นการซื้อขายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจำนวนปริมาตรสูงๆ ระหว่างเอกชนด้วยกัน บุคลากรที่เข้าไปเกี่ยวข้องล้วนแล้วแต่มีคุณภาพสูง อีกทั้งใช้บริการ Third Parties ดำเนินการร่วมด้วยการรักษาผลประโยชน์ของเอกชนด้วยกันเองจึงมากเพียงพอสมควรในภาคปฏิบัติ

คุณสมบัติของ Positive Displacement Meter (PD Meter) โดยภาพรวมแล้วประมาณการได้ว่า มาตรวัดที่ใช้งานในกิจกรรมดังกล่าวส่วนใหญ่จะมี Rangeability 10 : 1 to 20 : 1 ซึ่งสรุปข้อมูลทางเทคนิคได้ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Positive Displacement Meter (Rangeability 10:1 to 20:1)

Nominal Diameter	Max. Flowrate m^3/hr. (l/min)	Min. Flowrate 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.

คุณสมบัติของ Turbine Meter โดยภาพรวมแล้วประมาณการได้ว่ามาตรวัดที่ใช้งานในกิจกรรมดังกล่าวส่วนใหญ่จะมี Rangeability 10 : 1 to 15 : 1 ซึ่งสรุปข้อมูลทางเทคนิคได้ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Turbine Meter (Rangeability 10:1 to 15:1)

Nominal Diameter	Max. Flowrate m3/hr. (l/min)	Min. Flowrate 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

2. มาตรวัดมวล (Coriolis Mass Flow Meter)

เนื่องจากเป็นมาตรวัดที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ และกำลังเป็นที่สนใจของภาคเอกชนอยู่จำนวนหนึ่ง ในอนาคตไม่แน่ใจว่ามาตรวัดมวลดังกล่าวจะสามารถทำตลาดและเพิ่มส่วนแบ่งทางตลาดและเข้ามาทดแทนมาตรวัดชนิด PD และ Turbine ได้

หรือไม่แต่อย่างไรมาตรวัด Coriolis Mass Flow Meter ถือเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจมากทีเดียว สามารถอ่านหลักการทำงานของ Coriolis Mass Flow Meter ได้ในหนังสือ “มารู้จักมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters)” โสภณ โอภาสกิตติ, สาธิต ชูสุวรรณ (ปัจจุบัน พ.ศ 2563 มาตรวัด CMF ได้รับความนิยมสูง)

จากการสำรวจเบื้องต้นประมาณการจำนวนมาตรวัดมวลสรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปจำนวนประมาณการมาตรวัด Coriolis Mass Flow Meter (พ.ศ. 2544)

มาตรวัด Coriolis Mass Flow Meter	จำนวนประมาณ	หมายเหตุ
∅ 6″	100	กรมสรรพสามิต
∅ 3″	20-30	
∅ 2″ - ∅ 1/2″	50-60	
∅ 6/8″	-	

คุณสมบัติของ Coriolis Mass Flow Meter โดยภาพรวมแล้วประมาณการได้ว่า มาตรวัดที่ใช้งานในกิจกรรมดังกล่าวจะมี Rangeability 10 : 1 to 25 : 1 ซึ่งสรุปข้อมูลทางเทคนิคได้ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 Coriolis Mass Flow Meter (Rangeability 10 : 1 to 25 : 1)

Nominal Diameter	Max. Flowrate (kg/min)	Min. Flowrate (kg/min)
∅ 6″	11,340	0
∅ 3″	4,536 (Nom. 2,268)	0
∅ 2″	1,451 (Nom. 725.8)	0
∅ 1 1/2″	1,260	65

Remark:

- Accuracy ±0.20%
- Temp. 0-100 °C

3. มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG)

ดูเหมือนเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากในร่างกฎกระทรวงใหม่นั้น ได้ทำการบรรจุเนื้อของ Automatic level gauge เข้าไปด้วยและมีความชัดเจนสอดคล้องกับ OIML R85 (Automatic level gauges for measuring the level of liquid in fixed storage tanks); Class 2 และ Class 3 ระดับความสูงของ ALG ที่ใช้กันอยู่โดยเฉลี่ยแล้ว จะสามารถวัดระดับความสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 10 เมตร ถึง 15 เมตร เป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของจำนวนนั้นพบว่า พอประมาณการ Market Sharing ระหว่าง Direct Contact ALG (Float , displacer) เทียบกับ Automatic Level Gauging ชนิด Radar Gauging ประมาณ 70 : 30 (ประมาณเมื่อ พ.ศ. 2544)

Automatic Level Gauging ชนิด Direct Contact ALG (Float, displacer) อาจประมาณการได้ว่ามีจำนวนโดยประมาณ 30 Units/Tank farm หรือ Refinery Plant แต่อาจมีจำนวนเพียง 10 Units/Tank farm ในกรณีที่เป็น tank farm ขนาดเล็ก ดังนั้นสรุปจำนวนประมาณการโดยรวมของ Automatic Level Gauging ชนิด Direct Contact ALG (Float, displacer) ประมาณ 600 – 700 ชุด มีทั้งชนิดที่เหมาะสมกับงาน custody transfer สำหรับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งคือ OIML R85, Class 2 ซึ่งจะมี Accuracy ± 1 mm. และชนิดที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับ custody transfer ซึ่งมี Accuracy ±5 และ ±10 mm. ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับ custody transfer นั้นเอง ในขณะเดียวกันจำนวนประมาณการของ Radar Gauging ก็ควรมีจำนวนประมาณ 180-200 ชุด แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการนำเทคโนโลยีการจัดการของลานถัง (tank farm) มีแนวโน้มที่จะนำเอา ALG ที่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลไปแสดงผลและประมวลไว้ในห้องควบคุมเพื่อสะดวกต่อการจัดการและ operate และการควบคุมปริมาณสำรองมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเป็นการลดจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานประจำลานถังให้น้อยลง ดังนั้นจำนวนของ ALG จึงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงมากขึ้นในอนาคตซึ่งหากเป็นถังสำรองขนาด

ใหญ่รูปทรงแนวตั้งซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จภายในช่วง 5-10 ปีที่ผ่านมาแถบจะมี ALG ประจำถังสำรองอยู่เกือบแถบทุกถังสำรอง แต่จะมีความแม่นยำเพียงพอต่อการใช้งานใน custody transfer หรือไม่นั้นต้องพิจารณากันอีกที

ตารางที่ 6 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ของ ALG ตาม OIML R85

	Class 2	Class 3
A	0.02%	0.03%
B	0.04%	0.06%
C	2 mm.	3 mm.
D	3 mm.	4 mm.

Remark

A, C apply to the ALG itself, before being install on the tank.

B, D apply to the ALG after installation on the storage tank, for initial and subsequent verification.

การตัดสินใจขอบเขตการออกแบบ

จากข้อมูลที่รวบรวมและสอบถามจากบริษัทที่เป็นผู้ขายมาตรวัดปริมาตรของเหลวและ ALG ผู้ประกอบการบางส่วน และบริษัทที่ดำเนินธุรกิจสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดนั้นถึงแม้เป็นข้อมูลที่หยาบเกินไป (ต้องทำการสำรวจและปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัย; 2563) แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทั้งด้านกำลังคน และงบประมาณก็คิดว่าน่าจะเป็นข้อมูลที่เพียงพอ และอีกทั้งจุดที่ให้ความสนใจนั้นในแง่ของหน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) การจัดให้สำนักงานกลางชั่งตวงวัด (Central Bureau of Weights & Measures) ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐมีสาธารณูประการพื้นฐาน (Metrological infrastructures) สามารถรองรับกิจกรรมด้านปริมาตรของประเทศชาตินับว่าคุ้มค่าในการลงทุนทั้งในแง่อุตสาหกรรม เศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ถูกตีมูลค่าระหว่างการซื้อขายโดยใช้มาตรวัดปริมาตรของเหลวในภูมิภาคตะวันออกนั้นมีมูลค่ามหาศาลมากมาย และยังสะท้อนถึงภาษีอากรที่ทำการจัดเก็บเนื่องจากกิจกรรมดังกล่าวแล้วหากการกำกับดูแลความเที่ยงตรงและมาตรฐานในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตร

ของเหลวรวมทั้งเครื่องชั่งตวงวัดไม่เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือทั้งระดับภายในประเทศและระดับระหว่างประเทศแล้วปัญหาอื่น ๆ ก็จะตามมา คิดต่อเองแล้วกันครับ

การจัดให้มีอาคารปฏิบัติการมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมขนาดใหญ่พร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์นั้นไม่ใช่มีไว้เพื่อที่จะทำการถอดเอามาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่ภายในโรงกลั่น , ลานถัง หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่อเนื่องซึ่งมีอยู่ทั่วประเทศไทยหรือมาตรวัดที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อมาตรวจสอบให้คำรับรองที่อาคารปฏิบัติการฯ แต่อย่างใด หากแต่มีไว้เพื่อสามารถใช้เครื่องมืออุปกรณ์และอาคารปฏิบัติการฯ ไว้สำหรับสอบเทียบแบบมาตราของสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเพื่อใช้ในงานการกำกับดูแลเองแล้วยังใช้เพื่อทำการสอบเทียบแบบมาตราของบริษัทที่ดำเนินธุรกิจตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวขนาดใหญ่, แบบมาตราของผู้ถืออาชญาบัตรซ่อมมาตรวัดปริมาตรของเหลว ตลอดจนแบบมาตราของบริษัทที่เป็นเจ้าของหรือครอบครองมาตรวัดปริมาตรของเหลวขนาดใหญ่ที่มีความต้องการจัดให้มีแบบมาตราเป็นของตนเองเพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานภายใน ตลอดจนมาตรวัดที่เป็นเทคโนโลยีใหม่ๆ หรือมาตรวัดที่อาจมีปัญหาในด้านทางเทคนิคก็สามารถนำมาใช้บริการเครื่องมืออุปกรณ์ภายในศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออก (ชลบุรี) ได้เช่นกัน

เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล การกำหนดให้มีการสอบย้อนกลับ (Traceability) ของการสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรองตลอดจนวิธีการนั้นนับเป็นสิ่งสำคัญ จากวิธีการที่กระทำกันในปัจจุบันการสอบเทียบย้อนกลับไปจากการวัดแบบไดนามิกส์ ไปยังการวัดปริมาตรแบบ static นับว่าให้ความน่าเชื่อถือสูง และหากต้องการความเชื่อถือสูงขึ้นไปอีก ก็จะเป็นการสอบเทียบย้อนกลับไปยังค่ามวลน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราว่าจะใช้เครื่องชั่งหรือ mass comparator ที่มีค่าละเอียดเท่าใด และเลือกตุ้มน้ำหนักแบบมาตร class E1 E2 F1 F2 M1 หรือ M3 ตาม OIML R111

จากการศึกษาและดูงานทั้งในประเทศและต่างประเทศทำให้ตัดสินใจให้มีวิธีการสอบเทียบแบบมาตราด้วยวิธีการที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของมาตรวัดปริมาตร

ของเหลวซึ่งพอสรุปออกเป็นส่วนๆ ได้แก่

การสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรอง PD & Turbine Flowmeter (OIML R117) จะใช้ 4 วิธีการคือ

1. สอบเทียบด้วย Prover Tank
2. สอบเทียบด้วย Master Meter
3. สอบเทียบด้วยเครื่องชั่งความเที่ยงสูง (Weighting Method) แต่ถือไว้เป็นทางเลือกหนึ่ง (Option)
4. สอบเทียบด้วย Portable compact prover (Option)

การสอบเทียบและการตรวจสอบให้คำรับรอง Coriolis Mass Flowmeter จะใช้ 2 วิธีการคือ

1. สอบเทียบด้วยเครื่องชั่งความเที่ยงสูง (Weighting Method)
2. สอบเทียบด้วย Master Meter

แต่เมื่อพิจารณาลักษณะการทำงานและเครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนหลักการทำงานแล้ว ทำให้ต้องคำนึงถึงว่าในปัจจุบันนั้นรถบรรทุกน้ำมันหรือของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดต่าง ๆ เริ่มที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นในการขนส่งน้ำมันหรือของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจากโรงกลั่นน้ำมันหรือลานถัง (tank farms) ไปยังสถานีบริการปั๊มน้ำมันหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่อเนื่องและจากนั้นก็จะขับรถบรรทุกเพื่อขนส่งต่อไปยังอีกสถานีบริการปั๊มน้ำมันอีกที่หนึ่งหรือโรงงานอื่นต่อไป นอกจากนี้ในส่วนของสถานีบริการปั๊มน้ำมันซึ่งมีถังสำรองน้ำมันติดตั้งอยู่ใต้ดินภายในสถานีบริการ ซึ่งถังสำรองน้ำมันดังกล่าวเป็นถังสำรองที่ไม่ได้รับการสอบเทียบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเนื่องจากยังไม่ได้มีกฎหมายควบคุม การวัดปริมาตรของน้ำมันด้วย dip stick ประจำถังสำรองในการวัดปริมาตรรับส่งกันในแต่ละครั้งมักมีปัญหาในเรื่องความถูกต้องแม่นยำในปริมาตรส่งจ่าย จึงพบว่ารถบรรทุกน้ำมันหรือของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ชนิดต่าง ๆ มีแนวโน้มที่จะทำการติดตั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถ เนื่องจากสามารถให้ผลการวัดปริมาตรที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งเมื่อความต้องการน้ำมันหรือของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดต่าง ๆ มีเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณน้ำมันมีจำนวนจำกัดก็จะส่งผลให้ราคาของน้ำมันหรือของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพิ่มสูงมากขึ้นและเมื่อราคาเพิ่มสูงจนกระทั่งระดับหนึ่งแล้วการลงทุนเพื่อป้องกันการสูญเสียในระหว่างกิจกรรมการค้าขายก็ต้องเริ่มเพิ่มบทบาทสูงมากขึ้นเช่นกัน การใช้มาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุกจะเป็นทางเลือกหนึ่ง

ดังนั้นจึงจัดให้มีพื้นที่ของอาคารปฏิบัติการฯ ส่วนหนึ่งไว้สำหรับทำการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งกับรถบรรทุก สามารถขับรถเข้ามารับการสอบเทียบ

การสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งกับรถบรรทุกจะใช้วิธีการตรวจสอบ 2 วิธีการคือ

1. สอบเทียบกับ Prover tanks ซึ่งมีหลายขนาดตามอัตราการไหลทดสอบตาม OIML R117, OIML R120
2. สอบเทียบด้วย Master Meter แต่ถือไว้เป็นทางเลือกหนึ่ง (Option)

เมื่อมาถึงจุดนี้เราจำเป็นต้องแบ่งพื้นที่การปฏิบัติงานออกเป็นกลุ่มเพื่อไม่ให้การปฏิบัติงานอย่างหนึ่งไปกระทบกับการปฏิบัติงานอีกอย่างหนึ่ง การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราจำเป็นต้องการสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ไม่ว่าเรื่องแรงสั่นสะเทือนอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ลักษณะและปริมาณการจัดเก็บของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบ การทำงานที่ต้องการคำนวณการเชื่อมต่อของระบบข้อมูล การนำแบบมาตราเข้าออกจากตัวอาคารปฏิบัติการฯ วิธีการและความเป็นไปได้ในการสอบเทียบแบบมาตราของระบบสอบเทียบเอง การบำรุงรักษาทั้งแบบมาตราและระบบท่อทาง ขนาดถังสำรองเพื่อจัดเก็บของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อัตราการไหลทดสอบ สภาวะอุณหภูมิและความดันของระบบทดสอบ การทดสอบระบบท่อทาง เรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน การควบคุมการรุกไหม้ของเพลิงเบื้องต้น การเข้าไปปฏิบัติงานดับเพลิง (ถ้าหากเกิดไฟไหม้) ลักษณะการเติมของเหลวตัวกลางที่ใช้ในการ

ทดสอบลงในถังสำรองที่ออกแบบไว้จัดเก็บและการดูดเปลี่ยนถ่ายของเหลวออกจากถังสำรองด้วยเมื่อคุณสมบัติทางกายภาพฟิสิกส์ของของเหลวตัวกลางทดสอบเปลี่ยนแปลงไป ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ฯลฯ จึงสรุปแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วนแยกขาดจากกันคือ

1. บริเวณสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุกฯ
2. บริเวณสำหรับสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา และมาตรวัดอื่น ๆ

ขอบเขตการออกแบบทางเทคนิคของระบบสอบเทียบ

ในการออกแบบตัวอาคารปฏิบัติการฯ นั้นมีปัจจัยหลากหลายที่เข้ามาเกี่ยวข้องและต้องพิจารณา แต่ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะปัจจัยหลักที่สำคัญเบื้องต้นในการออกแบบระบบสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทั้งนี้เพื่อความสามารถกำหนดลักษณะตัวอาคารปฏิบัติการฯ ให้เหมาะสมกับการที่ต้องรองรับงานระบบการสอบเทียบได้ใกล้เคียงกับความต้องการให้มากที่สุดเท่าที่กระทำได้ ด้วยกันคือ

1. ชนิดของของเหลวตัวกลางทดสอบ
2. ขนาดมาตรวัดปริมาตรของเหลว ซึ่งรวมถึงอัตราการไหลและความดัน
3. วิธีการสอบเทียบ
4. ชนิดของแบบมาตรา จำนวนและขนาดของแบบมาตรา
5. ขนาดของถังสำรองเพื่อใช้จัดเก็บของเหลวตัวกลางสอบเทียบ
6. สภาวะเงื่อนไขทำงานของระบบสอบเทียบ
7. โหมดการทำงานของระบบสอบเทียบ (Design Modes)
8. การควบคุมอัตราการไหล (Flow control)
9. ระบบท่อ และวาล์ว (Piping System)
10. PUMPS
11. Design Code
12. ข้อกำหนดทั่วไป

ชตว
CBWM

ในเรื่องของความปลอดภัยและการป้องกันไฟไหม้ หรือป้องกันฟ้าผ่านั้นก็ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลและเป็นขอบเขตของการออกแบบตัวอาคารปฏิบัติการฯ ไป

1. ชนิดของของเหลวตัวกลางทดสอบ

เนื่องจากเป็นระบบสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังนั้นการที่จะให้ผลการสอบเทียบที่แม่นยำถูกต้องจำเป็นต้องทำให้มาตรวัดปริมาตรของเหลวในอาคารปฏิบัติการฯทำงานภายใต้สภาวะการทำงานใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริง การเลือกชนิดของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่งและแน่นอนว่าชนิดของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่เลือกใช้นั้นมีคุณสมบัติที่ลุกติดไฟได้ง่ายด้วยเหตุนี้การออกแบบอาคารปฏิบัติการฯ จึงต้องได้รับการออกแบบที่เหมาะสมและสามารถรองรับลักษณะงานดังกล่าวได้อีกทั้งจำเป็นต้องได้รับการจัดการที่ถูกต้องจากบุคลากรที่มีความสามารถด้วยเช่นกัน

อาจมีคำถามขึ้นในใจว่าทำไมไม่ใช้ น้ำ เป็นสารตัวกลางในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวแทนของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ? เป็นคำถามที่ได้สอบถามผู้รู้แล้ว ต่างให้คำตอบที่ใกล้เคียงกันคือหากใช้น้ำ น้ำจะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่แตกต่างจากของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังนั้นหากทำการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวด้วยน้ำแล้วนำไปใช้วัดของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจะก่อให้เกิดผลผิดที่ยอมรับไม่ได้ ถึงแม้จะมีการคำนวณหรือชดเชยด้วยค่าทดแทนต่าง ๆแล้วก็ตามและเป็นลักษณะธรรมชาติประจำตัวของชนิดมาตรวัดปริมาตรของเหลวเองแต่ละชนิดด้วยเช่นกัน ในหลักการที่ถูกต้องเหมาะสมการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดใด ๆ หากต้องการความแม่นยำถูกต้องควรกระทำที่สภาวะเงื่อนไขรวมทั้งปัจจัยอื่น ๆที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดนั้น ๆ เช่นเดียวกับสภาวะเงื่อนไขรวมทั้งปัจจัยอื่น ๆของเครื่องชั่งตวงวัดที่ทำงานนั้นจริง ๆหรือถูกนำไปใช้งาน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีเด่นและมีผลต่อการทำงานและความเที่ยงตรงของมาตรวัดปริมาตรของเหลว คือ ความหนืด ดังนั้น

ในการเลือกชนิดของของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อใช้ในการสอบเทียบจึงตั้งอยู่บนหลักการที่ว่าต้องเป็นของเหลวที่สามารถครอบคลุมช่วงความหนืดได้ด้วยช่วงหนึ่งของความหนืดที่ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมีใช้อยู่ภายในประเทศไทย โดยจากการดูงานช่วงความหนืดที่สถาบัน NMI (Netherlands) ได้กำหนดช่วงความหนืด (kinematics viscosity) ที่น่าสนใจไว้ 3 ช่วงด้วยกัน (ที่อุณหภูมิ 20 °C), density 700 –850 kg/m^3 คือ

- 0.7 cSt (mm^2/s)
- 2.5 cSt (mm^2/s)
- 5.0 cSt (mm^2/s)

เมื่อ 1 centipoise = 0.001 mPa.s, (cSt = centipoise/density in g/cm^3)

แต่เราจะไปหาของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ไหนให้สามารถครอบคลุมช่วงค่าความหนืดทั้ง 3 ได้ ดังนั้นจึงเลือกของเหลวที่สามารถมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับค่าความหนืดที่ต้องการได้และเพียงพอในทางปฏิบัติโดยเรียงตามลำดับสอดคล้องกับค่าความหนืดดังกล่าวข้างบนคือ

- Benzene (No additive)
- Kerosene
- Diesel

สรุปคุณสมบัติค่าความหนืดของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังแสดงไว้ในตารางที่ 7

ในการออกแบบถังสำรองสำหรับจัดเก็บของเหลวตัวกลางทดสอบทั้ง 3 ชนิดนั้นก็ต้องพิจารณาถึงขนาดของถังสำรอง ว่ามีพื้นที่ว่างเพียงพอหรือไม่ นอกจากนี้ยังกังวลในการจัดเก็บด้วยเนื่องจากการจัดเก็บน้ำมันเบนซิล นับว่าค่อนข้างอันตรายมากกว่าเมื่อเทียบกับ Diesel และ Kerosene เนื่องจากความดันไอของน้ำมันเบนซิลสูงและง่ายต่อการติดไฟลุกไหม้ การจัดการที่ดีจำเป็นต้องได้รับจากบุคลลากรที่มีประสิทธิภาพและมีประสบการณ์พอสมควรในเบื้องต้น เนื่องจากถือเป็นการสร้าง

ความพร้อมและปูพื้นฐานและสร้างองค์ความรู้สะสมให้กับเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดที่จะต้องดูแลอาคารปฏิบัติการฯ ดังกล่าว จึงชั่งใจว่าควรตัดการจัดเก็บถังสำรองน้ำมันเบนซิลออกไปก่อนจนกว่าเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องมีความพร้อมและคุ้นเคยกับงานดังกล่าว เนื่องจากเป็นงานครั้งแรกของชั่งตวงวัดตลอดจนมีงบประมาณไม่เพียงพอ และพอมั่นใจว่าสามารถสร้างมาตรฐานการทำงานที่ดีและคุ้นเคยกับการจัดการสารไวไฟมากขึ้น แล้วค่อยมาเพิ่มเติมภายหลังต่อไป หรือก้าวทีละขั้นช้าแต่มั่นใจ

ตารางที่ 7 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)
Mineral Spirits	1.3 cSt. (74 °F)	0.78 (74 °F)

2. ขนาดมาตรวัดปริมาตรของเหลว ซึ่งรวมถึงอัตราการไหลและความดัน

เราไม่สามารถที่จะออกแบบให้ระบบท่อ และปั๊ม ตลอดจนเครื่องมืออุปกรณ์ให้สามารถครอบคลุมการทำงานได้ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวทุกชนิดและทุกขนาดดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 5 เนื่องจากมีข้อจำกัดทั้งพื้นที่ก่อสร้างอาคาร และงบประมาณในการก่อสร้าง อีกทั้งบุคลากรที่ต้องการเวลาในการเรียนรู้และปรับตัว เพื่อเพิ่มและสร้างความรู้สะสม จึงต้องคำนึงถึงจุดเหมาะสมที่เพียงพอและสามารถทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ในระดับหนึ่ง จึงตัดสินใจเลือกขนาด

♣ Diesel ภายในประเทศไทย ข้อมูลจากสำนักน้ำมันเชื้อเพลิง

มาตรวัดปริมาตรของเหลวจากตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 5 เหลือขนาดและสอดคล้องอัตราการไหลดังสรุปไว้ในตารางที่ 8 และตารางที่ 9

ตารางที่ 8 สรุปชนิด, ขนาดและอัตราการไหลที่นำมาพิจารณาในการออกแบบอาคาร

	Max. Flowrate m^3/hr ; (l/min)	Min. Flowrate m^3/hr; (l/min) 20 : 1	10 : 1
PD meter (∅ 6″ - ∅3″)	227 (3,783)	0.23 (3.8)	9.6 (160)
Turbine meter (∅ 4″ - ∅3″)	294 (4,900) - 240 (4,000)	-	10 (1667)

ตารางที่ 9 สรุปขนาดและอัตราการไหลที่นำมาพิจารณาในการออกแบบอาคาร

	Max. Flowrate (kg/min)	Min. Flowrate (kg/min)	Pressure (bar)
Coriolis Mass Flowmeter (∅ 3″ - ∅ 2″)	4,536 (Nom. 2,268)	-	-

Remark: Suction pipe sizing must be oversize one step.

ในส่วนมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับรถบรรทุกจะมีคุณสมบัติดังสรุปไว้ในตารางที่ 10 และดูเหมือนมีอัตราการไหลอยู่ในขอบเขตที่จะสามารถดำเนินการได้ ดังนั้นจึงสรุปขนาดและอัตราการไหลของมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งกับรถบรรทุกได้ดังในตารางที่ 11 เพื่อใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 10 Positive Displacement Meter (Rangeability 10:1 to 20:1)

Nominal Diameter	Max. Flowrate m^3/hr ; (l/min)	Min. Flowrate m^3/hr ; (l/min)	Normal Flowrate	Pressure (bar)
∅ 3″♣	96 (1,600) - 56.78 (950)	0.23 (3.8)	36 (600)	10
∅ 2″♣	22.8 (380)	0.23 (3.8)	21 (350)	10

Remark: Accuracy ±0.15%

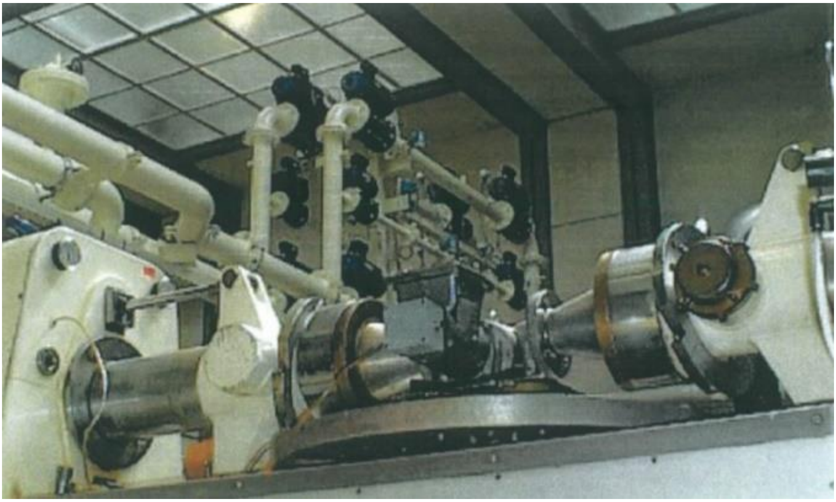
ตารางที่ 11 สรุปขนาดและอัตราการไหลที่นำมาพิจารณาในการออกแบบอาคารในส่วนของมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งบนรถบรรทุกน้ำมัน

	Max. Flowrate m^3/hr ; (l/min)	Min. Flowrate m^3/hr ; (l/min) 20 : 1	10 : 1
PD meter (∅ 3″ - ∅2″)	96 (1,600)	4.8 (80)	9.6 (160)

แต่มีปัญหาหนึ่งที่ยังคาใจอยู่และยากในการออกแบบระบบท่อ นั้นก็คือ ระยะห่างหน้าแปลนถึงหน้าแปลน (flange-to-flange) ของมาตรวัดในกลุ่มเป้าหมายแต่ละขนาด แต่ละยี่ห้อ จะมีค่าความยาวที่แตกต่างกันอยู่ การจัดให้ระบบท่อมี spool pieces มากๆเพื่อสามารถติดตั้งมาตรวัดดังกล่าวเข้ากับระบบท่อดูเหมือนเป็นเรื่องยากแต่ที่สถาบัน NMI (Netherlands) ได้แก้ปัญหาด้วยการเอาระบบไฮโดรลิกส์โดยใช้ท่อทำหน้าที่เป็นทั้งลูกสูบ 2 อัดเข้ากับหน้าแปลนทั้ง 2 ด้านของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการทดสอบและทำหน้าที่เป็นท่อด้วย (ดูรูปที่ 0) ดังนั้นจึงสามารถปรับระยะได้อย่างคล่องตัวแต่ก็อาจมีปัญหาตามมาคือไม่สามารถสร้างแรงดันภายในระบบท่อได้สูงมากนัก หรือสูงเท่ากับความดันทำงานปกติ (operation pressure) ตามที่มาตรวัดถูกนำไปใช้งานจริง ก็เป็นข้อเสียเช่นกัน แต่ดูเหมือนทางสถาบัน NMI (Netherlands) แก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการคำนวณแก้ไขปรับค่าแรงดันดังกล่าว

3. วิธีการสอบเทียบ

จากที่ได้กล่าวไว้ตอนต้นแล้วว่าการสอบเทียบ PD & Turbine Flowmeter และ Coriolis Mass Flowmeter นั้นจะกระทำด้วยวิธีการดังสรุปไว้ในตารางที่ 12, รูปที่ 1 และรูปที่ 2 ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมได้หากพื้นที่ในการปฏิบัติงานไม่เพียงพอและงบประมาณมีอยู่อย่างจำกัด นั้นต้องหาความสมดุลของปัจจัยทีมีอย่างจำกัด เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ปัจจัยอำนวยให้



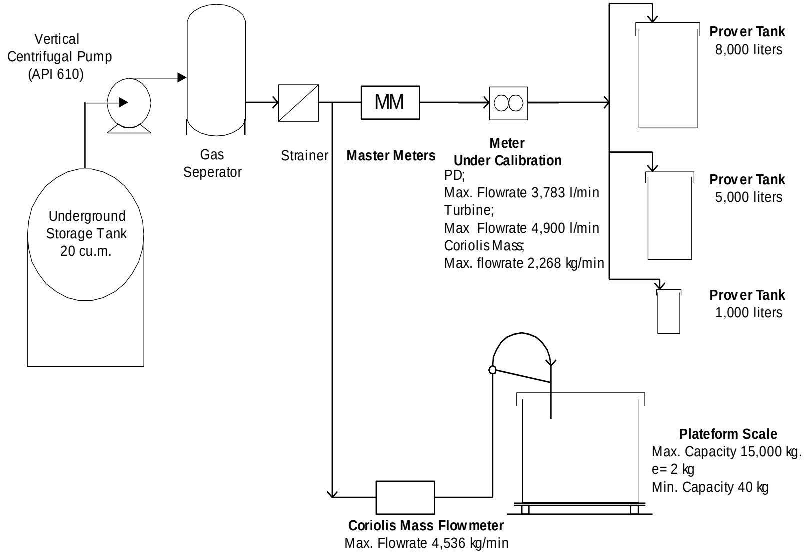
รูปที่ 0 แท่นวางมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการทดสอบจับยึดด้วยระบบไฮโดรลิกส์ซึ่งทำหน้าที่ทั้งจับยึดหน้าแปลนและเป็นท่อส่งของเหลว

ตารางที่ 12 สรุปวิธีการสอบเทียบ

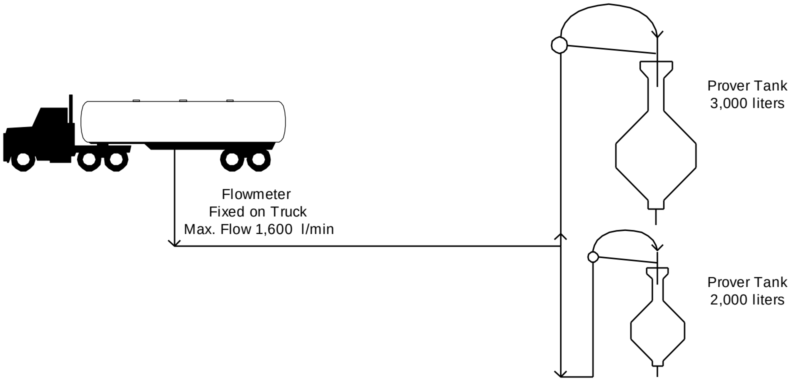
	Master Meter	Prover Tanks	Weighting Method	Compact Prover
Master Meter		Yes	Yes	Yes
Positive Displacement Meter (PD)	Yes	Yes		Yes (Option)
Turbine Meter	Yes	Yes		
Coriolis Mass Flowmeter			Yes	Yes (Option)
Flowmeter fixed on truck	Yes (Option)	Yes		

4. ชนิดของแบบมาตรา จำนวนและขนาดของแบบมาตรา

เราจะพิจารณาไปพร้อม ๆกันทั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter และ Coriolis Mass Flowmeter ตลอดจน Flowmeter fixed on truck ว่าควรจะเป็นอย่างไรโดยพิจารณาเริ่มด้วย



รูปที่ 1 วิธีการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter และ Coriolis Mass Flowmeter (หลังจากผ่านการสรุป)



รูปที่ 2 วิธีการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับรถบรรทุก (หลังจากผ่านการสรุป)

4.1 มาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) จากตารางที่ 12 จะมีเพียงมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter เท่านั้นที่น่าสนใจและเหมาะสมอีกทั้งเป็นไปได้สำหรับเลือกเป็นโหมดการทำงานของการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรอง เนื่องจากการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวทั้ง 2 ชนิดด้วยมาตรวัดแบบมาตราซึ่งมีข้อดีในเรื่องของความสะดวกและรวดเร็วสามารถทำการทดสอบซ้ำได้หลายๆ ครั้งติดต่อกันภายในช่วงระยะเวลาอันสั้นกว่าเมื่อเทียบกับการใช้แบบมาตราอื่น ๆ อีกทั้งยังให้ผลการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองที่น่าเชื่อถือในระดับที่ยอมรับได้ในงานทางด้าน Legal Metrology การสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter ด้วย Master Meter กระทำโดยเอามาตรวัดปริมาตรของเหลวมาต่อกันเป็นแบบอนุกรมกับมาตรวัดแบบมาตรานั้นคือเรียงต่อเชื่อมกันภายในระบบท่อเดียวกันสามารถตรวจสอบการวัด ณ ช่วงเวลานั้นได้หากอยู่ในโหมดการทำงานแบบ real time แต่อาจมีข้อเสียเกิดขึ้นหากขนาดและอัตราการไหลของมาตรวัดแบบมาตราไม่สามารถครอบคลุมช่วงอัตราการไหลของมาตรวัดที่ต้องการทดสอบได้ทั่วถึง จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเราพอที่จะเลือกมาตรวัดแบบมาตราได้ดังสรุปไว้ในตารางที่ 13 แต่หากมีข้อมูลเพิ่มเติมที่ทันสมัยกว่าหรือเหมาะสมกว่าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

4.2 ถังตวงแบบมาตรา (Prover Tanks) ในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวด้วยถังตวงแบบมาตรา สิ่งที่ต้องคำนึงได้แก่ ขนาดพิกัดความจุต่ำสุดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบควรมีขนาดเท่ากับปริมาตรการส่งจ่ายโดยมาตรวัดดังกล่าวภายใต้ระยะเวลาการสอบเทียบอย่างน้อยเป็นเวลา 1 นาที ที่อัตราการไหลทำงาน (normal full flow) อีกทั้งต้องมีค่าความถูกต้องแม่นยำเท่ากับความแม่นยำที่ต้องการสำหรับการสอบเทียบ นอกจากนี้ควรมีขีดขั้นหมายมาตราละเอียดต่ำสุด (discrimination) และความสามารถทำซ้ำได้ค่าหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรที่ทำการวัด นอกจากนี้เราควรคำนึงถึง

- **ความหนืด (Viscosity)** โดยปกติแล้วการใช้ถังตวงแบบมาตราในการสอบเทียบเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดในช่วงระหว่าง 0 - 5 cSt แต่ถ้าหาก

ตารางที่ 13 ขนาดและอัตราการไหลมาตรวัดแบบมาตรา (Master Meter) กับชนิดและขนาดมาตรวัดที่ต้องการทดสอบ

Master Meters Accuracy ±0.04%	**Meter Under Testing Accuracy ±0.15% (0.2%) and ±0.25% (0.3%)♣**
Turbine meter ∅ 4″ (max. flowrate 294-240 m^3/hr.; used. 250 m^3/hr.)	• Turbine meter ∅ 4″ • PD meter ∅ 6″
Turbine meter ∅ 3″ (max. flowrate 125 m^3/hr.)	• Turbine meter ∅ 3″ • PD meter ∅ 4″
Turbine meter ∅ 2″ (max. flowrate 80-60 m^3/hr; avg. 80 m^3/hr.)	• Turbine meter ∅ 2″ • PD meter ∅ 3″
PD meter ∅ 6″ (max. flowrate 230 m^3/hr.)	• PD meter ∅ 6″ • PD meter ∅ 4″

♣หมายเหตุ Meter class 0.3, B และ Meter class 0.5, B

ตารางที่ 14 ลักษณะการติดตั้งของมาตรวัดแบบมาตราเพื่อสามารถสอบเทียบ/ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดที่ต้องการทดสอบกับชนิดของเหลวตัวกลางสอบเทียบ

Medium Liquid	**Master Meter**	**Meter Under Testing**
Kerosene	Turbine meter ∅ 4″	• Turbine meter ∅ 4″ • PD meter ∅ 6″
	Turbine meter ∅ 3″	• Turbine meter ∅ 3″ • PD meter ∅ 4″
	Turbine meter ∅ 2″	• Turbine meter ∅ 2″ • PD meter ∅ 3″
Diesel	PD meter ∅ 6″	• PD meter ∅ 6″, ∅ 4″, ∅ 3″ • Turbine meter ∅ 4″, ∅ 3″, ∅ 2″

สูงกว่า 5 cSt แล้วของเหลวนั้นจะคงรูปตัวเองสูง จึงมักตกค้างอยู่ภายในถังตวงแบบมาตราอันเนื่องจากการที่จะระบายของเหลวดังกล่าวออกให้หมด

จากถังตวงแบบมาตรากระทำได้ยาก ดังนั้นในกรณีที่ของเหลวมีค่าความหนืดสูงกว่า 5 cSt ควรใช้มาตรวัดมาตรฐาน (master meter) ซึ่งได้รับการสอบเทียบมาแล้วก่อนแทนถังตวงแบบมาตราในการสอบเทียบมาตรวัดทั้งนี้ก็เพราะมาตรวัดมาตรฐาน (master meter) ชนิด PD ดังกล่าวแทบไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนืดของเหลวที่ใช้ในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง

- **อุณหภูมิ (Temperature)** สำหรับถังตวงแบบมาตราซึ่งไม่มีฉนวนหุ้ม ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานคือ 0 -50 °C หรือ 32 -122 °F แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นต้องคำนึงถึงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากพบว่าในการใช้ถังตวงแบบมาตราซึ่งไม่มีฉนวนหุ้มเพื่อทำการสอบเทียบมาตรวัดซื้อขายซึ่งวัดผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิต่างกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเกินกว่า 10 °C (18 °F) ก็ให้หยุดดำเนินการสอบเทียบทันที
- **อัตราการไหล** ในทางทฤษฎีไม่มีขีดจำกัดเกี่ยวกับอัตราการไหล แต่ในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดไว้ที่อัตราการไหลประมาณ 300 ม^3/ชม. หรือประมาณ 2,000 บาร์เรลต่อชั่วโมง ดังนั้นถังตวงแบบมาตราตามที่เป็นไปตามข้อกำหนด API/IP จะถูกกำหนดให้มีปริมาตรของถังตวงแบบมาตราสำหรับการสอบเทียบมาตรวัดขนาดไม่น้อยกว่าปริมาณการส่งจ่ายของมาตรวัดจ่ายผ่านมาตรวัดในเวลาหนึ่งนาที เพราะฉะนั้นสำหรับอัตราการไหล 300 ม^3/ชม. ขนาดเล็กสุดของถังตวงแบบมาตราจะเท่ากับ 5 ม^3 (30 อเมริกาบาร์เรล) ซึ่งมีปัญหาในทางปฏิบัติที่ต้องเคลื่อนย้ายถังตวงแบบมาตราซึ่งมีขนาดใหญ่ๆ รวมถึงการติดตั้งและการดูแลรักษาถังตวงแบบมาตราดังกล่าว การเลือกใช้มาตรวัดมาตรฐาน (master meter) สำหรับการสอบเทียบมาตรวัดซึ่งมีอัตราการไหลมากกว่า 300 ม^3/ชม. จึงเป็นตัวเลือกที่น่าพิจารณามากทางหนึ่ง

ในส่วนของการออกแบบระบบสอบเทียบภายในอาคารปฏิบัติการฯ เราจะกำหนดให้ถังตวงแบบมาตราให้เป็นชนิดติดตั้งอยู่กับที่เป็นระบบเปิด เพราะขนาดอาจใหญ่กว่า 5,000 ลิตร

- **ความดัน** จะเห็นได้ว่าถังตวงแบบมาตราส่วนใหญ่จะเป็นระบบเปิดนั้นคือ ความดันภายในถังตวงแบบมาตรามีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ ถังตวงแบบมาตราจึงมีฝาเปิดแต่ถ้าหากมีฝาปิดก็เป็นเพียงฝาปิดป้องกันสิ่งสกปรกตกหล่นลงในถังตวงแบบมาตราเท่านั้น ถังตวงแบบมาตราจึงใช้สำหรับการวัดปริมาตรที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นไม่ว่าภายในมาตรวัดจะมีความดันเท่าไรหลังจากผ่านมาตรวัดดังกล่าวแล้วของเหลวก็จะถูกวัดที่ความดันบรรยากาศ ด้วยเหตุนี้การใช้ตัวแปรแก้ไขค่าปริมาณเพื่อใช้แก้ไขความดันจึงต้องกระทำด้วยความเหมาะสม
- **ชนิดผลิตภัณฑ์** โดยปกติถังตวงแบบมาตราถูกจำกัดให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตามเงื่อนไขของความหนืดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไม่เหมาะสม การเลือกใช้แบบมาตราชนิดอื่น ๆ ที่เหมาะสมควรได้รับการพิจารณาใช้แทนถังตวงแบบมาตรา

4.2.1 ถังตวงแบบมาตราสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Meter หลังจากพิจารณาดังข้างต้นแล้ว สิ่งที่เราต้องการหาคือ

4.2.1.1 ขนาดถังตวงแบบมาตรา ขนาดต่ำสุดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบควรมีขนาดเท่ากับปริมาตรการส่งจ่ายโดยมาตรวัดดังกล่าวภายใต้ระยะเวลาการสอบเทียบอย่างน้อยเป็นเวลา 1 นาที ที่อัตราการไหลทำงาน (normal full flow) นอกจากนี้ควรพิจารณาขนาดของถังตวงแบบมาตรา (Prover tank) เพื่อให้แน่ใจว่าช่วงเวลาที่ของเหลวไหลด้วยอัตราการไหลทดสอบมีเวลายาวนานมากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาที่การปิด-เปิด control vale ทางเข้าถังตวงแบบมาตราเพื่อให้ได้อัตราการไหลที่กำหนดและเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ จึงกำหนด criteria ดังนี้

$$\text{Max. Volume of Prover Tank} = 2\text{min.} \times Q_{max}\ (\text{l/min})$$

ตารางที่ 15 ค่าปริมาตรสูงสุดในการทดสอบมาตรวัดแบบมาตราแต่ละชนิดและขนาด

Meter under testing	**2min. x Q_{max}**	**2min. x (Q_{max}+ Q_{min})/2**	**2min. x Q_{min}**
Turbine meter ∅ 4″ Q_{max} = 250 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 137.5 m^3/hr Q_{min} = 25 m^3/hr	8,333 l **8,000 l**	4,566 l **5,000 l**	833 l **1,000 l**
Turbine meter ∅ 3″ Q_{max} = 125 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 67.5 m^3/hr Q_{min} = 10 m^3/hr	4,1666 l **4,000 l**	2,250 l **2,000 l**	333 l **500 l**
Turbine meter ∅ 2″ Q_{max} = 80 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 44 m^3/hr Q_{min} = 8 m^3/hr	2,666 l **3,000 l**	1,466 l **1,500 l**	266 l **200 l**
PD meter ∅ 6″ Q_{max} = 250 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 137.5 m^3/hr Q_{min} = 25 m^3/hr	7,566 l **8,000 l**	4,161 l **5,000 l**	756 l **1,000 l**
PD meter ∅ 4″ Q_{max} = 136 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 74.8 m^3/hr Q_{min} = 13.6 m^3/hr	4,533 l **5,000 l**	2,493 l **3,000 l**	453 l **500 l**
PD meter ∅ 3″ Q_{max} = 96 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 52.8 m^3/hr Q_{min} = 9.6 m^3/hr	3,200 l **3,000 l**	1,760 l **2,000 l**	320 l **500 l**

Remark: ตัวอักษรทึบเป็นค่าที่ปัดค่าแล้วโดยประมาณการ

แต่เนื่องจากเราต้องกำหนดขนาดของถังสำรองเพื่อจัดเก็บของเหลวสำหรับการสอบเทียบทั้งหมด จึงกำหนด criteria ดังนี้

Max. Volume of Underground Storage Tank

= (2 x 2min. x Q_{max}) + Piping Length

ดังนั้นหากพิจารณามาตรวัดแบบมาตราที่ต้องการทดสอบทั้งชนิดและขนาดที่มีอัตราการไหลแตกต่างกันเราจะพอสรุปค่าได้ดังในตารางที่ 15 และถ้าหากแบ่งพิจารณาแยกออกไปตามชนิดของมาตรวัดแล้วก็สามารถสรุปไว้ดังในตารางที่ 15.1 และตารางที่ 15.2 โดยพิจารณาขนาดมาตรวัดพร้อมกันทั้ง 2-3 ขนาด เราจะได้ขอบเขตบนและล่าง นั้นคืออัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุด ตลอดจนอัตราการไหลปกติใช้งาน

ตารางที่ 15.1 Turbine meter ต้องการถังตวงแบบมาตราขนาด

Max. Vol.		Min. Vol.
8,000 l		
4,000 l	5,000 l	
3,000 l	2,000 l	1,000 l
	1,500 l	500 l
		200 l

ตารางที่ 15.2 PD meter ต้องการถังตวงแบบมาตราขนาด

Max. Vol.		Min. Vol.
8,000 l		
5,000 l	5,000 l	
3,000 l	3,000 l	1,000 l
	2,000 l	500 l
		500 l

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากในตารางที่ 15, 15.1 และ 15.2 เราจึงแบ่งกลุ่มของถังตวงแบบมาตราออก ได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 จัดกลุ่มถังตวงแบบมาตราตามพิกัดกำลังออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ

Prover Tank I	Prover Tank II	Prover Tank III
8,000 l☸	5,000 l	1,000 l
4,000 l 5,000 l	2,000 l 3,000 l	500 l
2,000 l	1,000 l	200 l

☸ Special case

เราพบว่าเกิดสิ่งที่น่าสนใจขึ้นในขนาดของถังตวงแบบมาตรา นั้นคือปกติแล้วงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ไม่ว่าจะเป็นพิกัดกำลังของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา หรือขีดขั้นหมายมาตราเพื่อแสดงค่าของส่วนแสดงค่า รวมทั้งขนาดถังแบบมาตราจะมีลักษณะที่อยู่ในรูปเป็นเลขจำนวนเต็มที่อยู่ในรูปของ 1×10^n, 2×10^n , และ 5×10^n เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มและศูนย์ แต่ในที่นี้พบว่ามีถังตวงแบบมาตราพิกัดกำลัง 8,000 ลิตร, 4,000 ลิตร กับ 3,000 l ซึ่งมีขนาดไม่เป็นไปตามหลักการดังกล่าว เราจะพิจารณากันต่อในตอนต่อไปว่าจะมีการตัดหรือเพิ่มขนาดของถังตวงแบบมาตราเป็นอย่างไรกัน

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นว่าข้อควรคำนึงในการใช้วิธีสอบเทียบที่ใช้ถังตวงแบบมาตราเป็นแบบมาตรานั้น ความหนืด (Viscosity) จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานและความถูกต้องแม่นยำสูงซึ่งโดยปกติแล้วการใช้ถังตวงแบบมาตราในการสอบเทียบเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดในช่วงระหว่าง 0 - 5 cSt แต่เมื่อเรามาพิจารณาในส่วนของธรรมชาติและพฤติกรรมของตัวมาตรวัดเองแล้ว เรายังพบอีกด้วยว่าความหนืดของเหลว มีผลต่อการทำงานและความแม่นยำถูกต้องของมาตรวัดชนิด Turbine meter มากเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD meter นั้นแทบจะไม่ได้รับผลกระทบต่อการทำงานและความแม่นยำมากเท่าใดนักจากความหนืดของเหลวที่ใช้เมื่อเทียบกับมาตรวัดชนิด Turbine meter เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเลือกขนาดของถังตวงแบบมาตราเราพบว่าได้แก่ ความหนืดของของเหลวที่ใช้เป็นของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบซึ่งก็คือชนิดของเหลว, ชนิดและขนาดของมาตรวัดซึ่งจะสะท้อนไปถึงอัตราการไหล รวมทั้งอุณหภูมิและความดันขณะทำการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง ล้วนแล้วมีผลต่อการตัดสินใจต่อการกำหนดขนาดถังตวงแบบมาตรา เมื่อพิจารณาและชั่งใจแล้วจึงตัดสินใจเลือกใช้ขนาดถังตวงแบบมาตรา, ชนิดและขนาดของมาตรวัด และชนิดของเหลว สรุปเป็นความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 17

จึงกำหนดให้มีถังตวงแบบมาตรา 2 ชุดต่อของเหลว 2 ชนิด คือ Kerosene และ Diesel ดูเหมือนเราเริ่มต้องตัดญาติขาดมิตรกับน้ำมันเบนซิล สำหรับใช้เป็น

ของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

ตารางที่ 17 สรุปชนิดของเหลวตัวกลางทดสอบ, ชนิดและขนาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลว และขนาดถังตวงแบบมาตรา

	Prover Tank I	Prover Tank II	Prover Tank III	Liquid
Turbine meter ∅ 4″	♦			Kerosene (Diesel)
Turbine meter ∅ 3″		♦		Kerosene (Diesel)
Turbine meter ∅ 2″		♦	♦	Kerosene (Diesel)
PD meter ∅ 6″	♦			Diesel (Kerosene)
PD meter ∅ 4″		♦		Diesel (Kerosene)
PD meter ∅ 3″		♦	♦	Diesel (Kerosene)

และในการออกแบบระบบก็ควรออกแบบให้สามารถตรวจสอบมาตรวัดชนิด Turbine กับ PD สามารถสอบเทียบด้วยของเหลวทั้ง 2 ชนิดคือ Kerosene และ Diesel ได้ด้วย เพราะมาตรวัดปริมาตรของเหลว Turbine บางชนิดอาจได้รับการออกแบบเพื่อใช้วัดอัตราการไหลของเหลวที่มีค่าความหนืดสูงได้เช่นกัน

4.2.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The Neck Diameter of Prover Tank) เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราต้องกว้างเพียงพอ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการล็อกของของเหลวหรืออากาศ (Vapor Lock) ขณะใส่ของเหลวลงไปหรือถ่ายของเหลวออกอีกทั้งต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับการทำความสะอาดและตรวจสอบภายในถังตวงแบบมาตราได้ แต่ขณะเดียวกันขนาดของคอถังตวงแบบมาตราก็ต้องมีขนาดเล็กเพียงพอต่อการวัดปริมาตรด้วยความเที่ยงตรงตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด อีกทั้งมีความไวและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราได้รวดเร็วและง่ายต่อการอ่านค่าปริมาตรภายในถังตวงแบบมาตรา ในแง่ของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราให้ได้ระดับก็จำเป็นต้องให้ความสนใจเช่นกันเนื่องจากหากคอถังใหญ่เกินไปผลผิดของการอ่านค่าเนื่องจากอิทธิพลของความลาดเอียงของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราก็มีผลมากกว่าถังตวงแบบมาตราที่มีคอถังขนาดเล็กกว่า ดังนั้นอาจพอกำหนดได้ว่า *“ความแตกต่าง*

ของระดับของเหลวภายในคอเครื่องตวงแบบมาตราอย่างน้อยที่สุด 3 มม. จะต้องมีค่าเท่ากับค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราที่พิกัดนั้น ๆ” (OIML R120) และปรับใช้ตามสมการข้างล่างก็สามารถกระทำได้

แต่สำหรับงานนี้แล้ว ดูแล้วเป็นเรื่องยากมากที่จะออกแบบถังตวงแบบมาตราให้มีลักษณะเหมือนถังตวงแบบมาตราลักษณะทั่วไปที่พบเห็นอยู่ เช่นขนาด 1,000 l, 2,000 l หรือ 3,000 l เป็นต้น การออกแบบถังตวงแบบมาตราในกรณีจึงต้องทำการออกแบบเป็นพิเศษ

แต่เนื่องจากการกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราเป็นเรื่องที่มีความยืดหยุ่นเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราพอกำหนดให้มีขนาดได้ในช่วงกว้างช่วงหนึ่งดังนี้คือ

$$\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}} \leq \frac{\Delta h}{\text{MPE.}} \leq \frac{30\text{mm.}}{\text{MPE.}}$$

เมื่อ

Δh = ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอถังตวงแบบมาตรา (mm.)

MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

พิจารณากรณีถังตวงแบบมาตราสำหรับ Meter class 0.3 , OIML R117
คาดว่าใช้ตรวจสอบให้คำรับรองและสอบเทียบมาตรวัด Meter class 0.3 , OIML R117 (MPE A=0.3%, B=0.2%) นั้นคือหากเราทดสอบเฉพาะตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 ,OIML R117 นั้นหมายถึงจะมี Maximum Permissible Error (MPE) เท่ากับ 0.2% แต่หากทดสอบระบบทั้งระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว จะยอมให้มี MPE เท่ากับ 0.3% ดังนั้นโดยหลักการแล้วควรเลือกถังตวงแบบมาตรา (Prover tank) สำหรับสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดดังกล่าวให้มี MPE ที่มีค่าความแม่นยำสูงกว่ามีค่าระหว่าง 3 - 10 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 ,OIML R117 (สำหรับ Verification แนะนำ MPE ที่มีค่าความแม่นยำสูง

กว่า3, Type Evaluation และ Pattern Approval แนะนำ MPE ที่มีค่าความแม่นยำสูงกว่า 5) ในที่นี้ตั้งสมมุตติฐานให้ถังตวงแบบมาตรามีความแม่นยำถูกต้องสูงกว่ามาตรวัดที่ต้องการทดสอบด้วยจำนวน 6 เท่า (ตารางที่ 18) ซึ่งประมาณการเท่ากับ

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{6}[MPE_{meter}] = \frac{1}{6}[0.2\%]$$
$$= 0.03\%$$

ซึ่งอาจถือได้ว่ามีความแม่นยำสูง หรืออาจเทียบเท่าแบบมาตราแห่งชาติ ซึ่งต้องใช้ถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดกำลัง 1,000 ลิตร และ 2,000 ลิตร ที่มีความถูกต้อง 0.02% สำหรับสอบเทียบถังตวงแบบมาตราที่มีความแม่นยำ 0.03% ซึ่งออกจะเป็นการยากที่จะกระทำได้ ในความพร้อมที่มีในขณะนี้ทั้งงบประมาณ, จำนวนและคุณภาพของบุคลากรที่มีในสภาวะปัจจุบัน แต่ขอหวังว่าเราน่าสามารถทำได้และยังคงต้องการเลือกเงื่อนไขที่กำหนดให้ถังตวงแบบมาตรา (Prover tank) มี MPE ที่มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 6 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 (B= 0.2%), OIML R117 (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 6 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 (B= 0.2%), OIML R117

Prover Tank I	MPE. Prover Tank	Sensitivity	
		Type I $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$	Type II Better Choice
8,000 l	= 0.03% x 8,000 = 2.4 liters	2.4 l/cm	250 cc/cm
5,000 l	= 0.03% x 5,000 = 1.5 liters	1.5 l/cm	100 cc/cm
3,000 l	= 0.03% x 3,000 = 0.9 liters	0.9 l/cm	100 cc/cm
2,000 l	= 0.03% x 2,000 = 0.6 liters	0.6 l/cm	50 cc/cm
1,000 l	**= 0.03% x 1,000 = 0.3 liters**	**0.3 l/cm**	**20-30 cc/cm**
500 l	= 0.03% x 500 = 0.15 liters	0.15 l/cm	10 cc/cm
200 l	= 0.03% x 200 = 0.06 liters	60 cc/cm	5 cc/cm

พิจารณา ถังตวงแบบมาตรา 8,000 ลิตร ในตารางที่ 18

เมื่อ 1 ml. = 1 cm^3 = 1000 mm^3

ดังนั้น 12 ml. = 12×10^3 mm^3

MPE. = 2.4 l = 2.4 x 1,000 x 1,000 mm^3

ดังนั้นเรากำหนดให้พิจารณาเงื่อนไขของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราที่ $\frac{24\ \text{mm.}}{\text{MPE.}}$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} \times \Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h} \times \frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{2.4\times10^6}{24} \times \frac{4}{\pi} = 3055774.907\ \text{mm}^2$$

$$D = 1748.07\ \text{mm.}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 8,000 ลิตร มีขนาดเท่ากับ 174.8 เซนติเมตร หรือมี Sensitivity เท่ากับ 2.4 ลิตร/2.4 เซนติเมตร หรือ 1ลิตร/ 1 เซนติเมตร

แต่หากพิจารณาในกรณีที่สำนักงานกลางชั่งตวงวัดไม่สามารถทำได้ อาจจะด้วยสาเหตุใดก็ตามและหากมองในความพร้อมและเพื่อเตรียมการเพื่ออนาคตสามารถกระทำได้เราอาจลดระดับความแม่นยำของถังตวงแบบมาตราลงเหลือเพียง 3 เท่าของมาตรวัดนั้นคือ

$$\begin{aligned} MPE_{\text{Prover tank}} &= \frac{1}{3}[MPE_{\text{meter}}] = \frac{1}{3}[0.2\%] \\ &= 0.06\% \end{aligned}$$

สรุปได้ดังในตารางที่ 19

ตัวเลขที่ได้พอที่จะสามารถใช้ถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดกำลัง 1,000 ลิตร และ 2,000 ลิตร ที่มีความถูกต้อง 0.03% สำหรับสอบเทียบถังตวงแบบมาตราที่มีความแม่นยำ 0.06% ได้ แต่ก็เป็นการเตรียมการในแง่ของหากไม่สามารถทำได้ดังในตารางที่ 18

ตารางที่ 19 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 3 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 (B= 0.2%), OIML R117

Prover Tank l	**MPE. Prover Tank**	**Sensitivity** $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$
8,000 l	= 0.06% x 8,000 = 4.8 liters	4.8 l/cm
5,000 l	= 0.06% x 5,000 = 3.0 liters	3.0 l/cm
3,000 l	= 0.06% x 3,000 = 1.8 liters	1.8 l/cm
2,000 l	= 0.06% x 2,000 = 1.2 liters	1.2 l/cm
1,000 l	**= 0.06% x 1,000 = 0.6 liters**	**0.6 l/cm**
500 l	= 0.06% x 500 = 0.3 liters	0.3 l/cm
200 l	= 0.06% x 200 = 0.12 liters	0.12 l/cm

สำหรับศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออก อย่างน้อยสุดควรเลือกตารางที่ 18 เป็นหลักและไม่ควรให้ขั้นหมายมาตราเล็กไปกว่านี้ เพื่อยังคงให้รักษาระดับความสามารถในการตรวจสอบให้คำรับรองหรือสอบเทียบมาตรวัด Class 0.3, OIML R117 และ class 0.5, OIML R117 ได้

ในส่วนของการออกแบบพบว่าเป็นเรื่องยากที่จะออกแบบถังตวงแบบมาตราด้วยวิธีการปกติหรือในรูปแบบถังตวงแบบมาตรารูปแบบทั่วไป เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราเล็กมากเมื่อเทียบกับปริมาตรดังนั้นอาจต้องใช้หลักการแทนที่น้ำ หรือปรากฏการณ์ยูเลคา โดยทำเป็น pontoon เพื่อลดปริมาตรพื้นที่หน้าตัดบริเวณที่แสดงพิกัดกำลังที่ต้องการวัด เพื่อทำให้พื้นที่หน้าตัดน้อยลง เพื่อสามารถทำให้เป็นการจำลองเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา แต่ทั้งนี้ต้องมั่นใจว่า Pontoon ที่ออกแบบแทนที่น้ำดังกล่าวไม่มีการรั่วไหล และไม่ไปบังท่อทางเข้าตัวถังด้วยเช่นกัน รวมทั้งไม่เป็นที่กักเก็บของเหลวใดๆ ขณะทำการระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตรา (ดูรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2)

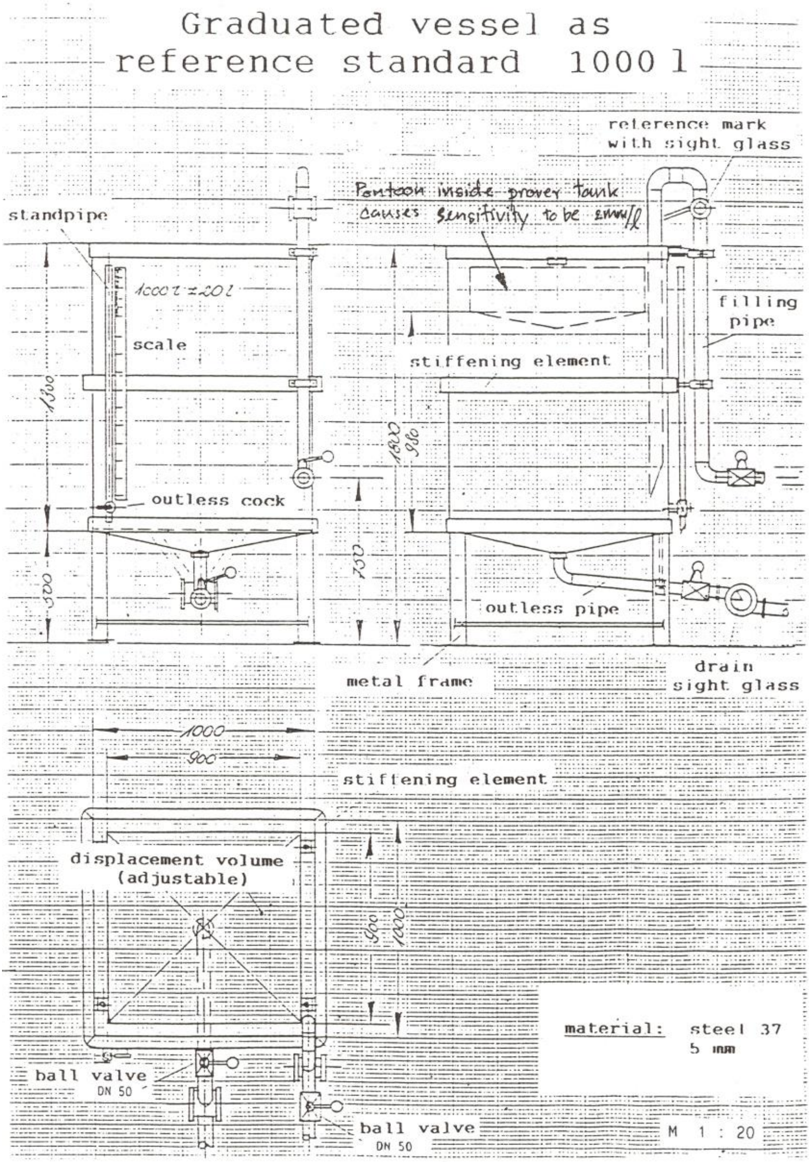
รูปที่ 2.1 สร้าง Pontoon เพื่อลดปริมาตรพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งพิกัดกำลังถัง

พิจารณากรณีถังตวงแบบมาตราสำหรับ Meter class 0.5 , OIML R117
คาดว่าใช้ตรวจสอบให้คำรับรองและสอบเทียบมาตรวัด Meter class 0.5 , OIML R117 (MPE A=0.5%, B=0.3%) เรากำหนดให้ถังตวงแบบมาตรามีความแม่นยำสูงกว่ามาตรวัด Class 0.5 เท่ากับ 3 เท่า (ดูตารางที่ 20) ดังนั้นถังตวงแบบมาตรามี MPE เท่ากับ

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{3}[MPE_{meter}] = \frac{1}{3}[0.3\%]$$
$$= 0.1\%$$

ตารางที่ 20 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 3 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.5 (B= 0.3%), OIML R117

Prover Tank l	MPE. Prover Tank	Sensitivity $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$
8,000 l	= 0.1% x 8,000 = 8.0 liters	8.0 l/cm
5,000 l	= 0.1% x 5,000 = 5.0 liters	5.0 l/cm
3,000 l	= 0.1% x 3,000 = 3.0 liters	3.0 l/cm
2,000 l	= 0.1% x 2,000 = 2.0 liters	2.0 l/cm
1,000 l	**= 0.1% x 1,000 = 1.0 liters**	**1.0 l/cm**
500 l	= 0.1% x 500 = 0.5 liters	0.5 l/cm
200 l	= 0.1% x 200 = 0.2 liters	0.2 l/cm

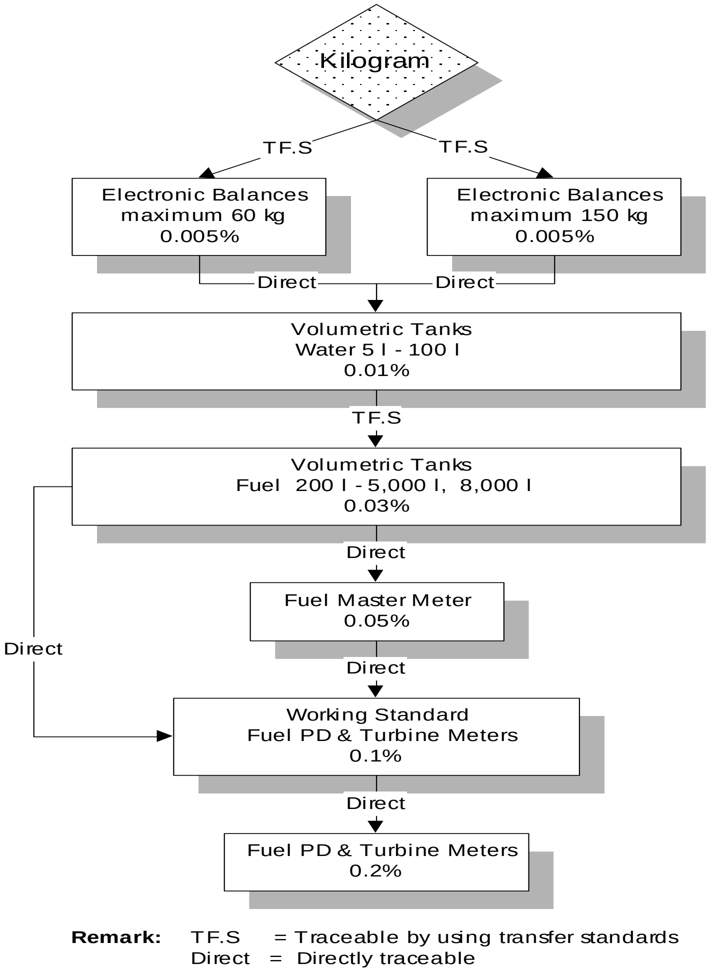


รูปที่ 2.2 ถังตวงแบบมาตรารูปทรง 4 เหลี่ยม ทำ pontoon บริเวณที่แสดงพิกัดกำลังที่ต้องการวัดเพื่อทำให้เป็นเสมือนคอถังตวงฯ เล็กลง

4.2.1.3 แผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale Plate) แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ของตัวถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±1% ของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา สำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านล่าง (bottom neck) ของถังตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ควรสามารถแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±0.5% ของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา หรืออาจจะพิจารณาให้แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ต้องแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยจาก 5 ถึง 30 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราก็สามารถกระทำได้

4.2.1.4 การสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) แน่นอนภายใต้โลกใบนี้เรื่องอย่างนี้หลีกเลี่ยงไม่พ้น และจะทุบโต๊ะบอกว่าเป็นมาตรฐานของประเทศจัดตั้งขึ้นมาหรือเป็นมาตรฐานของหน่วยงานเองโดยไม่สนใจประเทศต่างๆ นั้นมันล่าสมัยไปเสียแล้ว จึงเป็นเรื่องที่ต้องจัดระบบการสอบเทียบที่สามารถย้อนกลับไปยังแบบมาตราของประเทศชาติได้ด้วยเช่นกัน ด้วยความมุ่งหมายและคาดว่าสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ประเทศไทยมีขีดความสามารถและได้รับความเชื่อถือจากนานาประเทศอนารยะ จึงสรุปแนวทางของการจัด Traceability ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3

4.2.1.5 Gravity Draining เนื่องจากขั้นตอนการ drain ของเหลวออกจากตัวถังตวงแบบมาตราเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนสอบเทียบมาตราวัดและต้องใช้เวลา ในบางครั้งแทบจะเป็นระยะเวลาส่วนใหญ่ของขั้นตอนสอบเทียบทั้งหมด และหากเราจะออกแบบให้มีการใช้ปั๊มเพื่อทำการดูดของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราก็สามารถกระทำได้เพื่อลดระยะเวลาของการ drain ของเหลวออกจากตัวถังตวงแบบมาตรา แต่หากมองในเทอมของการประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งในเทอมของค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการและค่าใช้จ่ายในการจัดการรวมไปถึงค่าซ่อมบำรุงแล้วดูเหมือนจะต้องเสียค่าใช้จ่ายอย่างมากทีเดียว เพราะปั๊มก็ต้องเป็นปั๊มชนิด Explosion



รูปที่ 3 การสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ของระบบสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองของอาคารปฏิบัติการฯ

proof ด้วยเช่นกัน ดังนั้นความคิดของการออกแบบตัวอาคารเพื่อให้สามารถทำงานได้ด้วยการประหยัดค่าใช้จ่ายจึงมีแนวความคิดการระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตราด้วยวิธี gravity ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการแล้ว

ยังช่วยลดความเสี่ยงของการใช้ปั๊มซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุเกิดไฟไหม้อีกด้วย เพียงแต่เราเตรียมการทางโครงสร้างของตัวอาคารไว้แต่เริ่มต้น ซึ่งสามารถดูภาพร่างเพื่อประกอบการชี้แจงแก่ผู้ทำการออกแบบตัวอาคารปฏิบัติการฯได้ในภาคผนวก ดังนั้นช่วงระยะเวลาในการระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตรา (Empty tank time) จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการออกแบบระบบเพื่อสามารถทำให้ระบบสอบเทียบมีประสิทธิภาพได้ระดับหนึ่งที่ต้องการ ภายใต้การประนีประนอมวิธีการในการออกแบบตัวโครงสร้างตัวอาคารและระบบท่อทาง เราจึงทำการหาขนาดท่อที่เหมาะสมเพื่อระบายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตรา

พิจารณาบนเงื่อนไข Gravity flow

- Turbulent Flow; Re > 4000
- Proportional depth of flow ; $d/D \geq 0.75$, เป็นการไหลไม่เต็มท่อ
- ต้องมี Velocity สูงกว่า self-cleaning velocity ซึ่งเท่ากับ 0.76 m/s (สำหรับน้ำ)
- ท่อขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 6 นิ้ว ควรมีความเร็วการไหลน้อยกว่า 1.0 m/s
- ท่อขนาดเล็กกว่า 24 นิ้วแต่ใหญ่กว่า 6 นิ้ว ควรมีความเร็วการไหลน้อยกว่า 1.6 m/s

ความเร็วของเหลวภายในท่อ

$$V = -2 * \sqrt{2gS\psi D} * \log_{10}\left[\frac{\varepsilon}{3.7\psi D} + \frac{2.51\nu}{\psi D\sqrt{2gS\psi D}}\right]$$

$$\psi = \frac{\theta - \sin\theta}{\theta} = \frac{4R}{D}$$

when

$$\theta = 2 * \cos^{-1}(1 - 2d / D)$$

และอัตราการไหลของการไหลแบบ Gravity flow

$$Q = \frac{\psi\theta D^2 V}{8} \quad m^3 / s$$

เมื่อ

ε = Absolute roughness – m.

ν = Kinematics viscosity m^2/s (1 cSt = 1 mm^2/s)

D = Inside diameter of pipe - m.

V = Average pipe velocity – m^2/s

d/D= Proportional depth of flow

d = Depth of liquid in pipe

g = Gravitational acceleration

S = Hydraulic gradient (invert slope in gravity pipe design)
เช่นหากท่อมีความชัน 100:1 แล้ว S = 1/100 = 0.01

θ = Angle subtended at center of pipe by the free water surface

ψ = Correction factor

พิจารณา ถังตวงแบบมาตรา พิกัดกำลัง 8,000 ลิตร, 5,000 ลิตร และ 1,000 ลิตร

เงื่อนไข

(1) Piping slop 1: 100 หรือ ชันกว่า

(2) Commercial steel pipe, absolute roughness 0.6 mm.

(3) Proportional depth of flow ; $d/D \geq 0.75$

(4) ต้องมี Velocity สูงกว่า self-cleaning velocity ซึ่งเท่ากับ 0.76 m/s

(5) ของเหลวที่ต้องการ drain เป็น Diesel มี Kinematics viscosity 0.000006 m^2/s (6 cSt)

(6) ต้องการ Empty tank time 2 minutes – 6 minutes

อัตราการไหลประมาณ

8,000 ลิตร/2 นาที = 4,000 ลิตร/นาที

= 66.67 ลิตร/วินาที

8,000 ลิตร/4 นาที = 2,000 ลิตร/นาที

= 33.33 ลิตร/วินาที

ตารางที่ 21 สรุปความสัมพันธ์ของขนาดท่อ, ความชันขอระบบท่อ, ปริมาตรที่ต้องระบาย, ระยะเวลาในการ drain

Pipe Sizes (inch) (ID; m)	Slop (d/D = 0.75)	Velocity (m/s)	Flowrate (m^3/s)	Empty tank time; 8,000 L (minutes)	Empty tank time; 5,000 L (minutes)	Empty tank time; 1,000 L (minutes)
6” (ID= 0.154)	**25:1**	**2.265**	**0.034**	3.93	2.45	**0.49**
	100:1	**1.103**	**0.0165**	8.06	5.04	**1.00**
	150 :1	0.891	0.0134	9.98	6.24	1.25
8” (ID= 0.203)	**25:1**	**2.712**	**0.07**	1.89	**1.18**	0.237
	100:1	**1.326**	**0.0344**	3.87	**2.42**	0.48
	150 :1	1.072	0.0278	4.79	3.00	0.60
10” (ID= 0.255)	**25:1**	**3.144**	**0.129**	**1.04**	0.648	0.13
	25:1♣	**2.783**	**0.142**	**0.94**	0.59	0.12
	100:1	**1.541**	**0.0631**	**2.12**	1.32	0.26
	150 :1	1.247	0.0510	2.611	1.63	0.33

<u>หมายเหตุ</u>

1. ♣ Proportional depth of flow ; d/D =1 เป็นการไหลเต็มท่อ
2. ระดับติดตั้งถังสูงจากตำแหน่งของถังเก็บฝังใต้ดินเท่ากับ 1.5 - (-0.5) = 2.0 m ความยาวของอาคาร 27 m บวกกับระยะ 3 m สำหรับเดินท่อออกนอกตัวอาคารปฏิบัติการฯรวมแล้วประมาณ 30 m ดังนั้นจะมี slop ประมาณเท่ากับ 15:1 ดูเหมือนมากทีเดียว จึงปรับลดเพื่อ safety factor เหลือมี slop ประมาณเท่ากับ 25:1

สรุป ถังตวงแบบมาตรา พิกัดกำลัง 8,000 ลิตร, 5,000 ลิตรและ 1,000 ลิตร ต้องการ Empty tank time ประมาณ 2 นาที ต้องใช้ท่อ drain ประจำถังตวงขนาดดังในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ระยะเวลาในการ drain ของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตรา

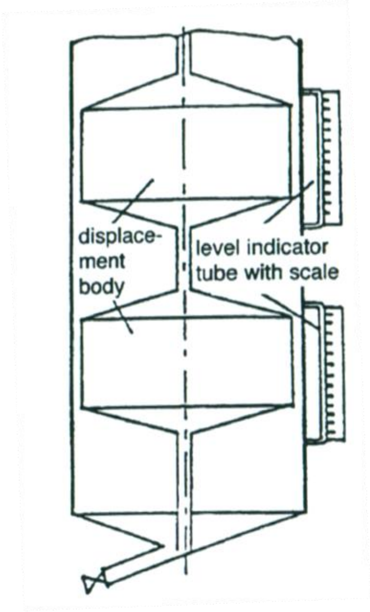
	Empty tank time (Ref. 100:1)	(Ref. 25:1)	Drain pipe size
Prover Tank I (8,000 liter)	2.12 minutes	1.04 minutes	D = 250 mm (10”)
Prover Tank II (5,000 liter)	2.42 minutes	1.18 minutes	D = 200 mm (8”)
Prover Tank III (1,000 liter)	1.00 minutes	0.49 minutes	D = 150 mm (6”)

หมายเหตุ หากเดินท่อให้มีความชันมากกว่า 1:100 สามารถลดเวลาได้อีก

4.2.1.6 สรุปขนาดพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา เมื่อมาถึงจุดนี้แล้วเราก็มานั่งใคร่ครวญ ประกอบกันกับที่ได้มีโอกาสได้ไปดูงานที่สถาบัน NMI เพียง ½ วัน ก็ดูเหมือนจะสุดคุ้ม กับความเหนื่อยและพบว่าเราได้ขนาดพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตรา เช่นเดียวและใกล้เคียงกับ สถาบัน NMI เราจึงเลือกให้มีถังตวงแบบมาตรา 3 พิกัดหลักคือ 8,000 ลิตร, 5,000 ลิตร และ 1,000 ลิตร และในการออกแบบให้สามารถอ่านที่พิกัดย่อยของถังตวงแบบมาตราได้ดังตารางที่ 23 จำนวน 2 ชุด โดยภายในถังตวงแบบมาตรา 5,000 ลิตรและ 1,000 ลิตรแต่ละถังแบ่งพิกัดกำลังย่อยอีก 3 พิกัดกำลัง ทำด้วยการใส่ Pontoon ในตำแหน่งตรงพิกัดกำลังนั้นเพื่อทำให้เป็นเสมือคอถัง ดังในรูปที่ 3.1 สำหรับของเหลวตัวกลางในการทดสอบคือ Kerosene กับ Diesel ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อน (contamination) ระหว่างกันและกันหากมีการใช้ถังตวงแบบมาตรา ดังนั้นจึงมีท่อ drain กลับไปยังถังสำรองที่คาดว่าควรเก็บไว้ใต้ระดับผิวดินปกติ ทั้งนี้จะสามารถยืดระยะเวลาในการใช้งาน Kerosene กับ Diesel ได้ยาวนานหากไม่มีการปนเปื้อน แต่อย่างไรก็ตามการตรวจสอบคุณสมบัติของ Kerosene กับ Diesel ควรดำเนินการตรวจสอบเป็นระยะด้วยเพื่อมั่นใจว่าค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นของของเหลวดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 23 สรุปขนาดพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา

Prover Tank I	Sub Capacity Prover Tank
8,000 l	8,000 l
5,000 l	5,000 l
	3,000 l
	2,000 l
1,000 l	**1,000 l**
	500 l
	200 l



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างถังตวงแบบมาตราทรงกระบอกออกแบบพิเศษโดยรวม
พิกัดกำลัง 2 พิกัดกำลังไว้ภายในถังตวงแบบมาตราเดียวกัน

4.2.2 ถังตวงแบบมาตราสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุก

4.2.2.1 ขนาดถังตวงแบบมาตรา ขอบข่ายการพิจารณาก็เช่นเดียวกับการพิจารณาของถังตวงแบบมาตราสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine meter ในการพิจารณาขนาดของ Prover Tank เพื่อให้แน่ใจว่าช่วงเวลาที่ของเหลวไหลด้วยอัตราการไหลทดสอบมีเวลายาวนานมากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาที่การปิด-เปิด control vale เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่กำหนดและเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ จึงกำหนด criteria ดังนี้ (ดูตารางที่ 24)

$$\text{Max. Volume of Prover Tank} = 2\ \text{min.} \times Q_{max}$$

ตารางที่ 24 ค่าปริมาตรสูงสุดในการทดสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุก

Meter under testing; (10:1)	2min. x Q_{max}	2min. x $(Q_{max}+Q_{min})/2$	2min. x Q_{min}
PD meter ∅ 3″ Q_{max} = 96 m^3/hr $(Q_{max}+Q_{min})/2$ = 52.8 m^3/hr Q_{min} = 9.6 m^3/hr	3,200 l **3,000 l**	1,760 l **2,000 l**	320 l **500 l**

Remark: ตัวอักษรทึบเป็นค่าที่ปัดค่าแล้วโดยประมาณการ

เมื่อพิจารณาแล้วจึงทำการจัดกลุ่มถังตวงแบบมาตราที่มาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุก (PD meter) ต้องการ ดังนั้นถังตวงแบบมาตราพิจารณาแล้วตัดสินใจเลือก ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 จัดกลุ่มถังตวงแบบมาตราตามพิกัดกำลังออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ

Prover Tank I	Prover Tank II	Prover Tank III	Prover Tank IV
3,000 l	2,000 l	1,000 l	500 l

กำหนดให้มีถังตวงแบบมาตราโดยใช้ Diesel หรือ เบนซิล หรือ Kerosene เป็นของเหลวตัวกลาง ได้เนื่องจากในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุกนั้น เจ้าของรถบรรทุกต้องนำของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมาเอง และจะ

ทำการสูบอัดกลับสู่รถบรรทุกทั้งหมดเมื่อมีการตรวจสอบให้คำรับรองแล้วเสร็จ ซึ่งจะไม่มีปัญหาในเรื่องของการปนเปื้อนกันอีกต่อไป

4.2.2.2 เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The Neck Diameter of Prover Tank) การกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราเป็นเรื่องที่มีความยืดหยุ่นเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราพอกำหนดให้มีขนาดได้ในช่วงกว้างช่วงหนึ่งดังนี้คือ

$$\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}} \leq \frac{\Delta h}{\text{MPE.}} \leq \frac{30\text{mm.}}{\text{MPE.}}$$

เมื่อ

Δh = ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอถังตวงแบบมาตรา (mm.)

MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

พิจารณากรณีถังตวงแบบมาตราสำหรับ Meter class 0.3 , OIML R117 คาดว่าใช้ตรวจสอบให้คำรับรองและสอบเทียบมาตรวัด Meter class 0.3 , OIML R117 (MPE A=0.3%, B=0.2%) นั้นคือหากตรวจสอบให้ครับรองเฉพาะตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 ,OIML R117 นั้นหมายถึงจะมี Maximum Permissible Error (MPE) เท่ากับ 0.2% ดังนั้นโดยหลักการแล้วควรเลือกถังตวงแบบมาตรา (Prover tank) ดังกล่าวให้มี MPE ที่มีค่าความแม่นยำระหว่าง 3 - 10 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 ,OIML R117 ในที่นี้ตั้งสมมุตฐานค่าให้ประมาณการเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{MPE}_{\text{Prover tank}} &= \frac{1}{6}[\text{MPE}_{\text{meter}}] = \frac{1}{6}[0.2\%] \\ &= 0.03\% \end{aligned}$$

ซึ่งอาจถือได้ว่ามีความแม่นยำสูง หรืออาจเทียบเท่าแบบมาตราแห่งชาติ ซึ่งต้องใช้ถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดกำลัง 1,000 ลิตร และ 2,000 ลิตร ที่มีความถูกต้อง 0.02% สำหรับสอบเทียบถังตวงแบบมาตราที่มีความแม่นยำ 0.03% และในทาง

ปฏิบัติแล้วมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุก นั้นจะถูกตรวจสอบและถือว่าเป็นการตรวจสอบทั้งระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลว ซึ่งจะใช้ Maximum Permissible Error (MPE) เท่ากับ 0.3% เป็นตัวตั้ง แต่อย่างใดหากถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine meter สามารถกระทำด้วยความแม่นยำระดับดังกล่าวได้แล้วละก็ถังตวงแบบมาตราสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุกก็น่าจะทำได้เช่นกัน

พิจารณา ถังตวงแบบมาตรา 3,000 ลิตร

เมื่อ 1 ml. = 1 cm^3 = 1000 mm^3

ดังนั้น 12 ml. = 12×10^3 mm^3

MPE. = 0.9 l = 0.9 x 1,000 x 1,000 mm^3

ดังนั้นกำหนดเงื่อนไขการพิจารณาที่ $\frac{25.4\ \text{mm.}}{\text{MPE.}}$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} \times \Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h} \times \frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{0.9\times10^6}{25.4} \times \frac{4}{\pi} = 45{,}114.79\ \text{mm}^2$$

$$D = 212.40\ \text{mm.}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 3,000 ลิตรมีขนาดเท่ากับ 21.24 เซนติเมตร หรือมี Sensitivity เท่ากับ 0.9 ลิตร/2.54 เซนติเมตร หรือ 354.33 cc/เซนติเมตร

สรุป Sensitivity ของถังตวงแบบมาตราในกรณีที่มี MPE. = 0.03% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 26

เหมือนเช่นเคยต้องเผื่อทางถอยไว้บางอาจลดระดับความแม่นยำเหลือ

$$MPE_{\text{Prover tank}} = \frac{1}{3}[MPE_{\text{meter}}] = \frac{1}{3}[0.2\%]$$

$$= 0.06\%$$

สรุป Sensitivity ของถังตวงแบบมาตราในกรณีที่มี MPE. = 0.06% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 27

ตารางที่ 26 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 6 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 (B= 0.2%), OIML R117

Prover Tank l	MPE. Prover Tank	Sensitivity Type I $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$	Sensitivity Type II Better Choice
3,000 l	= 0.03% x 3,000 = 0.9 liters	0.9 l/cm	100 cc/cm
2,000 l	= 0.03% x 2,000 = 0.6 liters	0.6 l/cm	50 cc/cm
1,000 l	**= 0.03% x 1,000 = 0.3 liters**	**0.3 l/cm**	**20-30 cc/cm**
500 l	= 0.03% x 500 = 0.15 liters	0.15 l/cm	10-15 cc/cm

ตารางที่ 27 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 3 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.3 (B= 0.2%), OIML R117

Prover Tank l	MPE. Prover Tank	Sensitivity $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$
3,000 l	= 0.06% x 3,000 = 1.8 liters	1.8 l/cm
2,000 l	= 0.06% x 2,000 = 1.2 liters	1.2 l/cm
1,000 l	**= 0.06% x 1,000 = 0.6 liters**	**0.6 l/cm**
500 l	= 0.06% x 500 = 0.3 liters	0.3 l/cm

พิจารณากรณีถังตวงแบบมาตราสำหรับ Meter class 0.5 , OIML R117 คาดว่าใช้ตรวจสอบให้คำรับรองและสอบเทียบมาตรวัด Meter class 0.5 , OIML R117 (MPE A=0.5%, B=0.3%)

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{3}[MPE_{meter}] = \frac{1}{3}[0.3\%]$$
$$= 0.1\%$$

สรุป Sensitivity ของถังตวงแบบมาตราในกรณีที่มี MPE. = 0.1% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตราด้วยค่าความแม่นยำ 3 เท่าของมาตรวัดปริมาตรของเหลว Class 0.5 (B= 0.3%), OIML R117

Prover Tank l	MPE. Prover Tank	Sensitivity $\frac{\Delta h}{MPE.} = \frac{25.4\ mm.}{MPE.}$
3,000 l	= 0.1% x 3,000 = 3.0 liters	3.0 l/cm
2,000 l	= 0.1% x 2,000 = 2.0 liters	2.0 l/cm
1,000 l	**= 0.1% x 1,000 = 1.0 liters**	**1.0 l/cm**
500 l	= 0.1% x 500 = 0.5 liters	0.5 l/cm

แต่เมื่อคำนึงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The neck diameter of Prover Tank) จากที่ได้ไปดูงานของสำนักชั่งตวงวัด พบว่าลักษณะถังตวงแบบมาตราจะออกแบบในลักษณะปกติทั่วไปแต่อาจจะมีจุดเด่นและดีคือลักษณะของถังตวงแบบมาตราจะมีส่วนที่เป็นตัวกำหนดของสภาวะเริ่มต้นซึ่งถือว่าเป็นแนวปะทะของระบบการวัดแบบ Dynamic กับแบบ Static และตัวกำหนดสภาวะที่สิ้นสุดที่เท่ากันทุกครั้ง ลักษณะการออกแบบก็คือ เอาเทคนิคของ Overflow และ Sight glass มาผสมผสานกันดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 ดังนั้นเพื่อหาความเหมาะสมในการออกแบบและการจัดทำถังตวงแบบมาตราและได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราที่กระทำได้และยังคงให้ผลการสอบเทียบยังอยู่ภายใต้ความน่าเชื่อถือ

เนื่องจากถังตวงแบบมาตรามีหลายขนาดและเป็นแบบทั่วไปที่พบเห็นดูในหนังสือ “นานาสาระชั่งตวงวัด เล่ม 1” การกำหนดขนาดของถังตวงแบบมาตรา, ขนาดของคอถังตวงแบบมาตรา ฯลฯ จึงต้องพิจารณาทั้งการจัดทำและความเป็นไปได้ในการใช้งาน มาตรวัดกลุ่มเป้าหมายที่เราต้องการตรวจสอบให้คำรับรองและ/หรือสอบเทียบคือ

- Meter Class 0.3, OIML R117 (MPE A=0.3%, B=0.2%)
- Meter Class 0.5, OIML R117 (MPE A=0.5%, B=0.3%)

ด้วยเหตุนี้เราจึงพิจารณา Maximum Permissible Error (MPE) ของถังตวงแบบมาตรา บนพื้นฐานจากความแม่นยำสูงแล้วลดลงตามลำดับ แบ่งออกเป็น 3 กรณี

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{6}[MPE_{meter}] = \frac{1}{6}[0.2\%]$$
$$= 0.03\%$$

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{3}[MPE_{meter}] = \frac{1}{3}[0.2\%]$$
$$= 0.06\%$$

$$MPE_{Prover\ tank} = \frac{1}{3}[MPE_{meter}] = \frac{1}{3}[0.3\%]$$
$$= 0.1\%$$

แต่ในทางปฏิบัติและจากการสอบถามส่วนใหญ่พบว่ามาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุกจะมี Maximum Permissible Error (MPE) ของมาตรวัดอยู่ใน Meter class 0.5 , OIML R117 (MPE A=0.5%, B=0.3%) ซึ่งในการเลือกพิจารณา MPE ของถังตวงแบบมาตราจึงอาจมีความยืดหยุ่นภายใน MPE ของทั้ง 3 กรณี ดังกล่าวไว้ข้างต้น และสรุปได้ดังในตารางที่ 29

การเลือกถังตวงแบบมาตราสำหรับใช้ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมติดตั้งประจำรถบรรทุกได้แสดงในตารางที่ 30

4.2.2.3 แผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale Plate) แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ของตัวถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±1% ของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา ในที่เราเลือกที่จะแสดงพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรประมาณ ±2% ของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา หรือประมาณ 10 ถึง 20 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวง

ตารางที่ 29 การพิจารณาเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา ตาม MPE ของมาตรวัดปริมาตรของเหลว

Prover Tank Cap. (M^3)	MPE (L)	Δh (mm.)	Δh/MPE (mm./l)	ID (mm.)	2-4% xCap.	
3,000 l	0.9;	10	11.11	338.6		
	(0.03%)	15	16.67	276.47		
		20	22.22	239.43		
		30	33.33	195.49		
	1.8;	**10**	**5.56**	**478.85**	**60 l**	
	(0.06%)	15	8.33	390.98	**(+30 l, -30 l)**	**(+16.67 cm, -16.67 cm)**
		20	11.11	338.60	**or**	**or**
		30	16.67	276.47	**(+60 l, -60 l)**	**(+33.33 cm, -33.33 cm)**
	3.0;	10	3.33	618.20		
	(0.10%)	15	5.00	504.76		
		20	6.67	437.13		
		30	10.00	356.92		
2,000 l	0.6;	10	16.67	276.47		
	(0.03%)	15	25.00	225.73		
		20	33.33	195.49		
		30	50.00	159.62		
	1.2;	**10**	**8.33**	**390.98**	**40 l**	
	(0.06%)	15	12.50	319.23	**(+20 l, -20 l)**	**(+16.67 cm, -16.67 cm)**
		20	16.67	276.47	**or**	**or**
		30	25.00	225.73	**(+40 l, -40 l)**	**(+33.33 cm, -33.33 cm)**
	2.0;	10	5.00	504.75		
	(0.10%)	15	7.50	412.13		
		20	10.00	356.92		
		30	15.00	291.42		
1,500 l	0.45;	10	22.22	239.43		
	(0.03%)	15	33.33	195.49		
		20	44.44	169.30		
		30	66.67	138.23		

Prover Tank Cap. (M^3)	MPE (L)	Δh (mm.)	Δh/MPE (mm./l)	ID (mm.)	2-4% xCap.	
	0.9;	**10**	**11.11**	**338.60**	**30 l**	
	(0.06%)	15	16.67	276.47	**(+15 l, -15 l)**	**(+16.67 cm, -16.67 cm)**
		20	22.22	239.43	**or**	**or**
		30	33.33	195.49	**(+30 l, -30 l)**	**(+33.33 cm, -33.33 cm)**
	1.5;	10	6.67	437.13		
	(0.10%)	15	10.00	356.92		
		20	13.33	309.10		
		30	20.00	252.38		
1,000 l	0.3;	10	33.33	195.49		
	(0.03%)	15	50.00	159.62		
		20	66.67	138.23		
		30	100.00	112.87		
	0.6;	**10**	**16.67**	**276.47**	**20 l**	
	(0.06%)	15	25.00	225.73	**(+10 l, -10 l)**	**(+16.67 cm, -16.67 cm)**
		20	33.33	195.49	**or**	**or**
		30	50.00	159.62	**(+20 l, -20 l)**	**(+33.33 cm, -33.33 cm)**
	1.0;	10	10.00	356.92		
	(0.10%)	15	15.00	291.42		
		20	20.00	252.38		
		30	30.00	206.07		
500 l	0.15;	10	66.67	138.23		
	(0.03%)	15	100.00	112.87		
		20	133.33	97.75		
		30	200.00	79.81		
	0.30;	10	33.33	195.49		
	(0.06%)	15	50.00	159.62		
		20	66.67	138.23		
		30	100.00	112.87		

Prover Tank Cap. (M^3)	MPE (L)	Δh (mm.)	Δh/MPE (mm./l)	ID (mm.)	2-4% xCap.	
	0.5;	**10**	**20.00**	**252.38**	**10 l**	
	(0.10%)	15	30.00	206.07	**(+5 l, -5 l)**	**(+10 cm, -10 cm)**
		20	40.00	178.46	**or**	**or**
		30	60.00	145.71	**(+10 l, -10 l)**	**(+20 cm, -20 cm)**
200 l	0.06;	10	166.67	87.43		
	(0.03%)	15	250.00	71.38		
		20	333.33	61.82		
		30	500.00	50.48		
	0.12;	10	83.33	123.64		
	(0.06%)	15	125.00	100.95		
		20	166.67	87.43		
		30	250.00	71.38		
	0.20;	**10**	**50.00**	**159.62**	**4 l**	
	(0.10%)	15	75.00	130.33	**(+2 l, -2 l)**	**(+10 cm, -10 cm)**
		20	100.00	112.87	**or**	**or**
		30	150.00	92.16	**(+4 l, -4 l)**	**(+20 cm, -20 cm)**

หมายเหตุ อักษรตัวหนาเป็นตัวที่เลือกใช้

ตารางที่ 30 สรุปขนาดถังตวงแบบมาตรา, MPE, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวง และ Scale plate

Prover Tank Capacity. (M^3)	MPE (L)	Δh (mm.)	Δh/MPE (mm./l)	ID (mm.)	Scale plate (>2% xCap.)	Length of sigh glass	Scale (20-30MPE)
3,000 l	1.8; (0.06%)	10	5.56	478.85	60 l (+30 l, -30 l)	(+16.67 cm, -16.67 cm)	
					120 l (+60 l, -60 l)	(+33.33 cm, -33.33 cm)	@2 l in @10 l
2,000 l	1.2; (0.06%)	10	8.33	390.98	40 l (+20 l, -20 l)	(+16.67 cm, -16.67 cm)	
					80 l (+40 l, -40 l)	(+33.33 cm, -33.33 cm)	@1 l in @5 l
1,500 l♣	0.9; (0.06%)	10	11.11	338.60	30 l (+15 l, -15 l)	(+16.67 cm, -16.67 cm)	
					60 l (+30 l, -30 l)	(+33.33 cm, -33.33 cm)	@1 l in @5 l
1,000 l	0.6; (0.06%)	10	16.67	276.47	20 l (+10 l, -10 l)	(+16.67 cm, -16.67 cm)	
					40 l (+20 l, -20 l)	(+33.33 cm, -33.33 cm)	@0.2 l in @2 l
500 l	0.5; (0.10%)	10	20.00	252.38	10 l (+5 l, -5 l)	(+10 cm, -10 cm)	
					20 l (+10 l, -10 l)	(+20 cm, -20 cm)	@0.2 l in @1 l
200 l	0.20; (0.10%)	10	50.00	159.62	4 l (+2 l, -2 l) or	(+10 cm, -10 cm)	
					8 l (+4 l, -4 l)	(+20 cm, -20 cm)	@0.1 l in @1 l

♣**หมายเหตุ** Ref. Capacity in designing

แบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา แต่หากสามารถแสดงได้ถึง30 เท่าก็ยิ่งดีแต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาเรื่องความแข็งแรงของถังด้วยเพราะหากคอถังสูงมากเกินไปก็อาจมีปัญหาในเรื่องโครงสร้างที่ตามมา

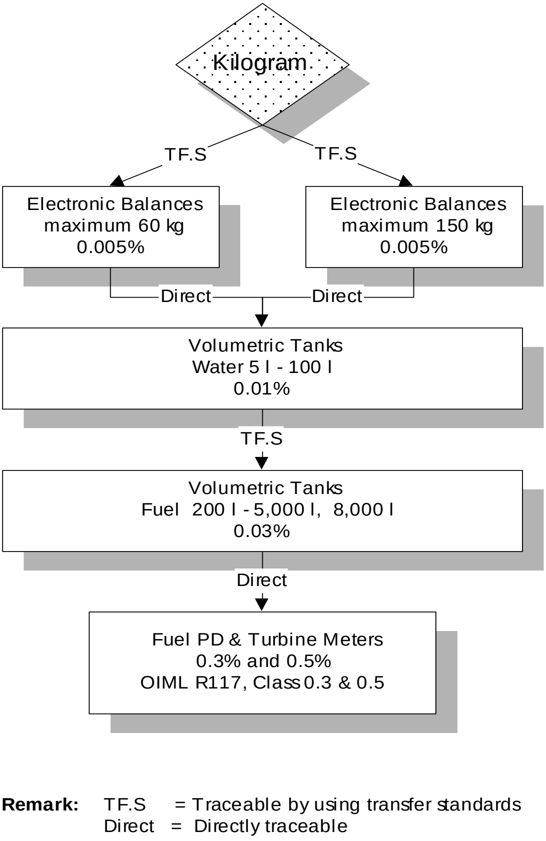
4.2.2.4 สรุปขนาดพิกัดกำลังถังตวงแบบมาตรา เนื่องจากถังประจำรถบรรทุกจะมี Compartment สำหรับใส่น้ำมันอยู่ประมาณ 4 – 5 compartments และความจุของแต่ละ compartment เท่ากับ 3,000 ลิตร หรือ 4,000 ลิตรในบางกรณี เนื่องจากปริมาตรดังกล่าวเป็นปริมาตรที่เหมาะสมและไม่มี self-ignition ในขณะรถบรรทุกวิ่งไปตามท้องถนน **เรายึด 3,000 ลิตร เป็นปริมาตรออกแบบและเป็นพื้นฐานกำหนดแบบมาตรา**สำหรับศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออก (ชลบุรี) จากตารางที่ 29 เราตัดเอาถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดกำลัง 1500 ลิตรออกไปจึงเหลือเพียง 4 ขนาด และจำนวน 1 ชุด แต่เราอาจเลือกให้ถังตวงแบบมาตราขนาด 3,000 ลิตร มีจำนวน 2 ถังก็ได้เพื่อความเหมาะสมเนื่องจากระยะเวลาการ drain ของเหลวออกจากถังอาจเสียเวลาสามารถเปลี่ยนไปใช้ถังขนาด 3,000 ลิตร อีกถังในขณะที่ทำการ drain อีกถังหนึ่งเพื่อความยืดหยุ่นและความสะดวกในการปฏิบัติงาน สรุปดังในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ขนาดถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุก

Prover Tank Cap. (M^3)	Quantity	Δh/MPE (mm./l)	ID (mm.)
3,000 l	1 or 2	5.56	478.85
2,000 l	1	8.33	390.98
1,000 l	1	16.67	276.47
500 l	1	20.00	252.38

4.2.2.5 การสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ระบบการสอบเทียบที่สามารถย้อนกลับไปยังแบบมาตราของประเทศชาติในส่วนของระบบ

ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุกสรุป Traceability ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การสอบเทียบย้อนกลับ (Traceability) ของระบบสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองของมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุก

4.3 Platform Scale เป็นแบบมาตราที่ดูเหมือนจะเป็นทางเลือก (Option) เนื่องจากจะเป็นการใช้งานสำหรับการสอบเทียบแบบมาตราหรือมาตรวัด

ปริมาตรของเหลวชนิดมาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter แต่จนถึงเวลานี้หากพิจารณาแนวโน้มของความนิยมการใช้มาตรวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าวแล้วยังถือว่ามีจำนวนพอประมาณ อาจต้องรอระยะเวลาพอสมควรจนกว่าเทคโนโลยีของมาตรวัดดังกล่าวได้รับการพิสูจน์และยอมรับจากผู้ใช้งาน จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามานั้นดูเหมือนวิธีการที่จะเหมาะสมในการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดดังกล่าวยังคงถือว่าการชั่งน้ำหนักของเหลวที่มาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter วัดได้ นับว่าเป็นวิธีการตรงไปตรงมาเพราะไม่ต้องทำการหาค่าความหนาแน่น, อุณหภูมิ และ ฯลฯ ตามมาตรฐาน ISO 4185-1980 Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method ของของเหลวเพื่อมาทำการหาน้ำหนักหากทำการสอบเทียบด้วยถังตวงแบบมาตรา ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการเตรียมการเพื่ออนาคตและเป็นทางเลือกหนึ่งของแบบมาตรา เราจำเป็นเหลือเกินที่ต้องทำการวางแผนโครงสร้างของตัวอาคารให้เหมาะสมหากจำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นแบบมาตราในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวไม่ว่าจะเป็นมาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter หรือมาตรวัด PD & Turbine meter ก็ตาม จากการที่ได้ไปดูงานที่ประเทศเยอรมัน ที่บริษัทผลิตมาตรวัดน้ำซึ่งมีทั้งมาตรวัดน้ำร้อนและมาตรวัดน้ำเย็น พบว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากการใช้แบบมาตราที่เป็นถังตวงแบบมาตราเพื่อทำการตรวจสอบมาตรวัดน้ำที่ผลิตได้ไปเป็นถังตวงพร้อมติดตั้ง load cell เข้ากับขาถังตวงเพื่อเป็นการชั่งน้ำหนักแทน ซึ่งจะลดอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสามารถให้ผลการชั่งและส่งถ่ายข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว นั้นคือมีแนวโน้มใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของเหลวที่ผ่านการวัดจากมาตรวัดปริมาตรของเหลวแทนการวัดปริมาตรด้วยถังตวงแบบมาตรา ซึ่งจะให้ผลการชั่งที่แม่นยำสูงขึ้นนอกจากนี้เทคโนโลยีของ load cell ยังไปช่วยลดปัญหาขนาดและสถานที่ติดตั้งเครื่องชั่ง ซึ่งหากเป็นเครื่องชั่งแบบกลไกแบบเก่าจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้าง รวมทั้งจะมีขนาดใหญ่มาก ไม่สะดวกต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงและต้องการความแม่นยำสูงมากขึ้น

บางคนอาจมีคำถามในใจว่าแล้วทำไมเราไม่ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิด PD & Turbine meter ล่ะ ข้อนี้ก็ตระหนักอยู่เหมือนกัน แต่ด้วยความคิดเห็นเบื้องต้นเท่าที่สังเกตพบว่า เครื่องมืออุปกรณ์อาจต้องมีการสั่งทำเป็นพิเศษเนื่องจากต้องเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่ต้องทนสภาพความเป็นกรดของของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อีกทั้งต้องสามารถป้องกันการระเบิดได้หากเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ระบบไฟฟ้า ในขณะเดียวกัน การสอบเทียบด้านปริมาตรด้วยถังตวงแบบมาตร ถือเป็นการวัดทาง static ให้ผลการสอบเทียบด้วยความแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าพอใจมากอีกทั้งการบำรุงรักษากระทำได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายในระดับที่ยอมรับได้ จึงเพียงพอกับวงเงินที่ลงทุนไป และคุ้มค่าเพียงพอกับงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology)

การสอบเทียบมาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักจึงจำเป็นต้องจัดหา platform scale มี capacity สูงและมี resolution สูง อีกทั้งต้องสามารถป้องกันการระเบิด (explosion proof) ได้ด้วยเช่นกัน เรามาพิจารณาขนาดพิกัดกำลังของ platform scale ว่าควรมี capacity เท่าไรจากคุณสมบัติของมาตรวัด เราพิจารณาที่น้ำหนักของปริมาตรมาตรวัดมวลวัดได้ที่อัตราการไหลสูงสุดเป็นเวลาอย่างน้อย 2 นาที สรุปได้ดังในตารางที่ 32

จากตารางที่ 33 จะเห็นได้ว่ามีปริมาตรซ้ำกันที่ 5,000 ลิตร ดังนั้นจึงเลือกเครื่องชั่งชนิด Non-automatic สำหรับชั่งน้ำหนักของเหลวที่สามารถชั่งน้ำหนักของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter ได้ที่ปริมาตร 10,000 l และ 5,000 l ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ไม่รวมถึงน้ำหนักของภาชนะใส่ของเหลว แต่เนื่องจากของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจะเบากว่าน้ำหรือมีค่า Specific gravity ต่ำกว่า 1.00 จึงน่าจะใช้ platform scale ขนาดไม่น่าหนักมาก แต่ในการออกแบบโครงสร้างของตัวอาคารปฏิบัติการฯ, ระบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ platform scale และส่วนที่เกี่ยวข้องทั้งหมด นั้นเราใช้น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ต้องการทดสอบเป็นหลักในการออกแบบ

ชตว CBWM

ตารางที่ 32 ขนาดพิกัดกำลังของ Platform scale

	2min. x Q_{max}	2min. x Q_{normal}
Coriolis Mass Flowrate ∅ 3″ Q_{max} = 4,536 kg/min Q_{normal} = 2,268 kg/min	9,072 kg = 11,063 l (9,072/0.82); Diesel **10,000 l**	4,536 kg =5,531 l **5,000 l**
Coriolis Mass Flowrate ∅ 2″ Q_{max} = 1,451 kg/min Q_{normal} = 725 kg/min	2,902 kg = 3,539 l **5,000 l**	1,450 kg =1,768 l **2,000 l**

ตารางที่ 33 มาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter ต้องการขนาดพิกัดกำลังของ Platform scale ในเชิงปริมาตรของเหลว

Max. Vol.	Min. vol.
10,000 l	-
5,000 l	5,000 l
-	2,000 l

ในส่วนของการเลือกเครื่องชั่ง เราอาจจำเป็นต้องใช้ specific gravity ของของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจริงๆ เนื่องจากเกรงว่าจะหา load cell และ display ที่สามารถให้ผลการชั่งได้ตามที่ต้องการค่อนข้างยาก แต่อย่างไรก็ตามหากสามารถมี load cell และ display ที่ทันสมัยและดีขึ้นแล้ว เราอาจเพิ่มความแม่นยำและความละเอียดของการอ่านค่าได้เพิ่มสูงขึ้น

สำหรับของเหลวที่เลือกใช้ เราจะเลือกใช้ diesel แทนที่จะเลือก kerosene เนื่องจาก diesel มีค่าความดันไอต่ำกว่า kerosene และน่าจะมีการระเหยตัวได้น้อยกว่า แต่ถ้าหากสามารถใช้น้ำแทน kerosene หรือ diesel ได้ยิ่งดีเนื่องจากการชั่งน้ำหนักกระทำเป็นระบบเปิด

ก) พิจารณา Capacity 10,000 l แต่ diesel มี S.G. ประมาณเท่ากับ 0.82

ดังนั้นของเหลวมีน้ำหนักประมาณ 10,000*0.82 = 8200 kg

Assume : น้ำหนักของถังซึ่งทำด้วยโลหะประมาณ 2,000 kg

เลือก Working point 70 % Max. Capacity ของเครื่องชั่ง เนื่องจากข้อมูลในการตรวจสอบ load cell พบว่าส่วนใหญ่แล้วที่ประมาณ 70% ของ Max. Load ของ Load cell จะให้ค่า MPE ใกล้เคียงค่าเท่ากับ 0 มาก ดังนั้น

Max. Capacity = 10,200/0.7 = 14,571 kg. ประมาณ 15 ton

ถ้าเลือกใช้น้ำ Max. Capacity = 12,000/0.7 = 17,143 kg. ประมาณ 18 ton

ข) พิจารณา Capacity 5,000 l แต่ diesel มี S.G. ประมาณเท่ากับ 0.82

ดังนั้นของเหลวมีน้ำหนักประมาณ 5,000*0.82 = 4,100 kg

Assume : น้ำหนักของถังซึ่งทำด้วยโลหะประมาณ 1,000 kg

เลือก Working point 70 % Max. Capacity ของเครื่องชั่ง ดังนั้น Max. Capacity = 5,100/0.7 = 7,285 kg. ประมาณ 6-8 ton

ถ้าใช้น้ำ Max. Capacity = 6,000/0.7 = 8,571 kg. ประมาณ 9-10 ton

ตารางที่ 34 ประมาณการขนาดพิกัดกำลังของ platform scale

Platform Scale I	Platform Scale II
10,000 l **15 tons (18 tons)** Dimension: 2.5 m. * 2.5 m. * 2 m. Medium liquid: Diesel	5,000 l **8 tons (10 tons)** Dimension: 1.5 m. * 1.5 m. * 3 m. Medium liquid: Diesel

เมื่อเราทราบพิกัดกำลังประมาณการของ platform scale แล้วต่อไปก็ทำการหาค่า Maximum permissible error ของเครื่องชั่งว่าควรมีค่าเท่าไรเป็นอย่างน้อย จาก OIML R105; Direct Mass Flow Measuring System for Quantities, 1993) นั้นกำหนดให้มาตรวัดมวลชนิดนี้มี Maximum Permissible Error สำหรับ Pattern Approval

MPE = ±0.3% ของปริมาณที่ทำการวัดที่เท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของ Minimum Measured Quantity ภายใต้เงื่อนไข

- ทดสอบด้วยของเหลวชนิดเดียวภายในช่วงความหนาแน่นของเหลวช่วงหนึ่งที่มาตรวัดมวลวัดได้นั้นคือทดสอบที่ค่าความหนาแน่นมวลของเหลวที่ค่าเดียว
- ที่อุณหภูมิและค่าความดันของเหลวที่สภาวะเดียว ภายในช่วงสภาวะที่กำหนดของมาตรวัดมวลช่วงหนึ่ง

- ที่อัตราการไหลทุกค่าภายในช่วงอัตราการไหลที่กำหนดของมาตรวัดมวล

MPE = ±0.5% ของปริมาณที่ทำการวัดที่เท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของ Minimum Measured Quantity ภายใต้เงื่อนไข

- ทดสอบด้วยของเหลวทุกชนิดที่มีความหนาแน่นของเหลวภายในช่วงที่กำหนด
- ทุกที่สภาวะอุณหภูมิและความดันของเหลวที่สภาวะเดียว ภายในช่วงสภาวะที่กำหนดของมาตรวัดมวลช่วงหนึ่ง
- ที่อัตราการไหลทุกค่าภายในช่วงอัตราการไหลที่กำหนดของมาตรวัดมวล

ในส่วนของ Maximum permissible error ของมาตรวัดมวลสำหรับ Verification นั้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ MPE = ±0.5% ของปริมาณที่ทำการวัดที่เท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของ Minimum Measured Quantity ภายใต้เงื่อนไข

- ตรวจสอบด้วยของเหลวชนิดเดียวนั้นคือตรวจสอบด้วยที่ค่าความหนาแน่นค่าเดียว
- ตรวจสอบที่สภาวะอุณหภูมิและความดันของเหลวที่สภาวะเดียว ภายในช่วงสภาวะที่กำหนดของมาตรวัดมวลช่วงหนึ่ง
- ที่อัตราการไหลทุกค่าภายในช่วงอัตราการไหลที่กำหนดของมาตรวัดมวล

Maximum Permissible Error: OIML R105 (MPE A=0.5%, B=0.3%)

โดยหลักการแล้วควรเลือกเครื่องชั่งชนิด Non-automatic สำหรับชั่งน้ำหนักของเหลวควรมี MPE อย่างน้อยเท่ากับ

$$\mathrm{MPE}_{\text{platfrom scale}} = \frac{1}{3}\left[\mathrm{MPE}_{\text{prover tan k}}\right]$$

$$= \frac{1}{3}\left[\frac{1}{5}\mathrm{MPE}_{\text{meter}}\right] \qquad = \frac{1}{3}\frac{1}{5}[0.3\%]$$

$$= 0.02\%$$

และควรมี

$$e \le 2\times10^{-3}\times MPE_{meter}\times W$$

เมื่อ

W = น้ำหนักที่ต้องการชั่ง

แต่เนื่องจากเครื่องชั่งชนิด Non-automatic ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดทางเทคโนโลยีจึงเป็นการยากที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวได้ แต่สามารถใช้ได้กับเครื่องชั่งขนาดเล็กซึ่งใช้ในห้องปฏิบัติการที่มีพิกัดกำลังต่ำแต่อ่านค่าได้ละเอียดสูง จะเห็นได้จากหากใช้เงื่อนไขของขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ดังในสมการข้างบนเราพบว่า ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง; e

	$e \le 2\times10^{-3}\times MPE_{meter}\times W$
Platform Scale 15 tons Meter MPE ±0.3%	2 x 10^{-3} x 0.3% x 10,000 l x 0.82 kg/l =0.0492 kg = 49.2 g ≈ **50 g**
Platform Scale 8 tons Meter MPE ±0.3%	2 x 10^{-3} x 0.3% x 5,000 l x 0.82 kg/l =0.0246 kg = 24.6 g ≈ **20 g**

ตรวจสอบเครื่องชั่งคุณสมบัติของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III, OIML R76 ซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่อยู่ขอบเขตที่เราคาดว่าเลือกใช้ในงานนี้ มีข้อกำหนดดังในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ข้อกำหนดเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III , OIML R76

Class III	**n = Max./e**		**Min**
	n_{Min}	**$n_{Max.}$**	
0.1 g ≤ e ≤ 2 g	100	10 000	20e
5 g ≤ e	500	10 000	20e

ดังนั้นเครื่องชั่ง Platform Scale ในตารางที่ 35 หากเป็นเครื่องชั่ง Class III , OIML R76 จะให้ค่า n คือ

n = 15000/0.05 = 300,000

> 10,000 ใช้ไม่ได้

n = 8000/0.02 = 400,000

> 10,000 ใช้ไม่ได้

ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องลดความต้องการและลดความแม่นยำสำหรับเครื่องชั่ง platform scale ลงเหลือ

$$MPE_{platfrom\ scale} = \frac{1}{5}\left[MPE_{meter}\right]$$
$$= \frac{1}{5}[0.3\%]$$
$$= 0.06\%$$

ตารางที่ 37 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง; e หลังจากปรับผลผิดให้เพิ่มเป็น 5 เท่า

	$e \leq \frac{1}{5} \times MPE_{meter} \times W$
Platform Scale 15 tons Meter MPE ±0.3%	(1/5) x 0.3% x 10,000 l x 0.82 kg/l =4.92 kg ≈ **5 kg**
Platform Scale 8 tons Meter MPE ±0.3%	(1/5) x 0.3% x 5,000 l x 0.82 kg/l =2.46 kg ≈ **2 kg**

ตรวจสอบเครื่องชั่ง Platform Scale ในตารางที่ 37 ถ้าเงื่อนไขในตารางที่ 36 สำหรับเครื่องชั่ง Class III, OIML R76 จะให้ค่า n คือ

n = 15000/5 = 3,000 <10,000 OK

n = 15000/2 = 7,500 <10,000 น่าสนใจ

n = 8000/2 = 4,000 <10,000 OK

สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III และ class IIII นั้นในทางปฏิบัติจริงๆแล้ว โดยเทคโนโลยีของโหลดเซลในปัจจุบันเป็นการยากที่จะสามารถมีค่าได้เท่ากับ n = 10,000 (Class III) และ n = 1,000 (Class IIII) ตามข้อกำหนด OIML R76 เนื่องจาก โหลดเซลเองต้องรับภาระน้ำหนักของส่วนที่เป็น load receptor หรือ platform ซึ่งติดตั้งอยู่เหนือโหลดเซลเรียกภาระน้ำหนักดังกล่าวว่า Dead Load ส่วนหนึ่งแล้วดังนั้นน้ำหนักที่เหลือจากค่าน้ำหนัก Dead Load ก็คือ Live Load หรือน้ำหนักที่สามารถชั่งได้ของโหลดเซลนั้นเอง

จากนั้นเรามาพิจารณาในแง่มุมที่ลงลึกมากขึ้นโดยแบ่งพิจารณาเครื่องชั่งออกเป็น

I. Platform Scale 15 tons สำหรับ Meter MPE ±0.3%

ในการสอบเทียบเครื่องชั่งเพื่อการใช้งานเพื่อรักษาความเที่ยงตรงและสามารถสอบเทียบย้อนกลับได้ ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องชั่งที่ใช้เป็นแบบมาตราจึงเป็นสิ่งจำเป็น **ในเรื่องของเครื่องชั่งดูเหมือนไม่สามารถหลีกเลี่ยงเรื่องแรงโน้มถ่วงของโลกกับแรงลอยตัว** ดังนั้นเพื่อลดอิทธิพลดังกล่าวเราจำเป็นต้องทำการแก้ไขและตรวจสอบอิทธิพลของแรงลอยตัว (Buoyancy force) อันผลการ calibration ด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (เหล็กหล่อ) และผลการชั่งน้ำหนักด้วยของเหลวในที่นี้เราใช้ diesel เป็นของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบ

ปริมาตร 10,000 ลิตร แต่ diesel มี S.G. ประมาณเท่ากับ 0.82

ดังนั้นของเหลวมีน้ำหนักประมาณ 10,000*0.82 = 8,200 kg Assume 10,000 kg

พิจารณาตุ้มน้ำหนักเหล็กหล่อ 500 kg ประมาณ density ประมาณเท่ากับ 4,364 kg/m^3

จากสมการของแรงลอยตัว

$$\text{Buoyancy force} = \rho_{air} \times V_{sub.in\ air}$$

เราได้ว่าผลต่างปริมาตรของการแทนที่อากาศระหว่างปริมาตรของตุ้มน้ำหนักกับปริมาตรของ Diesel นั้นมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\Delta V_{sub.in\ air} &= V_{sub.in\ air\ Diesel} - V_{sub.in\ air\ Standard\ weights}\\ &= \frac{10,000\ \text{kg}}{0.82\ \text{kg/l}} - \frac{10,000\ \text{kg}}{4.364\ \text{kg/l}}\\ &= 12,195.122\ \text{l} - 2,291.476\ \text{l}\\ &= 9,903.65\ \text{l}\end{aligned}$$

และทำให้มีแรงลอยตัวต่างกันมีค่าเท่ากับ

$$\text{Diff. Buoyancy force} = \rho_{air} \times \Delta V_{sub.in\ air}$$
$$= 1.2\ g/l \times 9{,}903.65\ l$$
$$= 11{,}884.375\ g$$
$$= 11.884\ kg$$

เมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเดียวกัน 10,000 kg ระหว่างน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักกับน้ำหนักของเหลว diesel แต่เครื่องชั่งจะแสดงผลการชั่งที่แตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของแรงลอยตัว ด้วยค่าน้ำหนักเท่ากับ 11.884 kg หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือหากเครื่องชั่งแสดงผลการชั่งตุ้มน้ำหนักพิกัดกำลัง 10,000 kg เท่ากับ 10,000 kg เครื่องชั่งจะแสดงน้ำหนัก diesel 10,000 kg เท่ากับ

= น้ำหนักของตุ้ม - น้ำหนักเนื่องจากผลต่างของแรงลอยตัวของอากาศ

= 10,000 kg - 11.884 kg

= 9988.116 kg

= 9988116 g

เพื่อสามารถจำแนกค่าน้ำหนักได้ละเอียดเพียงพอ จากตัวเลขน้ำหนัก 9,988,116 g ดังนั้นหากต้องการเครื่องชั่งที่ดีที่สุดควรเลือก e= 2 g หรือเพิ่มขึ้น e = 10 g หรือ 100 g หรือ 1 kg หรือ 2 kg, หรือ 5 kg เครื่องชั่งจึงสามารถแสดงค่าหรือเราสามารถอ่านค่าผลต่างของน้ำหนักระหว่างน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรากับน้ำหนักของของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบในที่นี้คือ diesel ได้นั้นเอง หมายถึงเครื่องชั่งดังกล่าวจึงจะเหมาะสมที่เลือกใช้ในการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่ 10,000 kg พิจารณาค่าขั้นหมายมาตราที่แตกต่างกันจึงสรุปดังในตารางที่ 38

หากเป็นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, Class III, OIML R76 อย่างที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ว่าควรมีจำนวนขั้นหมายมาตรา 3,000 –5,000 ขั้นหมายมาตราจึงนับว่าเหมาะสมและเป็นไปได้และเครื่องชั่งมีเสถียรภาพเพียงพอน่าเชื่อถือและภายใต้เทคโนโลยีเท่าที่มีจึงมีทางเลือกได้ 2 ตัวเลือกคือ e = 2 kg และ e = 5 kg (2 – 4.92 – 5 kg) เลือก 2 kg หรือ 5 kg ก็ได้ แต่ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ระหว่างตุ้มน้ำหนักแบบมาตรากับน้ำหนักของของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการทดสอบต่างกัน 11.884 kg หากเครื่องชั่งแสดงค่าด้วย e= 2 kg หรือ e= 5 kg ก็จำเป็นต้องใช้เทคนิคการชั่ง

changeover method (ดูหนังสือ *"การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ;"*, วีระศักดิ์, โสภณ, สาธิต)

ตารางที่ 38 เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, 15 tons, Class III, OIML R76

9988116 g indicated in	**ค่า e**	**n = Max./e Max. 15,000 kg**
9988116 g	1 g, 2 g	15,000,000 7,500,000
9988115 g 9988110 g	5 g 10 g	1,500,000 150,000
9988120 g 9988150 g 9988100 g	20 g 50 g 100 g	750,000 300,000 150,000
9988000 g	500 g, 1kg, **2 kg**	30,000 15,000 **7,500**
9985000 g	**5 kg**	**3,000**
9980000 g	10 kg, 20 kg	1,500 750

ตารางที่ 39 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ตาม OIML R76

อัตรา เผื่อเหลือ เผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)			
	ชั้น I	ชั้น II	ชั้น III	ชั้น IIII
± 0.5 e	0 ≤ m ≤ 50000	0 ≤ m ≤ 5000	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 50
± 1.0 e	50000 < m ≤ 200000	5000 < m ≤ 20000	500 < m ≤ 2000	50 < m ≤ 200
± 1.5 e	200000 < m	20000 < m ≤ 100000	2000 < m ≤ 10000	200 < m ≤ 1000

ดังนั้นหากเราเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III, Max. 15 tons, e= 2 kg, n = 7,500 จะมี MPE ดังแสดงในตารางที่ 40.1 และหากเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ class III, Max. 15 tons, e= 5 kg, n = 3,000 จะมี MPE ดังแสดงในตารางที่ 40.2

ตารางที่ 40.1 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, 15 tons, Class III, OIML R76

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ชั้น III	**e = 2 kg n = 7,500**	
±0.5 e	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 1000 kg	±1 kg
±1.0 e	500 < m ≤ 2000	1000 kg < m ≤ 4000 kg.	±2 kg
±1.5 e	2000 < m ≤ 10000	4000 kg < m ≤ 15000 kg	±3 kg

ตารางที่ 40.2 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, 15 tons, Class III, OIML R76

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ชั้น III	**e = 5 kg n = 3,000**	
±0.5 e	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 2500 kg	±2.5 kg
±1.0 e	500 < m ≤ 2000	2500 kg < m ≤ 10000 kg.	±5.0 kg
±1.5 e	2000 < m ≤ 10000	10000 kg < m ≤ 15000 kg	±7.5 kg

ตรวจสอบ MPE ในตารางที่ 40.1

$$\frac{\pm 3\ \text{kg}}{820\ \text{kg/m}^3 \times 10\ \text{m}^3} \times 100\% = 0.0365\% < 0.06\%$$

$$\frac{\pm 3\ \text{kg}}{840\ \text{kg/m}^3 \times 10\ \text{m}^3} \times 100\% = 0.0357\% < 0.06\%\ \ \text{OK}$$

ดังนั้นเราเลือกเครื่องชั่ง Non-automatic weighing instrument, Class III, OIML R76, Max. 15,000 kg, **e = 2 kg, Min. = 40 kg**

ตรวจสอบ MPE ในตารางที่ 40.2

$$\frac{\pm 7.5\text{kg}}{820\text{kg/m}^3 \times 10\text{m}^3} \times 100\% = 0.091\% \quad > 0.06\%$$

$$\frac{\pm 7.5 \text{ kg}}{840 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m}^3} \times 100\% = 0.089\% \quad > 0.06\%$$

จึงต้องทำการปรับ MPE เครื่องชั่งลดลงจาก 5 เท่าเหลือ 3 เท่า ที่มากกว่า MPE ของมาตรวัดมวล

ดังนั้นเราเลือกเครื่องชั่ง Non-automatic weighing instrument, Class III, OIML R76, Max. 15,000 kg, **e = 5 kg, Min. = 100 kg**

II. Platform Scale 8 tons สำหรับ Meter MPE 0.3%

ตรวจสอบ Buoyancy force อันผลต่อเนื่องจากการ calibration ด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (เหล็กหล่อ) และผลการชั่งน้ำหนักด้วย diesel

ปริมาตร 5,000 ลิตร แต่ diesel มี S.G. ประมาณเท่ากับ 0.82

ดังนั้นของเหลวมีน้ำหนักประมาณ 5,000*0.82 = 4,100 kg Assume 5,000 kg

พิจารณาตุ้มน้ำหนักเหล็กหล่อ 500 kg ประมาณ density เท่ากับ 4,364 kg/m^3

$$\text{Buoyancy force} = \rho_{air} \times V_{sub.in\ air}$$

เราได้ว่าผลต่างปริมาตรของการแทนที่อากาศระหว่างปริมาตรของตุ้มน้ำหนักกับปริมาตรของ Diesel นั้นมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\Delta V_{sub.in\ air} &= V_{sub.in\ air\ Diesel} - V_{sub.in\ air\ Standard\ weights} \\ &= \frac{5{,}000 \text{ kg}}{0.82 \text{ kg/l}} - \frac{5{,}000 \text{ kg}}{4.364 \text{ kg/l}} \\ &= 6{,}097.561 \text{ l} - 1{,}145.738 \text{ l} \\ &= 4{,}951.823 \text{ l}\end{aligned}$$

และทำให้มีแรงลอยตัวต่างกันมีค่าเท่ากับ

$$\text{Diff. Buoyancy force} = \rho_{air} \times \Delta V_{sub.in\ air}$$
$$= 1.2\ g/l \times 4{,}951.823\ l$$
$$= 5{,}942.188\ g$$
$$= 5.942\ kg$$

เมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเดียวกัน 5,000 kg ระหว่างน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักกับน้ำหนักของเหลว diesel แต่เครื่องชั่งจะแสดงผลการชั่งที่แตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของแรงลอยตัว มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 5.942 kg หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือหากเครื่องชั่งแสดงผลการชั่งตุ้มน้ำหนักพิกัดกำลัง 5,000 kg เท่ากับ 5,000 kg เครื่องชั่งจะแสดงน้ำหนัก diesel 5,000 kg เท่ากับ

= น้ำหนักของตุ้ม - น้ำหนักเนื่องจากผลต่างของแรงลอยตัวของอากาศ

= 5,000 kg – 5.942 kg

= 4994.058 kg

= 4994058 g

เพื่อสามารถจำแนกค่าน้ำหนักได้ละเอียดเพียงพอ (ดูตารางที่ 41) จากตัวเลขน้ำหนัก 4994058 g ดังนั้นหากต้องการเครื่องชั่งที่ดีที่สุดควรเลือก e= 2 g หรือเพิ่มขึ้น e = 10 g หรือ 100 g หรือ 1 kg หรือ 2 kg, หรือ 5 kg เครื่องชั่งจึงสามารถแสดงค่าหรือเราสามารอ่านค่าได้นั้นเอง นั้นหมายถึงเครื่องชั่งดังกล่าวจึงจะเหมาะสมที่เลือกใช้ในการสอบเทียบปริมาตรด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่ 5,000 kg

หากเป็นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, Class III, OIML R76 ขั้นหมายมาตราที่พอนับว่าเหมาะสมและเป็นไปได้และเครื่องชั่งมีเสถียรภาพเพียงพอน่าเชื่อถือ และภายใต้เทคโนโลยีเท่าที่มี จึงมีทางเลือกได้ 2 ตัวเลือกคือ e = 1 kg และ e = 2 kg (1 – 2.46 – 2 kg) เลือก e = 1 kg หรือ 2 kg

ตารางที่ 41 พิจารณาเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Platform scale, 8 tons, Class III, OIML R76

4994058 g	ค่า e	n = Max./e Max. 8,000 kg
4994058 g	1 g, 2 g	8,000,000 4,000,000
4994050 g 4994050 g	5 g 10 g	1,600,000 800,000
4994060 g 4994050 g 4994100 g	20 g 50 g 100 g	400,000 160,000 80,000
4994000 g	500 g, **1kg**, **2 kg**	16,000 **8,000** **4,000**
4995000 g	5 kg	1,600
4990000 g 5000000 g	10 kg, 20 kg	800 400

ดังนั้นเครื่องชั่งจึงมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดดังแสดงไว้ในตารางที่ 42.1 และตารางที่ 42.2

ตรวจสอบ MPE สำหรับเครื่องชั่ง Non-automatic Weighing Instrument, Class III, OIML R76, Max. 8,000 kg, e = 1 kg, Min. = 20 kg ($MPE_{Plateform\ Scale}$ = 0.06%)

$$\frac{\pm 1.5\ kg}{820\ kg/m^3 \times 5\ m^3} \times 100 \quad = 0.0365\% \quad < 0.06\%$$

$$\frac{\pm 1.5\ kg}{840\ kg/m^3 \times 5\ m^3} \times 100\% \quad = 0.0357\ \% \quad < 0.06\% \quad OK$$

ตรวจสอบ MPE สำหรับเครื่องชั่ง Non-automatic weighing instrument, Class III , OIML R76, Max. 8,000 kg **e = 2 kg, Min. = 40 kg**

$$\frac{\pm 2.5\ kg}{820\ kg/m^3 \times 5\ m^3} \times 100\% \quad = 0.06\% \quad = 0.06\%$$

$$\frac{\pm 1.5\ kg}{840\ kg/m^3 \times 5\ m^3} \times 100\% \quad = 0.059\% \quad < 0.06\% \quad OK$$

จากการตรวจสอบเบื้องต้นเราจึงพอสรุปได้ว่า Platform scale เป็นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III, OIML R76 ควรมี specification เบื้องต้นดังในตารางที่ 43

ตารางที่ 42.1 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ platform scale, 15 tons, Class III , OIML R76

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ชั้น III	e = 1kg n = 8,000	
±0.5 e	$0 \le m \le 500$	$0 \le m \le 500$ kg	±0.5 kg
±1.0 e	$500 < m \le 2000$	500 kg $< m \le 2{,}000$ kg.	±1 kg
±1.5 e	$2000 < m \le 10000$	$2{,}000$ kg $< m \le 8{,}000$ kg	±1.5 kg

ตารางที่ 42.2 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ platform scale, 15 tons, Class III, OIML R76

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ชั้น III	e = 2kg n = 4,000	
±0.5 e	$0 \le m \le 500$	$0 \le m \le 1000$ kg	±1 kg
±1.0 e	$500 < m \le 2000$	1000 kg $< m \le 4{,}000$ kg.	±2 kg
±1.5 e	$2000 < m \le 10000$	$4{,}000$ kg $< m \le 8{,}000$ kg	±2.5 kg

เนื่องจากในขณะนี้จำเป็นต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมทั้งในแง่ของผู้ผลิตว่าสามารถหรือมีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดดังกล่าวหรือไม่ อีกทั้งต้องทำการตรวจสอบปรับแก้ไขค่าหากพบว่าค่าน้ำหนักของโครงสร้างหลังจากการออกแบบแล้วอาจหนักหรือเบากว่าค่าสมมุตไว้ อย่างไรก็ตามในที่เราได้คำนวณหาเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III, OIML R76 ก็เพียงพอเบื้องต้นเพื่อสามารถนำค่าน้ำหนักไปใช้ในการก่อสร้างอาคารปฏิบัติการฯก่อน หลังจากนั้นต้องทำการตรวจสอบconfirm ข้อมูลและการคำนวณและการเลือก

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่เหมาะสมในขั้นตอนลงรายละเอียดในการกำหนดจริงอีกรอบหนึ่ง

ตารางที่ 43 สรุปเครื่องชั่ง Non-automatic weighing instrument, Class III, OIML R76 สำหรับเป็นแบบมาตราสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดมวล Coriolis mass flowmeter

	เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Non-automatic weighing instrument) Class III , OIML R76,
Platform Scale I (2.5 m. * 2.5 m. * 2 m.)	Max. 15,000 kg e = 2 kg, Min. = 40 kg, n= 7,500 Or Max. 15,000 kg e = 5 kg, Min. = 100 kg, n= 3,000
Platform Scale II (1.5 m. * 1.5 m. * 3 m.)	Max. 8,000 kg e = 1 kg, Min. = 20 kg, n= 8,000 Or Max. 8,000 kg e = 2 kg, Min. = 40 kg, n= 4,000

5. ขนาดของถังสำรองเพื่อใช้จัดเก็บของเหลวตัวกลางสอบเทียบ

ในส่วนของการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา หรือมาตรวัดปริมาตรของเหลวโดยทั่วไปนั้น เราจำเป็นต้องทำการสำรองของเหลวที่มีช่วงความหนืดเพียงพอต่อการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าว การจัดเก็บที่ปริมาณน้อยเกินไปก็จะไม่มีประโยชน์ในการทำงาน แต่หากจัดเก็บมากเกินความจำเป็นไม่เพียงแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปโดยเปล่าประโยชน์แต่ยังเพิ่มความเสี่ยงต่ออันตรายจากการจัดเก็บของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมด้วย

ในเบื้องต้นจึงสรุปปริมาณของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อใช้ในการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรองสำหรับอาคารปฏิบัติการฯ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 44

Assume: ปริมาตรท่อ ∅ 8″ มีความยาวท่อประมาณ 60 เมตร Sch. 40 , ID = 7.981 in = 0.203 m.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{\pi (0.203)^2}{4} \times 60 = 1.94 \ m^3$$

Assume: Dead Stock ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน 20 m^3 ประมาณ 10%

$$=10\% \times 20\ m^3 = 2.0\ m^3$$

กำหนดให้มีถังสำรองเพื่อจัดเก็บของเหลวสำหรับการสอบเทียบใต้ดิน 2 ชุดสำหรับของเหลว 2 ชนิด คือ Kerosene และ Diesel

ตารางที่ 44 ประมาณการขนาดถังสำรองเพื่อจัดเก็บของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

	(2 x 2 min. x Q_{max}) + Piping length + Dead stock
Turbine meter ∅ 4″ Q_{max} = 250 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 137.5 m^3/hr Q_{min} = 25 m^3/hr	16,666 l+ 4,000 l **≈ 20,000 l** **(at least 15,000 l)**
PD meter ∅ 6″ Q_{max} = 227 m^3/hr (Q_{max}+ Q_{min})/2 = 126 m^3/hr Q_{min} = 25 m^3/hr	15,132 l + 4,000 l **≈ 20,000 l** **(at least 15,000 l)**

6. สภาวะเงื่อนไขทำงานของระบบสอบเทียบ

การกำหนดสภาวะเงื่อนไขในการออกแบบระบบการสอบเทียบ นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมากเรื่องหนึ่งเช่นกัน เพราะจะส่งผลสะท้อนถึงเงินที่ต้องลงทุนไปมากหรือน้อย , ความซับซ้อนของระบบ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และ ฯลฯ การกำหนดสภาวะเงื่อนไขการทำงานของระบบสอบเทียบจึงเป็นขอบเขตการออกแบบระบบท่อ ระบบควบคุม และการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจะถูกเลือกในช่วงขอบเขตที่เหมาะสม ดังนั้นเราจึงกำหนดขอบเขตสภาวะเงื่อนไขเบื้องต้นของระบบสอบเทียบซึ่งสรุปดังในตารางที่ 45 แต่อย่างไรอาจต้องปรับเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้หากพบว่ามีปัญหาในการทำงานในทางปฏิบัติหรือในขั้นตอนออกแบบในรายละเอียด แต่ต้องตระหนักเสมอว่าควรกำหนดให้สภาวะความดันและอุณหภูมิตลอดจนอัตราการไหลของระบบสอบเทียบควรมีสภาวะใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการสอบเทียบ

มีข้อสังเกตจากการที่ไปดูงานที่ NMI พบว่า NMI ทำการทดสอบมาตรวัดที่

ความดันสูงสุดประมาณ 4 Barg ซึ่งถือว่าเป็นความดันที่ต่ำกว่าที่ควรเป็นจริงในทางภาคปฏิบัติ แต่ทาง NMI ชี้แจงว่าจะใช้ตัวแปรแก้ไขปรับค่าความดันในขั้นตอนการคำนวณแทน จากที่สังเกตระบบแล้วอาจเป็นเพราะระบบท่อภายในห้องปฏิบัติการได้ถูกสร้างมานานมากทีเดียวอาจมากกว่า 20 ปี แต่ดูแล้วมีการปรับปรุงเป็นระยะ ๆ นอกจากนี้พบว่าระบบท่อส่วนใหญ่เป็นการฝังใต้ดินซึ่งอาจเหมาะสมกับประเทศในสหภาพยุโรป เนื่องจากมีช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมช่วงกว้างมากตั้งแต่เย็นจนอุณหภูมิติดลบจนถึงร้อนจนอุณหภูมิเป็นบวก การเดินระบบท่อสำหรับระบบสอบเทียบมาตรวัดไว้ใต้ดินจึงเป็นสิ่งที่ถูกต้องเพื่อเป็นการรักษาให้อุณหภูมิของเหลวที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเสถียรมากกว่าที่จะเดินระบบท่อสัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง

สำหรับประเทศไทยนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ในช่วงแคบมากเมื่อเทียบกับประเทศในสหภาคยุโรป การออกแบบระบบท่อให้เป็นระบบท่ออยู่เหนือพื้นดินจึงน่าจะเหมาะสมอีกทั้งง่ายต่อการบำรุงรักษา แต่จะเป็นการออกแบบให้ถังสำรองสำหรับเก็บของเหลวสอบเทียบอยู่ใต้ระดับผิวดินในบ่อก็น่าจะพอรักษาให้อุณหภูมิของเหลวยังคงมีค่าเสถียรภาพเพียงพอ

ตารางที่ 45 สรุปสภาวะเงื่อนไขการทำงานระบบสอบเทียบ

Max. Flowrate m^3/hr (l/min)	Pressure gage Bar(g).	Temperature °C
มาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter 300 (5,000) – 250 (4,166)	4 - 12	30 ± 3 °C
มาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุก 96 (1,600) – 21 (350)	10	30 ± 3 °C

แต่อย่างไรก็ตามหากระบบสอบเทียบเมื่อใช้งานจริงแล้วก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่า ± 3 °C จะไม่ว่าเพราะสาเหตุจากขนาดถังเก็บสำรองมีขนาดเล็กเกินไป หรือมีความร้อนถ่ายเทจาก pumps สูงมากจนเกินไป หรือ

ความเร็วของเหลวต่ำหรือสูงจนเกินไป หรือ ฯลฯ แล้ว การออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงการระบายความร้อนหรือต้องจัดหาวิธีการที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดด้วย ดังตารางที่ 45

7. โหมดการทำงานของระบบสอบเทียบ (Design Modes)

ในเบื้องต้นควรมีโหมดการทำงานอย่างน้อย 5 โหมด ดังต่อไปนี้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจมรโหมดการทำงานมากกว่านี้หากมีการทบทวนหรือมีข้อมูลใหม่เข้ามาประกอบการตัดสินใจและตามคำแนะนำผู้ออกแบบ

7.1. ระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter และระบบสอบเทียบมาตรวัดมวล Coriolis Mass Flow Meter

เนื่องจากการออกแบบระบบท่อต้องพิจารณาภาพรวมของวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อสามารถออกแบบให้เหมาะสมและตรงกับความต้องการ ดังนั้นการจัดระบบท่อซึ่งครอบคลุมถึงระบบปั๊ม, วาล์วควบคุมอัตราการไหลและอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของการทำงานของอาคารปฏิบัติการฯ ด้วยเหตุนี้เราจึงพิจารณาการทำงานออกเป็น 5 ลักษณะการทำงาน (MODES) ดังสรุปความต้องการไว้ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบควรแนะนำและให้คำปรึกษาแก่สำนักชั่งตวงวัดด้วยเช่นกันว่าการพิจารณาลักษณะการทำงานทั้ง 5 เหมาะสมหรือไม่ เพียงพอหรือไม่ หากเห็นเป็นอย่างไรให้กำหนดและปรึกษาหารือกับสำนักชั่งตวงวัดด้วยเพื่อหาข้อสรุปในขั้นสุดท้าย

7.1.1. CALIBRATION MODE

7.1.1.1. สอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา (Master meter) ประจำระบบสอบเทียบ

- การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราจะการสอบเทียบโดยตรงกับถังตวงแบบมาตรา (volumetric tanks) ขนาด 8,000 ลิตร 5,000 ลิตร และ 1,000 ลิตร ด้วยระบบท่อที่เชื่อมต่อถึงกัน
- ใช้ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ไม่ใช้น้ำ

- สอบเทียบที่อัตราการไหลประมาณ 3 ถึง 5 อัตราการไหล หรืออาจจะมากกว่านี้ก็ได้ โดยดำเนินการติดต่อกันในช่วงเวลาที่ต่อเนื่อง
    - Q_{max}
    - $0.8\ Q_{max}$
    - $(Q_{max} + Q_{min})/2$
    - $0.2\ Q_{max}$
    - Q_{min}
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเหลวในระหว่างการสอบเทียบต้องไม่เปลี่ยนแปลงต่างกันเกิน 3 °C
- ท่อระบายอากาศต้องออกแบบให้ป้องกันความดันสูงเกินไปกับถังตวงแบบมาตรา และระบายออกสู่ภายนอกเป็นไปตามข้อกำหนดสากล เช่น API
- ระบบ overflow ประจำถังตวงแบบมาตราต้องคำนึงด้วย พร้อมการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้นได้ด้วย
- จัดทำระบบ Pipe support ที่เป็นระบบรางเพื่อยืดหยุ่นต่อการทำงาน (ดูรูปที่ 5)
- จัดให้มีถาดรองรับน้ำมันหยดแบบเคลื่อนที่หรือมาตรการอื่น ๆ ที่เหมาะสมเพื่อรองรับการถอดและติดตั้งมาตรวัดแบบมาตรา (master meter) รวมทั้งของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ค้างอยู่ในระบบท่อและตัวมาตรวัด และจัดให้มีระบบท่อ drain กลับลงสู่ถังเก็บพร้อมมี filter ก่อนลงร่วม drain line
- การจัดให้ระบบท่อมีการ Vent อากาศภายในท่อออกไปเพื่อให้ของเหลวไหลเต็มท่อจริง ๆ และการ drain ของเหลวออกจากระบบท่ออย่างสมบูรณ์เมื่อทำการสอบเทียบแล้วเสร็จพร้อมจัดให้มีส่วนที่สามารถ monitor ว่าทีการ vent และ drain เป็นไปอย่างสมบูรณ์
- จัดให้มีระบบสายการ์ด

รูปที่ 5 ระบบ Pipe support ที่เป็นระบบรางเพื่อความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน

7.1.1.2. สอบเทียบถังตวงแบบมาตรา 8,000 ลิตร, 5,000 ลิตร และ 1,000 ลิตร ประจำระบบสอบเทียบด้วยถังตวงแบบมาตราชั้นความเที่ยงสูงกว่า (ตารางที่ 46)

- การสอบเทียบถังตวงแบบมาตราโดยตรงกับถังตวงแบบมาตรา (volumetric tanks) ที่มีความเที่ยงสูงกว่าขนาด 1,000 ลิตร 500 ลิตรและ 100 ลิตร ด้วยวิธีการสอบเทียบแบบ Water Draw Method จึงต้องมี facilities เพียงพอต่อการยกหรือขนย้ายถังตวงแบบมาตรา (volumetric tanks) ที่มีความเที่ยงสูงกว่าจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งสูงกว่าถังตวงแบบมาตรา
- 8,000 ลิตร, 5,000 ลิตรและ 1,000 ลิตร ประจำระบบสอบเทียบ
- ใช้น้ำในการสอบเทียบ หรืออาจใช้ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
- จัดบ่อหรือช่องทางสำหรับ drain น้ำออกจาก Prover tank หลังจากทำการ Calibration (ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นของเหลวตัวกลาง) แต่ต้องจัดให้มี cap ปิดช่องทางระบายดังกล่าวด้วย เนื่องจากเป็นการเชื่อมต่อระบบจากภายในอาคารปฏิบัติการเข้าร่วมกับรางระบายรวมของศูนย์ฯ ด้วยเพื่อป้องการเหตุจาก oil spill

ตารางที่ 46 คาดการณ์การเลือกถังตวงแบบมาตราขั้นสูงกว่าสอบเทียบถังตวงแบบมาตราภายในอาคารปฏิบัติการฯ

Prover Tank I	Ref. Standard	Prover Tank II	Ref. Standard	Prover Tank III	Ref. Standard
8,000 l 5,000 l 2,000 l	2,000 l or/and 1,000 l (0.02%) or/and 100 l (0.01%)	5,000 l 3,000 l 1,000 l	2,000 l or/and 1,000 l (0.02%) or/and 100 l (0.01%)	1,000 l 500 l 200 l	1,000 l or/and 500 l, 200 l (0.02%) or/and 100 l (0.01%)

- หากใช้ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม หลังจากสอบเทียบถังตวงแบบมาตราเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ให้ระบายของเหลวดังกล่าวกลับถังเก็บสำรองด้วย Gravity flow พร้อมมีระบบตรวจสอบว่าการระบายของเหลวกลับนั้นเสร็จสิ้นสมบูรณ์
- ระบบ overflow ประจำถังตวงแบบมาตราต้องคำนึงด้วย พร้อมการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้นได้ด้วย
- จัดให้มีระบบสายการ์ดประจำถังตวงแบบมาตราที่ถูกสอบเทียบและถังตวงแบบมาตราที่นำมาใช้เพื่อการสอบเทียบ และระบบสอบเทียบที่เกี่ยวข้อง

7.1.1.3. การสอบเทียบ Non-automatic Weighing Instruments (platform scale) ด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (ตารางที่ 47)

- การสอบเทียบ Platform Scale ด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยงอย่างต่ำสุดเท่ากับ class M1, OIML R111
- เนื่องจาก Platform Scale และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เป็นระบบไฟฟ้าอิเล็คทรอนิค ดังนั้นอุปกรณ์ทั้งหมดต้องเป็นแบบ Explosion proof
- ในกรณีที่ใช้เครนเพื่อทำการยกและวางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราขนาด 500kg ลงบน Platform Scale นั้นความเร็วของเครนในแนวดิ่ง (slow mode) ควรมีความเร็วไม่ควรมากกว่า 0.5 cm/s ในกรณีที่เครนที่ใช้ไม่มี slow mode หรือไม่สามารถทำความเร็วให้ช้าเท่ากับ 0.5 cm/s ในแนวดิ่งได้ต้องจัดหาอุปกรณ์เสริมคือ ชุด

รอกเป็น-ตาย เพื่อทำการลดความเร็วในแนวดิ่งของเครนที่ใช้งานด้วย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการกระแทกของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา 500 kg กับ Platform Scale

- ถังตวงหรือ Hopper ที่วางอยู่บน Platform Scale ต้องออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายออกไปได้และสามารถนำกลับมาติดตั้งใหม่ได้ด้วยวิธีการที่ไม่ยากหรือซับซ้อน และควรกลับมาติดตั้งในตำแหน่งที่สมดุลเหมือนเดิมทุกครั้ง รวมทั้งการออกแบบระบบท่อเชื่อมต่อกับถังตวงหรือ hopper ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อสามารถทำการสอบเทียบ Platform Scale หากมีข้อจำกัดในการออกแบบไม่สามารถแยก Hopper ออกจาก Load Cells ได้ก็ต้องออกแบบระบบชั่งน้ำหนักให้สามารถจัดวางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้ได้ รวมทั้งอาจต้องออกแบบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราแบบพิเศษเพื่อการใช้งาน

- การสอบเทียบ Platform Scale จะกระทำอย่างน้อย 1 ครั้งต่อ 2 ปีแต่อาจมีการสอบเทียบเพิ่มเติมในช่วงระยะเวลาดังกล่าวได้หากมีเหตุผลอันควรว่าเครื่องชั่งนั้นให้ผลการชั่งที่คลาดเคลื่อน

- จัดให้มีระบบสายการ์ดประจำ Platform Scale

- ถังตวงหรือ Hopper ที่วางอยู่บน Platform Scale ต้องมีระดับน้ำเพื่อสามารถตรวจว่าถังตวงหรือ Hopper ดังกล่าวติดตั้งได้ระดับหรือไม่

- จัดให้มีระบบ overflow ประจำถังตวงหรือ Hopperบนเครื่องชั่ง

ตารางที่ 47 การเลือกตุ้มน้ำหนักแบบมาตราสอบเทียบเครื่องชั่ง Platform Scale

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Non-automatic weighing instrument) Class III, OIML R76,	ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา
Max. 15,000 kg, e = 2 kg, Min. = 40 kg, n= 7,500 Or Max. 15,000 kg, e = 5 kg, Min. = 100 kg, n= 3,000	500 kg, Class M1, OIML R111
Max. 8,000 kg, e = 1 kg, Min. = 20 kg, n= 8,000 Or Max. 8,000 kg, e = 2 kg, Min. = 40 kg, n= 4,000	500 kg, Class M1, OIML R111

ตารางที่ 48 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของ Platform Scale 15,000 kg เทียบกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

MPE	e = 2 kg n = 7,500	MPE	Class M1, OIML R111 500 kg
±0.5 e	0 ≤ m ≤ 1000 kg	±1 kg	2 x 25 g = 50 g
±1.0 e	1000 kg < m ≤ 4000 kg.	±2 kg	8 x 25 g = 200 g
±1.5 e	4000 kg < m ≤ 15000 kg	±3 kg	30 x 25 g = 750 g

ตารางที่ 49 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของ Platform Scale 8,000 kgเทียบกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

MPE	e = 1 kg n = 8,000	MPE	Class M1, OIML R111 500 kg
±0.5 e	0 ≤ m ≤ 500 kg	±0.5 kg	1 x 25 g = 25 g
±1.0 e	500 kg < m ≤ 2,000 kg.	±1 kg	4 x 25 g = 100 g
±1.5 e	2,000 kg < m ≤ 8,000 kg	±1.5 kg	16 x 25 g = 400 g

7.1.2. OPERATION MODE

ต้องสามารถสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมได้ดังที่กล่าวไว้ดังข้างต้น พร้อมกันนี้ได้เสนอ P & I diagram ไว้ในภาคผนวก เพื่อพิจารณาร่วมกัน เนื่องจากมีข้อรายละเอียดปลีกย่อยมากเกินกว่าสรุปไว้ในที่นี้ได้ชัดเจน แต่จะสามารถสรุปได้หลังจากสรุปความเห็นร่วมกับผู้ออกแบบในขั้นตอนต่อไป โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักชั่งตวงวัด

7.1.3. TESTING MODE (Hydrostatic testing) **ระบบท่อโดยใช้น้ำ**

หลังจากดำเนินก่อสร้างระบบท่อทั้งหมดแล้วเสร็จ รวมทั้งทาสีระบบท่อทั้งหมด (ยกเว้นแนวต่อเชื่อม) การทดสอบ Hydrostatic testing โดยใช้น้ำด้วยความดันและช่วงระยะเวลาที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล (ANSI, API) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประกันความคงทนและความปลอดภัยจากการใช้งานระบบท่อด้วย การจัดให้มี facilities เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับ Hydrostatic testing

ผู้ออกแบบระบบต้องกำหนดวิธีการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบ พร้อมวิธีการแก้ไขซ่อมแซมและปรับปรุงหากผลการทดสอบไม่ผ่าน

7.1.4. MAINTENANCE MODE

การออกแบบระบบท่อ, วาล์ว, เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งแบบมาตราทั้งหมดในระบบสอบเทียบนั้น ให้คำนึงเสมอว่าอุปกรณ์ดังกล่าวหากจำเป็นต้องทำการซ่อมแซมต้องสามารถถอดออกจากระบบเพื่อไปซ่อมแซมได้โดยต้องไม่ทำให้ระบบได้รับความเสียหาย หรือทำให้แบบมาตรากระทบหรือเสียความแม่นยำไป

การจัดให้มีการแยกระบบด้วย Blind เป็นสิ่งจำเป็นในบางกรณี เพื่อมั่นใจว่าของเหลวไหลไปได้ทิศทางเดียวเท่านั้น

ระบบไฟฟ้าต้องออกแบบให้สามารถหยุดการส่งจ่ายไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ไฟฟ้าดังกล่าวเมื่อต้องถอดเครื่องมืออุปกรณ์ดังกล่าวออกเพื่อซ่อมแซม

หลังจากถอดเครื่องมืออุปกรณ์ รวมทั้งแบบมาตราไปซ่อมแซมแล้วเสร็จ เมื่อนำกลับมาติดตั้งในตำแหน่งเดิมต้องไม่ทำให้สภาวะการทำงานสูญเสียไป

7.1.5. SECURITY MODE (Interlocking system)

ในการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบสอบเทียบทั้งหมด ต้องออกแบบการควบคุมและป้องกันในกรณีฉุกเฉิน อาจเนื่องจากการควบคุมปิดเปิดวาล์วหรืออุปกรณ์ใด ๆ ที่อาจทำงานผิดพลาดแล้วระบบทั้งหมดตต้องหยุดทำงานและระบายทั้งความดันและอุณหภูมิภายในระบบให้ลดลง และป้องกันไม่ให้แบบมาตราภายในระบบสอบเทียบเกิดความเสียหายและอยู่ในขั้นที่ปลอดภัยต่อระบบทั้งหมด หรือวิธีการที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานและทรัพย์สินของทางราชการด้วย

Interlock System เป็นเงื่อนไขในการออกแบบ Programmable Logic Control (PLC) ที่ต้องคำนึง

7.2. ระบบสอบเทียบสำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลวติดตั้งประจำรถบรรทุก

เช่นเดียวกันกับระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว PD & Turbine Flowmeter และระบบสอบเทียบสำหรับมาตรวัดมวล Coriolis mass flow meter

การออกแบบระบบท่อต้องจัดระบบท่อและปั๊มรวมทั้งวาล์ว และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับความต้องการของการทำงานจึงพิจารณาแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะการทำงาน (Mode) เช่นกัน

7.2.1. CALIBRATION MODE (การสอบเทียบถังตวงแบบมาตรา)

- การสอบเทียบถังตวงแบบมาตราโดยตรงกับถังตวงแบบมาตรา (volumetric tanks) ชั้นความเที่ยงสูงกว่าขนาด 1,000 ลิตร 500 ลิตร และ 100 ลิตร ด้วยวิธีการสอบเทียบแบบ gravity flow หรือ Water Draw Method จึงต้องมี facilities เพียงพอต่อการยกหรือขนย้ายถังตวงแบบมาตรา (Volumetric Tanks) ชั้นความเที่ยงสูงกว่าให้อยู่ในตำแหน่งสูงกว่าถังตวงแบบมาตรา 3,000 ลิตร, 2,000 ลิตร และ 1,000 ลิตร ประจำระบบสอบเทียบ ดูรูปที่ 50

ตารางที่ 50 คาดการณ์การเลือกถังตวงแบบมาตราชั้นความเที่ยงสูงกว่าสอบเทียบถังตวงแบบมาตราสำหรับสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุก

Prover Tank I	Ref. Standard	Prover Tank II	Ref. Standard	Prover Tank III	Ref. Standard
3,000 l	500 l (0.01-0.02%)	2,000 l	500 l (0.01-0.02%)	1,000 l	500 l (0.01-0.02%)

- ใช้น้ำ ในการสอบเทียบ หรืออาจใช้ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
- เนื่องจากการจัดวางถังตวงแบบมาตราขนาด 3,000, 2,000, และ 1,000 ลิตรนั้นจำเป็นต้องทำการจัดวางไว้ในหลุมหรือบ่อเพื่อสามารถทำการจัดเก็บของเหลวที่อาจรั่วไหลหรือไหลล้น เนื่องจากการ operate ที่อาจผิดพลาด ดังนั้นหากทำการสอบเทียบต้องทำมีวิธีการนำของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตราได้
- ท่อระบายอากาศต้องออกแบบให้ป้องกันความดันสูงเกินไป และ/หรือต่ำเกินไปกับถังตวงแบบมาตรา เป็นไปตามมาตรฐานสากล เช่น API

- ระบบ overflow ประจำถังตวงแบบมาตราต้องคำนึงด้วย พร้อมการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้นได้ด้วย
- จัดให้มีระบบสายการ์ดประจำถังตวงแบบมาตรา
- คุณสมบัติถังตวงแบบมาตราให้เป็นไปตามคำแนะนำของชั่งตวงวัด

7.2.2. OPERATION MODE

- ระบบสอบเทียบสามารถรองรับอัตราการไหลของเหลวที่ผ่านมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถ โดยใช้ Rubber Hose เข้าสู่ถังตวงแบบมาตราได้ทั้ง 3 ขนาด ด้วยการเลือกปิด-เปิดวาล์วภายในระบบท่อ
- ระบบท่อต้องออกแบบให้แน่ใจว่าของเหลวที่ผ่านมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถบรรทุกไหลไปยังถังตวงแบบมาตราโดยตรงไม่ไหลไปในระบบท่ออื่น ๆ และต้องมีวิธีการสามารถตรวจสอบได้
- มีระบบป้องกันการไหลของเหลวล้นเกินปริมาตรของถังตวง (overflow) ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องหรือระบบควบคุมที่ทำงานผิดพลาดก็ตาม ปริมาตรที่มากเกินไปดังกล่าวต้องถูกระบายออกไปอยู่ในที่จัดไว้เพื่อสามารถดูดกลับถังบรรจุบนรถบรรทุกได้ต่อไป ซึ่งต้องไม่รั่วออกจากระบบท่ออย่างเด็ดขาด
- ท่อระบายอากาศต้องออกแบบให้ป้องกันความดันสูงเกินไปกับถังตวงแบบมาตราและระบายออกสู่ภายนอกเป็นไปตามข้อกำหนดสากล เช่น API
- หลังจากวัดปริมาตรเป็นที่เรียบร้อย ให้ใช้ปั๊มดูดของเหลวกลับถังบรรจุบนรถบรรทุกโดยใช้ Loading Arms และใช้ Rubber Hose หากเป็นรถบรรทุกแบบ Bottom Loading
- ควรเลือก pump ดูดกลับ (return pump) มีอัตราการไหลประมาณ 1.1 x Q_{max} ของ meter ประจำรถบรรทุก และมีจำนวนอย่างน้อย 2 ตัว โดย 1 ตัวเป็น spared pump
- return pump ต้องสามารถดูดของเหลวออกจากถังตวงแบบ

มาตราทั้งหมดได้

- ถังตวงแบบมาตราต้องจัดให้มี sight glass เพื่อสามารถตรวจสอบว่าถังตวงแบบมาตราได้ถูก empty เรียบร้อยแล้วพร้อมทำการสอบเทียบในรอบต่อไป
- ถังตวงแบบมาตราที่อยู่ภายในหลุมทุกพิกัดกำลัง ต้องออกแบบให้ระดับพิกัดกำลังของแต่ระถังต้องอยู่ในแนวระดับสายตาเดียวกัน
- ถังตวงแบบมาตราต้องมีส่วนที่เป็นตัวกำหนดสภาวะเริ่มต้น ซึ่งเป็นแนวปะทะระหว่างการวัดปริมาตรแบบ Dynamic กับการวัดปริมาตรแบบ Static และสภาวะสิ้นสุดที่เท่ากันทุกครั้งของการสอบเทียบในรูปของ Sight Glass เพื่อจับเวลา Drain Time ดูรูปที่ 6
- ต้องจัดให้มีบ่อ sump เพื่อทำการดูดของเหลวที่อาจรั่วไหลเล็ดรอดให้มาสะสมอยู่ในบ่อ sump ดังกล่าวพร้อมสามารถเลือกใช้งานว่าจะเป็นปั๊มมือหมุน และ return pump
- จัดให้มีระบบสายการ์ดระหว่างระบบสอบเทียบกับรถบรรทุก

7.2.3. TESTING MODE (Hydrostatic testing) โดยใช้น้ำ

หลังจากดำเนินก่อสร้างระบบท่อทั้งหมดแล้วเสร็จ รวมทั้งทาสีระบบท่อทั้งหมด (ยกเว้นแนวต่อเชื่อม) การทดสอบ Hydrostatic testing โดยใช้น้ำด้วยความดันและช่วงระยะเวลาที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล (ANSI, API) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประกันความคงทนและความปลอดภัยจากการใช้งานระบบท่อด้วย การจัดให้มี facilities เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับ Hydrostatic testing

ในบางส่วนที่เป็น Rubber Hose นั้นก็ต้องทำการทดสอบในขั้นตอนตรวจรับระบบด้วย และการทำ Hydrostatic testing กับ Rubber Hose นั้นต้องเป็นไปตามมาตรฐาน BS หรือมาตรฐานสากลอื่นเทียบเท่า

ผู้ออกแบบระบบต้องกำหนดวิธีการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบ พร้อมวิธีการแก้ไขซ่อมแซมและปรับปรุงหากผลการทดสอบไม่ผ่าน

7.2.4. MAINTENACE MODE

เช่นเดียวกับหัวข้อ 7.1.3

7.2.5. SECURITY MODE (Interlocking system)

เช่นเดียวกับหัวข้อ 7.1.4

รูปที่ 6 ส่วนที่เป็นตัวกำหนดสภาวะเริ่มต้นของถังตวงแบบมาตราแนวปะทะของการวัด Dynamic กับ Static

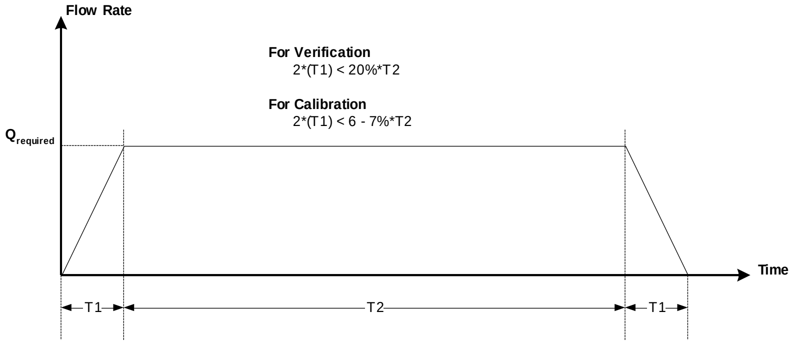
8. การควบคุมอัตราการไหล (Flow control)

เนื่องจากการสอบเทียบมาตรวัดจำเป็นต้องทำการสอบเทียบที่อัตราการไหลที่แตกต่างกันหลายอัตราการไหล มาตราวัดที่มีขนาดต่างกัน หรือชนิดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวแตกต่างกัน ล้วนมีผลต่ออัตราการไหลทดสอบอีกทั้งมีอัตราการไหลการใช้งานที่แตกต่างกันด้วย ด้วยเหตุนี้การควบคุมอัตราการไหลของระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมให้มีค่าที่แน่นอนและคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากเป็นอย่างยิ่ง

ในขณะเดียวกันช่วงระยะเวลาของการปิดและเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีความสำคัญอย่างยิ่งไม่แพ้เช่นกัน ในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นช่วงระยะเวลาที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลเริ่มเปิดจนกระทั่งได้อัตราการไหลที่ต้องการและต้องรักษาอัตราการไหลที่ต้องการให้คงที่ในช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 1 นาทีจากนั้นทำการปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลจนกระทั่งปิดแน่นสนิท ช่วงระยะเวลาทั้งหมดมีผลต่อความแม่นยำในการสอบเทียบเนื่องจากค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวมาเกี่ยวข้องซึ่งมิเตอร์แฟคเตอร์ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวมีค่าคงที่ 1 ค่าที่อัตราการไหลคงที่หนึ่งเท่านั้น เมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวก็เปลี่ยนแปลงเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ระยะเวลาที่วาล์วควบคุมเปิดจนได้อัตราการไหลที่ต้องการ บวกกับระยะเวลาที่วาล์วควบคุมปิดจากอัตราการไหลที่ต้องการจนกระทั่งปิดสนิท นั้นต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 - 7% ของช่วงระยะเวลาที่อัตราการไหลที่ต้องการไหลคงที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 ทั้งนี้เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวมีผลต่อการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่กระทำได้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของ Water hammer หรือปัญหาอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นทั้งโดยตรงและโดยทางอ้อมเนื่องจากการปิดเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เร็วมากจนเกินไป

นอกจากนี้ระบบสอบเทียบต้องออกแบบให้สามารถปรับอัตราการไหลอย่าง

ละเอียดได้ในช่วงหนึ่งได้ด้วย ด้วยการออกแบบผสมผสานระหว่างการใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) กับการปรับความถี่ของมอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มของระบบสอบเทียบด้วย ดังนั้นต้องสามารถปรับอัตราการไหลของ pump กระทำโดย vary frequency (45 Hz. – 39. Hz หรือช่วงความถี่ที่เหมาะสม) ควบคู่กับวาล์วควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 7 แสดงช่วงระยะการปิด-เปิด และการควบคุมอัตราการไหลของระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว

วาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ใช้กับระบบสอบเทียบแยกออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบสอบเทียบที่ใช้ Diesel (PD: 3,800 -190 l/min) กับระบบสอบเทียบที่ใช้ Kerosene (Turbine: 4,900-1667 l/min) โดยช่วงควบคุมอัตราการไหลครอบคลุมดังแสดงในตารางที่ 8 และใช้ Pneumatic control เป็นเงื่อนไขที่น่าพิจารณามากกว่า motor operation

ประเด็นที่สำคัญตามมาอีกประเด็นหนึ่งคือ ความดันย้อนกลับ (Back Pressure) ต้องออกแบบให้มีค่าความดันย้อนกลับสูงมากพอที่ไม่ทำให้ของเหลวภายในมาตรวัดมีความดันต่ำกว่าความดันไอของของเหลวชนิดนั้นเพื่อให้มั่นใจได้ว่ามาตรวัดปริมาตรของเหลวทำการวัดของไหลสถานะของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phrase)

ตำแหน่งติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลต้องอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกและง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษา

9. ระบบท่อ และวาล์ว (Piping System)

คาดว่าเป็นระบบท่อของระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมนั้นสามารถใช้งานได้กับน้ำ, ของเหลว Hydrocarbon, และ Fuel oil รวมทั้ง solvent ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงของเหลว Hydrocarbon และ/หรือ Fuel oil ให้ออกแบบและก่อสร้างบนมาตรฐาน ASME/ANSI B31.3 เป็นหลัก โดยมีสภาวะเงื่อนไขในการออกแบบระบบท่อ คือ

- Temperature Design 60 °C และ
- Pressure Design จนถึง 18.4 barg
- Clearance 1.5 mm.

ข้อกำหนดในต่อไปนี้ถือว่าเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของระบบท่อของอาคารปฏิบัติการฯ ผู้ออกแบบระบบสอบเทียบจะถือเป็นเหตุอ้างปฏิเสธความรับผิดชอบต่อผลงานของผู้ออกแบบเองไม่ได้อย่างเด็ดขาดหากเกิดความเสียใด ๆทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการทำงานของระบบซึ่งเกิดกับเจ้าหน้าที่และบุคคลที่เกี่ยวข้องตลอดจนทรัพย์สินของทางราชการและที่เกี่ยวข้องต่อเนื่อง

9.1. ท่อและ Fittings ท่อที่ใช้เป็นท่อ carbon steel ชั้นคุณภาพ API 5LGr. B ชนิดไม่มีตะเข็บ (Seamless) สำหรับข้อลด ข้องอ และอุปกรณ์ประกอบท่อ (reduce, elbow, plug, and else.) ให้เป็นไปตามตารางที่ 51

Fittings ทั้งหมดต้องเป็นแบบ Long Radius

9.2. วาล์ว วาล์วต่างๆที่ใช้ภายในระบบท่อเป็นวาล์วใหม่ไม่เคยใช้งานมาก่อนและเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 52 หากในขั้นตอนของการออกแบบนั้นจำเป็นต้องใช้วาล์วชนิดพิเศษซึ่งอาจแตกต่างจากที่กำหนดในตารางที่ 52 ต้องได้รับความเห็นชอบร่วมกันระหว่างผู้ออกแบบและสำนักชั่งตวงวัด

ก่อนนำวาล์วมาใช้งานต้องได้รับการทดสอบสอบ Hydrostatic test เพื่อทดสอบว่าวาล์วสามารถทดแรงดันตามที่ออกแบบได้หรือไม่ โดยทดสอบการซีลแต่ละด้านโดยการปิดวาล์วและอัดความดันด้วย 1.5 เท่าของ operating pressure แต่ละ

ด้าน และทดสอบตัว body ของวาล์วด้วยการเปิดวาล์ว โดยติดตั้ง Blind ด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งทำการอัดด้วยความดันเท่ากับ 1.5 เท่าของ operating pressure หากผู้ออกแบบวิธีการดีกว่าและเหมาะสมกว่าให้กำหนดรายละเอียดการทดสอบวาล์วและเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบ

ตารางที่ 51 ตารางระบบท่อ

	Nominal size	Material	Type	Wall thickness /Class
Pipe	1/2" - 1 1/2" 2" 2 1/2" – 6" 8" – 14"	API 5L Gr. B API 5L Gr. B API 5L Gr. B API 5L Gr. B	Seamless(S) S S S	Sch 80 Sch 40 Sch 40 Sch 20
Elbow,Tee , Reduce ,Cap	1/2" - 1 1/2" 2" – 14"	A 105 A234 Gr.WPB	S-SW S-BE	3000 lb
Coupling	1/2" – 1 1/2"	A 105	SW	3000 lb
Flange	1/2" - 1 1/2" 2" - 24"	A 105 A 105	SW-RF SO-RF	ANSI 150 ANSI 150
Blind flange	1/2" - 24"	A 105	RF	ANSI 150
Gasket	1/2" - 24"	Spiral Wound	4.5T(4.5mm.)	150, 32CB
Bolt/Nut	1/2" - 36"	A 193 Gr. B7 /A 194 Gr.2H	S.Bolt/Hex.Nut	150

หมายเหตุ

1. ERW Electric Resistance Weld
2. SW Socket Weld
3. BE Beveled End
4. SW-RF หน้าแปลนชนิด socket welding , raised face
5. SO-RF หน้าแปลนชนิด slip-on , raised face
6. 32CB Type 304 stainless steel spirally wound gasket with asbestos paper filler, outer ring SPCC = JiS G3141=ASTM A109-81) Trade name : VOLQUA 591-ZE1S, TOMBO 1834, PILLER 2202.

9.3. Pressure Relief Valve, Safety Relief Valve และ Flow Control valve

ในส่วนของ Pressure relief valve, Safety relief valve และวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Control valve) นั้นให้ผู้ออกแบบกำหนดและเลือกตาม

มาตรฐานสากลที่กล่าวไว้ เช่น API

ผู้ออกแบบต้องส่งรายการคำนวณและการเลือกวาล์วดังกล่าวแก่สำนักชั่งตวงวัด และผู้ออกแบบต้องกำหนดรายละเอียดการทดสอบวาล์วและเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบสามารถนำวาล์วทั้งหมดมาติดตั้งเข้ากับระบบท่อได้ก็ต่อเมื่อผ่านการทดสอบ

ตารางที่ 52 ตารางระบบวาล์วในระบบท่อ

	Nominal size	Body/Trim	Class	End	Type
Gate valve	1/2" - 2" 3" - 32"	A 105/SH A 216 Gr.WCB/13Cr	ANSI 800 ANSI 150	SW FLGD-RF	BB,OS&Y BB,OS&Y
Globe valve	1/2" - 2" 3" - 12"	A 105/SH A 216 Gr.WCB/13Cr	ANSI 600 ANSI 150	SW FLGD-RF	BB,OS&Y BB,OS&Y
Check valve	1/2" - 2" 3" - 24"	A 105/SH A 216 Gr.WCB	ANSI 600 ANSI 150	SW WAFER	BC ,LIFT DUAL PLATE
Butterfly valve	2"- 24"	FC20/RUBBER	ANSI 125	WAFER	
Ball valve	1/2" 4"	A 105 or A 216 Gr.WCB/ 304S.S	ANSI 150	FLGD-RF	

หมายเหตุ

1. BB — Body bonnet bolting
2. OS&Y — Outside screw and yoke type
3. BC , LIFT — Bolted cap , Lift type
4. SH — Surface hard facing

9.4. งานเชื่อมระบบท่อ สำนักชั่งตวงวัดกำหนดความต้องการขั้นต่ำของงานเชื่อมท่อของระบบท่อที่มีอยู่ภายในอาคารปฏิบัติการฯ ด้วยการเชื่อมงานแบบ Manual arc-welding electrodes (AWS A5.1 Specification for Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes และ AWS A5.5 Specification for Low Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes) ดังแสดงในตารางที่ 53 นั้น

ตารางที่ 53 การเชื่อมระบบท่อ

ชั้นเชื่อม	**ลวดเชื่อม (2.6-3.2 มม.)**
Root pass	KOBE LB52U
Hot pass	KOBE LB52 (AWS E7016)
Cover pass	KOBE LB52 (AWS E7016)

ให้ผู้ออกแบบกำหนดวิธีการและชนิด เบอร์ และขนาดลวดเชื่อม ในกรณีที่เป็นงานเชื่อมระบบท่อซึ่งท่อและfitting ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 51 ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานชั่งตวงวัด

ช่างเชื่อมต้องได้รับการทดสอบฝีมือและผ่านการทดสอบก่อนเชื่อมชิ้นงานจริงได้ และต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและสำนักชั่งตวงวัด

9.5. ระบบสี

สำหรับข้อกำหนดงานสีของระบบท่อและโครงสร้างทั่วไป กำหนดขั้นต่ำไว้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 54 หากผู้ออกแบบกำหนดเป็นอย่างอื่นต้องได้รับเห็นชอบจากสำนักชั่งตวงวัด

สำหรับการทาสีวาล์วต่างๆ ให้ทำความสะอาดพื้นผิวโลหะด้วย wire brush ระดับความสะอาดของผิวท่อ (Surface preparation) SSPC-SP3 ใช้ระบบสี Epoxy สีภายนอกสุดด้วยสี Bronze โดยความหนาสีมากกว่า 160 μm.

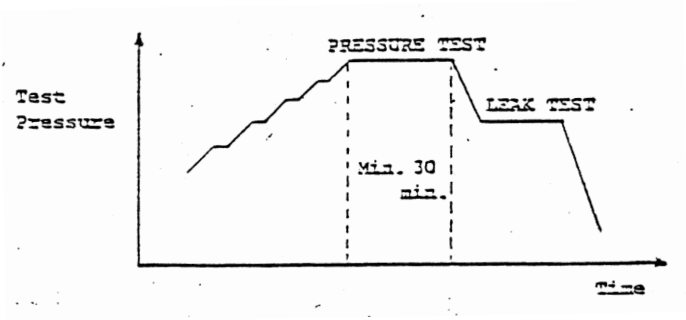
ตารางที่ 54 ตารางข้อกำหนดงานสีระบบท่อ และโครงสร้างทั่วไป

Surface Preparation		**SSPC-SP-10 (Sa 2 ½)**
Primer Coat	Generic Type	Inorganic zinc self-cure solvent base
	Min. DFT(μm.)	50
	No. Coats	1
Intermediate Coat	Generic Type	High build Polyamide Epoxy
	Min. DFT(μm.)	100
	No. Coats	1
Finish Coat	Generic Type	Polyamide Epoxy
	Min. DFT(μm.)	75
	No. Coats	1

9.6. Pressure Test หรือ Hydrostatic Test เพื่อให้แน่ใจว่าระบบท่อมีความแน่นปราศจากการรั่วไหล และสามารถทนต่อความดันตามที่ออกแบบได้หรือไม่ จำเป็นต้องทำการทดสอบระบบก่อนใช้งานจริง

- ของเหลวที่ใช้ทดสอบ ใช้น้ำสะอาด หากระบบใดประกอบด้วย Austenitic steel น้ำต้องประกอบด้วยสารคลอรีนต้องมีค่าต่ำกว่า 50 ppm
- รอยต่อของรอยเชื่อมท่อต่อไม่มีการทาสีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีสารหุ้มฉนวนก็ต้องแกะออกหรือต้องไม่ทำการติดตั้ง
- ตรวจสอบโครงสร้างทั้งหมดว่าสามารถรองรับน้ำหนักท่อและน้ำภายในท่อได้หรือไม่
- ถังตวงแบบมาตรา, pumps, relief valves อุปกรณ์ใด หรือวาล์ว หรือระบบท่อที่เดินแยกออกไปหากไม่อยู่ในขอบเขตของการทดสอบให้ทำการถอดออกไปหรือทำการแยกส่วนด้วย blind flanges
- ในส่วนที่เป็นมาตรวัดแบบมาตราประจำระบบท่อ รวมทั้งวาล์วควบคุม ผู้ออกแบบต้องเสนอวิธีการทดสอบก่อนทำการทดสอบจริง ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์ดังกล่าว
- ระบบท่อต้องออกแบบให้สามารถทำการ Vent อากาศออกจากระบบท่อในส่วนที่เป็นจุดสูงสุดของท่อแต่ละช่วงนั้น ๆ และต้องสามารถ drain ของเหลวออกจากระบบท่อในส่วนที่เป็นจุดต่ำสุดของท่อแต่ละช่วงนั้น ๆ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการเตรียมระบบในการทดสอบความดัน และเมื่อทำการทดสอบแล้วเสร็จ รวมทั้งการทำงานสอบเทียบจริง
- จัดมาตรวัดความดันมีพิกัดเท่ากับ 1.5-2 เท่าของความดันทดสอบติดตั้งห่างจากด้าน discharge ของ pump ประมาณ 1 เมตร และติดตั้งในส่วนที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดของระบบท่อที่ทดสอบ และในระดับปกติอย่างน้อยละ 1 ตัว

- ห้ามใช้วาล์ว เป็นตัวตัดตอนระบบหรือแยกระบบที่กำลังทดสอบความดันออกจากระบบที่ไม่ต้องการทดสอบ แต่เราจะทำการทดสอบวาล์วปิด-เปิด แยกอิสระต่างหาก
- ความดันทดสอบที่ Design temperature มีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความดันออกแบบภายในท่อ (internal design gage pressure) ค้างไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง หากความดันไม่ตกถือว่าผ่านการทดสอบ ทั้งนี้ให้ผู้ออกแบบระบบเป็นผู้กำหนดขั้นตอนการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบ โดยความเห็นชอบจากสำนักชั่งตวงวัด



รูปที่ 8 การทำ Hydrostatic Test ตามระยะเวลาและค่าความดันทดสอบ

- หากมีการรั่วไหลหรือท่อยืดจนไม่คืนรูปในส่วนที่ออกแบบให้เป็น Expansion loop ให้ดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมและทำการทดสอบใหม่
- ก่อนใช้งานระบบท่อให้ทำการ flushing ทำความสะอาดระบบท่อด้วย โดยวิธีการ flushing ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ออกแบบและสำนักชั่งตวงวัด

10. PUMPS

ผู้ออกแบบต้องออกแบบและเลือก Centrifugal Pumps เป็นไปตาม API STD 610 (Centrifugal Pumps for General Refinery Service) และ pumps

ดังกล่าวต้องได้รับรองและเป็นไปตามมาตรฐาน API 610 ด้วยเช่นกัน

- Vertical Submersible Centrifugal Pumps
- Mechanical seal
- Liquid service: Benzene, Kerosene and Diesel
- มอเตอร์ ไฟฟ้า 3 เฟส,
- Very speed by vary frequency
- Explosion proof จัดอยู่ใน Class I, Div. II (IEEE)

11. Design Codes

ข้อกำหนดในการออกแบบนี้เป็นเพียงข้อกำหนดในมุมกว้าง หากขัดแย้งกับกฎหมายหรือกฎกระทรวงหรือระเบียบของหน่วยงานที่รับผิดชอบในส่วนที่เกี่ยวข้องภายในประเทศไทยแล้วให้ใช้กฎ ระเบียบ ข้อบังคับดังกล่าวแทน และการใช้มาตรฐานดังกล่าวต่อไปนี้ให้ใช้ Edition ล่าสุดเท่านั้น

<u>API Standards and Recommendations</u>

API RP520 Design and Installation of Pressure-Relieving System in Refineries

API RP 521 Guide for Pressure Relief and Depressurizing Systems

API 526 Flanged Steel Safety Relief Valves

API 527 Commercial seat Tightness of Safety Relief Valves with Metal-to-Metal Seats

API STD 610 Centrifugal Pumps for General Refinery Service

API STD 1104 Standard for Welding Pipelines and Related Facilities

API 2000 Venting Atmospheric and low-pressure Storage Tanks

<u>ANSI Standard</u>

ANSI B 2.1 Piping Threads

ANSI B 16.5 Steel pipe Flanges and Flanged Fittings

ANSI B 31.3 Petroleum Refinery Piping

ANSI B 31.4 Liquid Petroleum Transportation Piping systems

ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Section VIII Unfired Pressure Vessels

AWS Standard

AWS A 5.1 Specification for Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes (SMAW)

AWS A5.5 Specification for Low Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes (SMAW)

SSPC

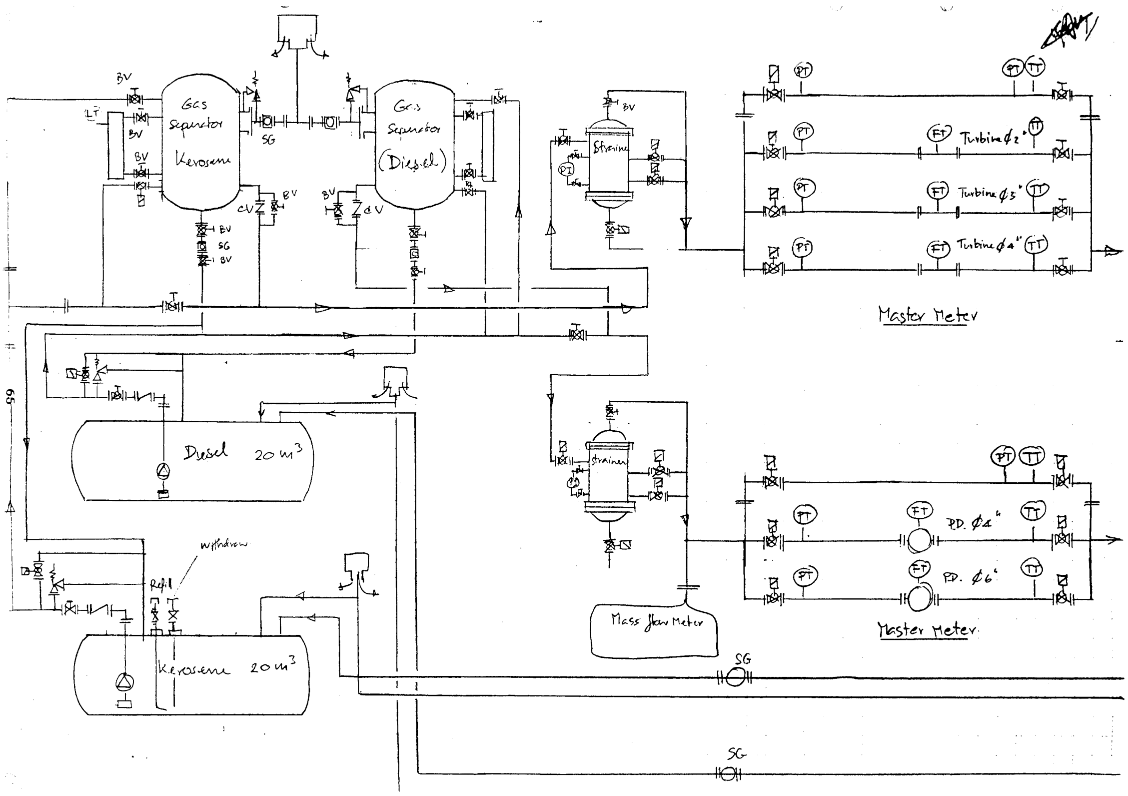
GUIDE TO SSPC-VIS 1, Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning, SSPC: The Society for Protective Coatings

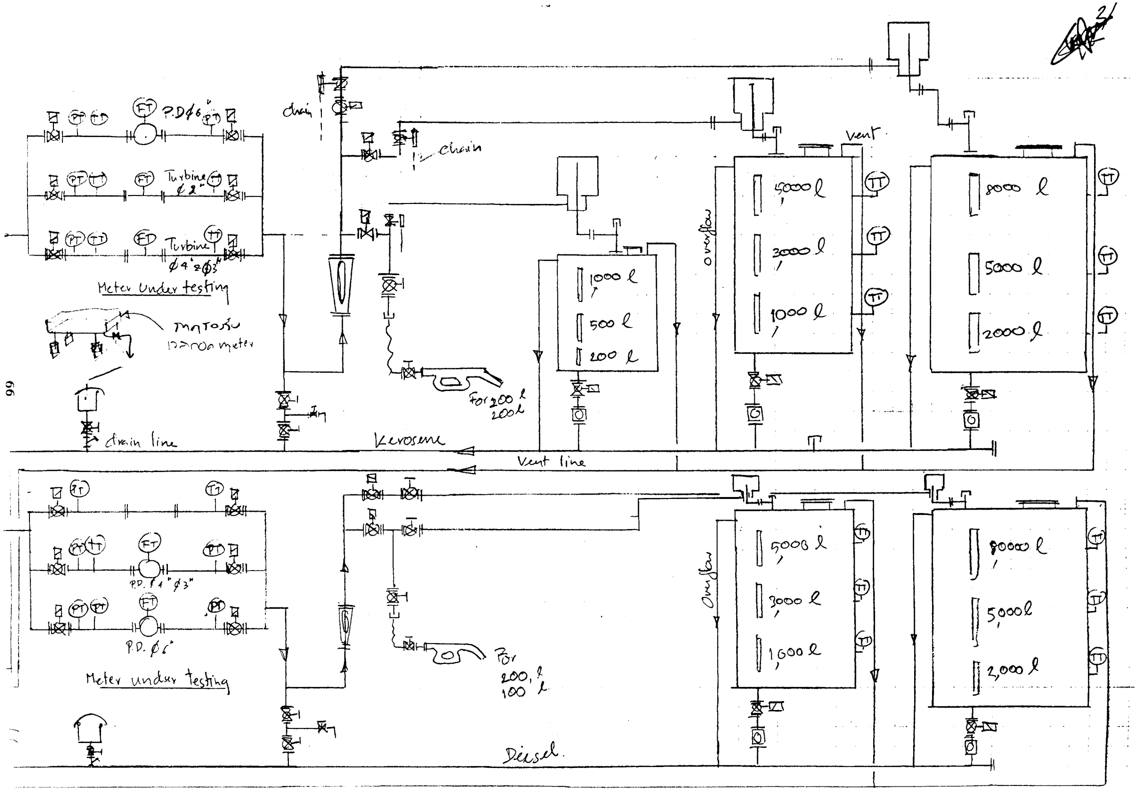
GUIDE TO SSPC-VIS 2, Standard Method of Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces, SSPC: The Society for Protective Coatings

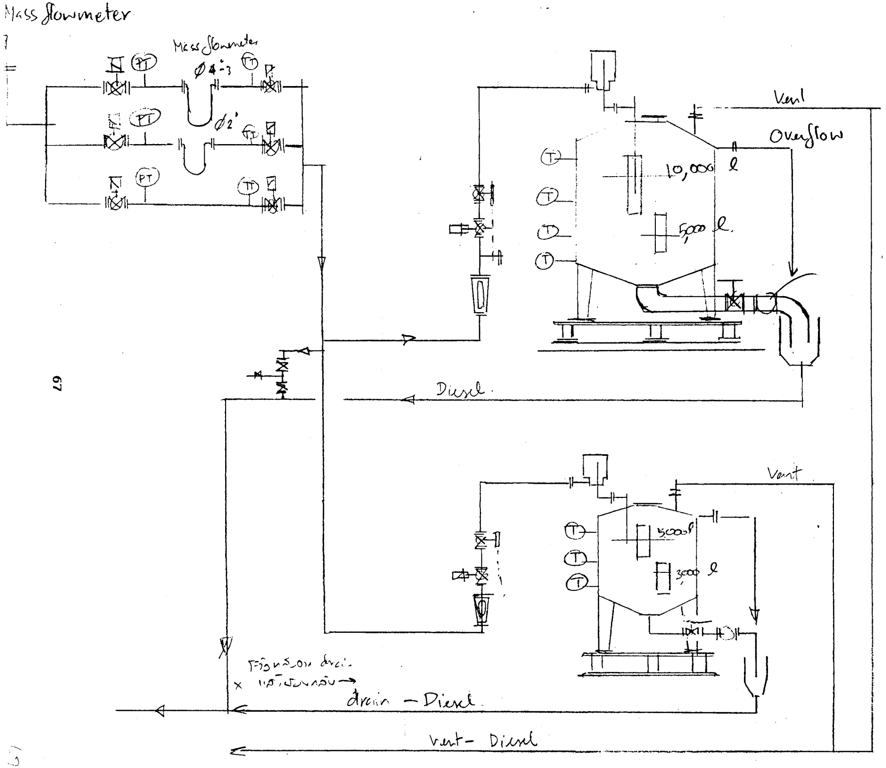
IEEE

แนวความคิดเบื้องต้น
ของระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

Piping & Instrument Diagram


Gas Separator Kerosene
Gas Separator (Diesel)
BV
LT
SG
CV
Strainer
PT
FT
TT
Turbine ϕ2"
Turbine ϕ3"
Turbine ϕ4"
Master Meter
Diesel 20 m3
Kerosene 20 m3
withdraw
Refill
P.D. ϕ4"
P.D. ϕ6"
Mass flow Meter
Master Meter


drain
P.D ϕ6"
Turbine ϕ2"
Turbine ϕ4" ϕ3"
Meter Under testing
drain line
For 200 l 200 l
1000 l
500 l
200 l
overflow
Vent
5000 l
3000 l
1000 l
8000 l
5000 l
2000 l
Kerosene
Vent line
P.D. ϕ4" ϕ3"
P.D. ϕ6"
Meter under testing
For 200, 100 l
Overflow
5000 l
3000 l
1,000 l
8000 l
5,000 l
2,000 l
Diesel

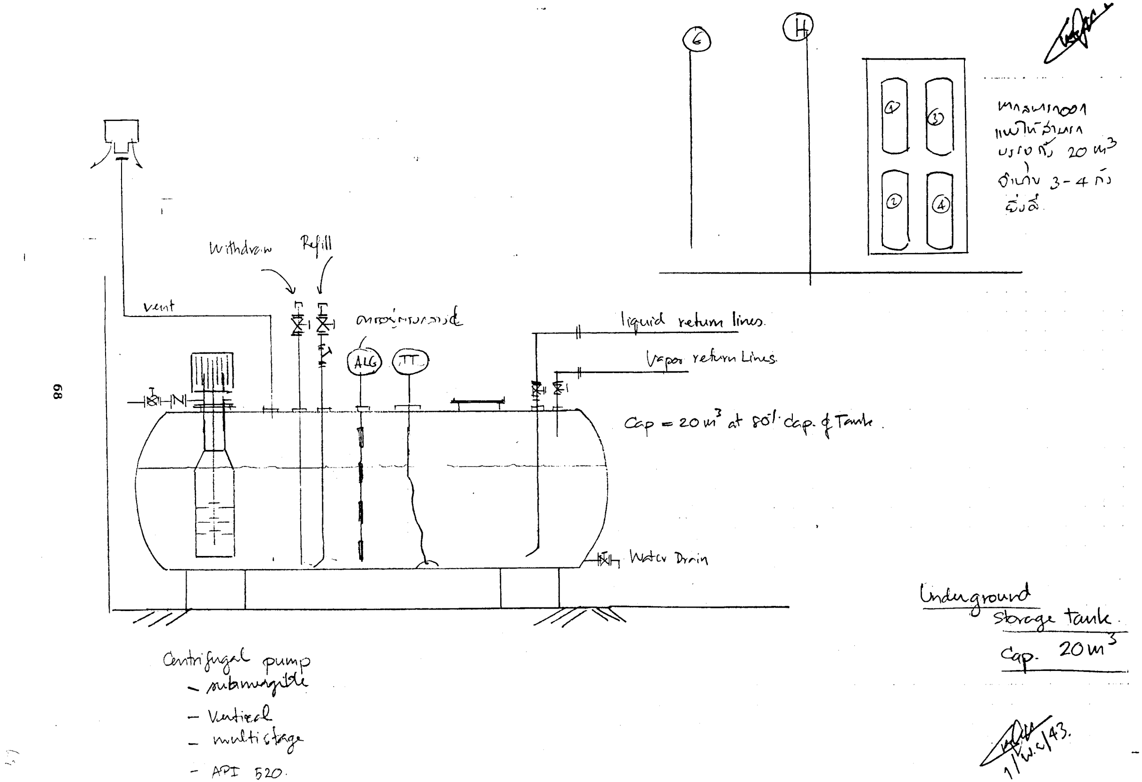


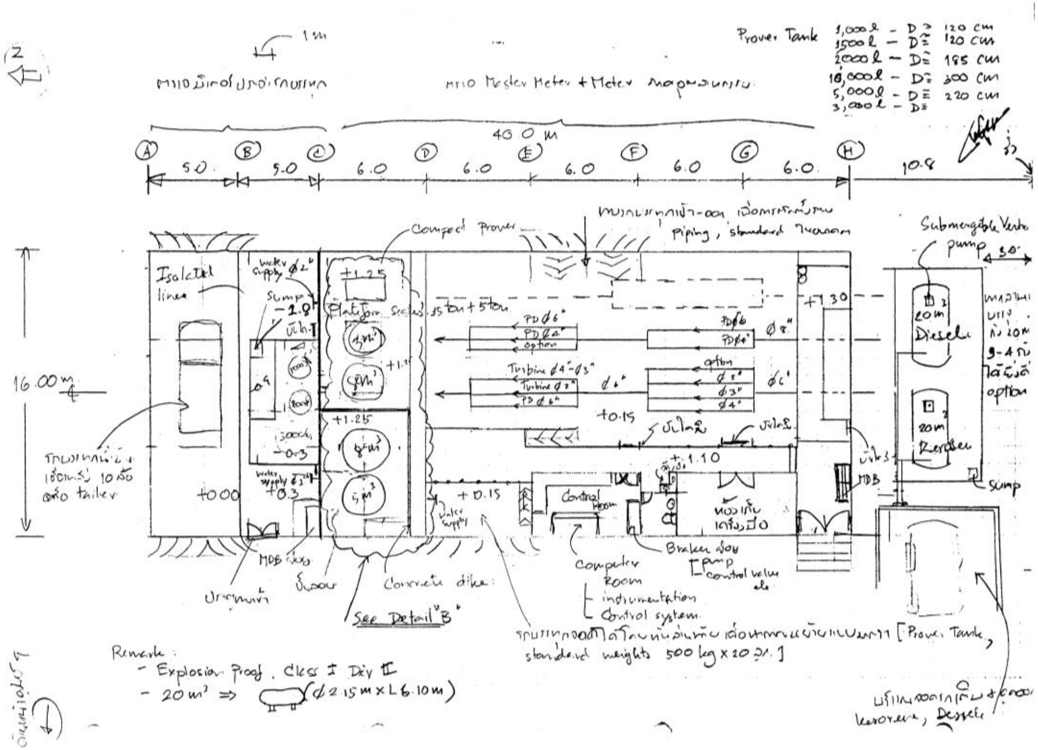
Remark

Top filling

Advantage → Reduce back pressure affecting on Meter in term of flowrate changing

Disadvan: water surface is not stiller and it will take long time to be subsided.


G
H
Withdraw
Refill
vent
ALG
TT
liquid return lines.
Vapor return Lines.
Cap = 20 m3 at 80% cap. of Tank.
Water Drain
Underground Storage tank.
Cap. 20 m3
Centrifugal pump
- submergible
- vertical
- multistage
- API 520.

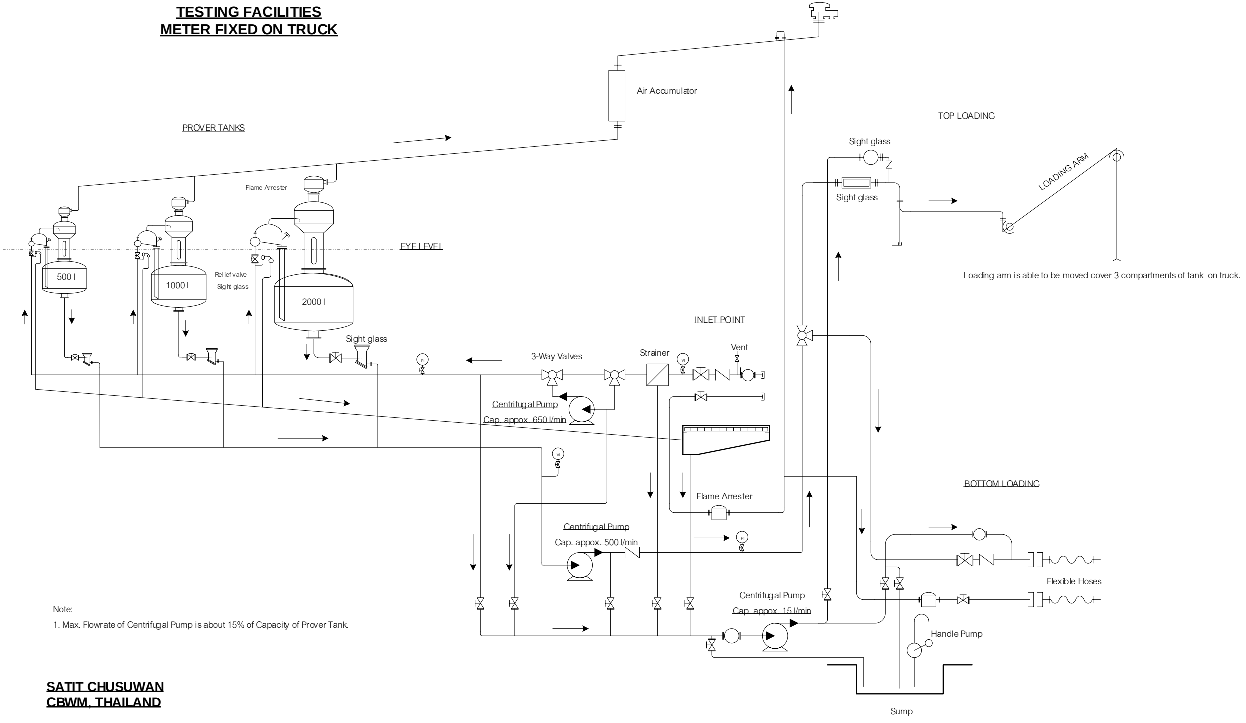

Prover Tank
1,000 l - D ≈ 120 cm
1500 l - D ≈ 120 cm
2000 l - D ≈ 185 cm
10,000 l - D ≈ 300 cm
5,000 l - D ≈ 220 cm
3,000 l - D ≈
40.0 m
5.0
5.0
6.0
6.0
6.0
6.0
6.0
10.8
16.00 m
Compact Prover
piping, standard
Submergible Vertical pump
Isolated line
Sump
Platform
+1.25
+1.30
+0.15
+1.10
+0.3
+0.00
PD ϕ 6"
Turbine ϕ 4"-ϕ 3"
20 m³ Diesel
20 m³ Kerosene
MDB
Sump
Control Room
Breaker
Computer Room
instrumentation
Control system
Concrete dike
See Detail "B"
Prover Tank,
standard weights 500 kg x 20
Remark
- Explosion Proof, Class I Div II
- 20 m³ ⇒ (ϕ 2.15 m x L 6.10 m)

แนวความคิดเบื้องต้น
ของระบบสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
ติดตั้งประจำรถยนต์บรรทุก

Piping & Instrument Diagram

P&I DIAGRAM

TESTING FACILITIES
METER FIXED ON TRUCK



Note:

1. Max. Flowrate of Centrifugal Pump is about 15% of Capacity of Prover Tank.

SATIT CHUSUWAN
CBWM, THAILAND

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
(Liquefied Petroleum Gas; LPG)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หมายถึง “**ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โปรเปน, โปรปิลีน, นอร์มัลบิวเทน, ไอโซบิวเทน หรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่**” โดยทั่วไปเรามักเรียก ก๊าซปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า ก๊าซ, แก๊ส, แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้ม ส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกันดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือ แอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อ มาจาก Liquefied Petroleum Gas ดังนั้นเพื่อความสะดวกต่อไปนี้เราจะเรียกว่า “LPG” หรือ “ก๊าซปิโตรเลียมเหลว”

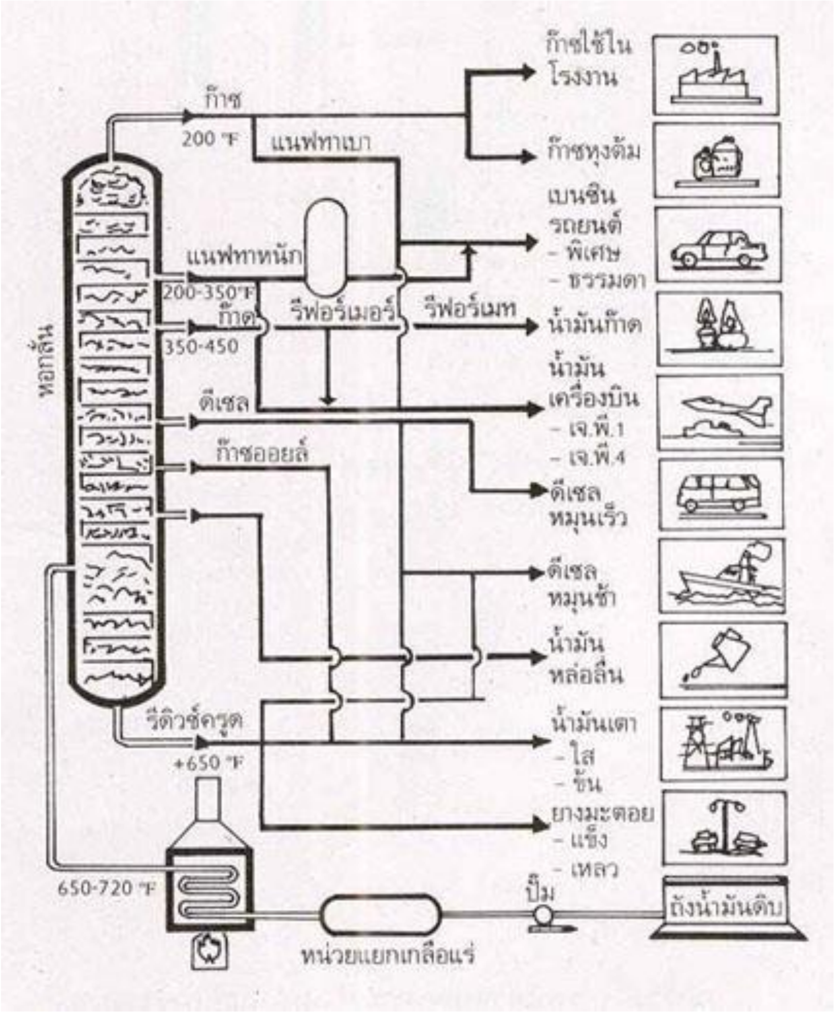
ก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยทั่วไปมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.5 - 2 เท่าของอากาศทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ LPG การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวก็เพราะก๊าซจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันจนมีสถานะเป็นของเหลวทั้งนี้ก็เพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง แต่เมื่อลดความดันก๊าซเหลวนี้จะกลายเป็นไอเพื่อสามารถนำมาใช้งานได้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวถูกจัดเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบัน และมีใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร โรงพยาบาล ร้านอาหาร รวมถึงร้านอาหารรวมถึงร้านอาหารประเภท Fast Food ในห้างสรรพสินค้า และกลุ่มอาคารศูนย์สินค้าขนาดย่อม ที่พักอาศัยประเภทคอนมิเนียม ตลอดจนพาณิชยกรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งภาคขนส่งในรถยนต์รับจ้างและรถยนต์ส่วนบุคคลซึ่งถือเป็นเป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งเมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูง เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานง่ายด้วยระบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับแหล่งเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถขนส่งสะดวกไม่เปลืองที่จัดเก็บทำให้มีปริมาณเหมาะสมต่อรอบปริมาณใช้งาน และที่สำคัญคือ เผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

1. **แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว** แหล่งที่มาของก๊าซมี 2 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่

1.1. ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งจะได้ก๊าซโปรเปนและบิวเทนประมาณ 1-2% แต่ก่อนที่จะนำน้ำมันดิบเข้ากลั่น ต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ออกเสียก่อน หลังจากนั้นให้ความร้อนน้ำมันดิบจนมีอุณหภูมิประมาณ 340 - 400 °C จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งภายในประกอบด้วยถาด (tray) เป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไป เมื่อเย็นตัวลงจะกลั่นตัวเป็นของเหลวบนถาดตามชั้นต่าง ๆ และจะอยู่ชั้นใดขึ้นอยู่กับช่วงจุดเดือด องค์ประกอบในน้ำมันที่มีช่วงจุดเดือดต่ำ (เป็นไอได้ง่าย) จะลอยขึ้นสู่เบื้องบนของหอกลั่นได้แก่ พวกไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ (LPG รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีช่วงจุดเดือดปานกลางและสูงก็จะแยกตัวออกและลอยตัวขึ้นไปจนถึงตอนกลางและตอนล่างของหอกลั่นตามลำดับ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบน้ำมันดิบจำพวกแนพทา (Naphtha), น้ำมันก๊าด, น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา ตามลำดับ (ดูรูปที่ 1 และรูปที่ 2)

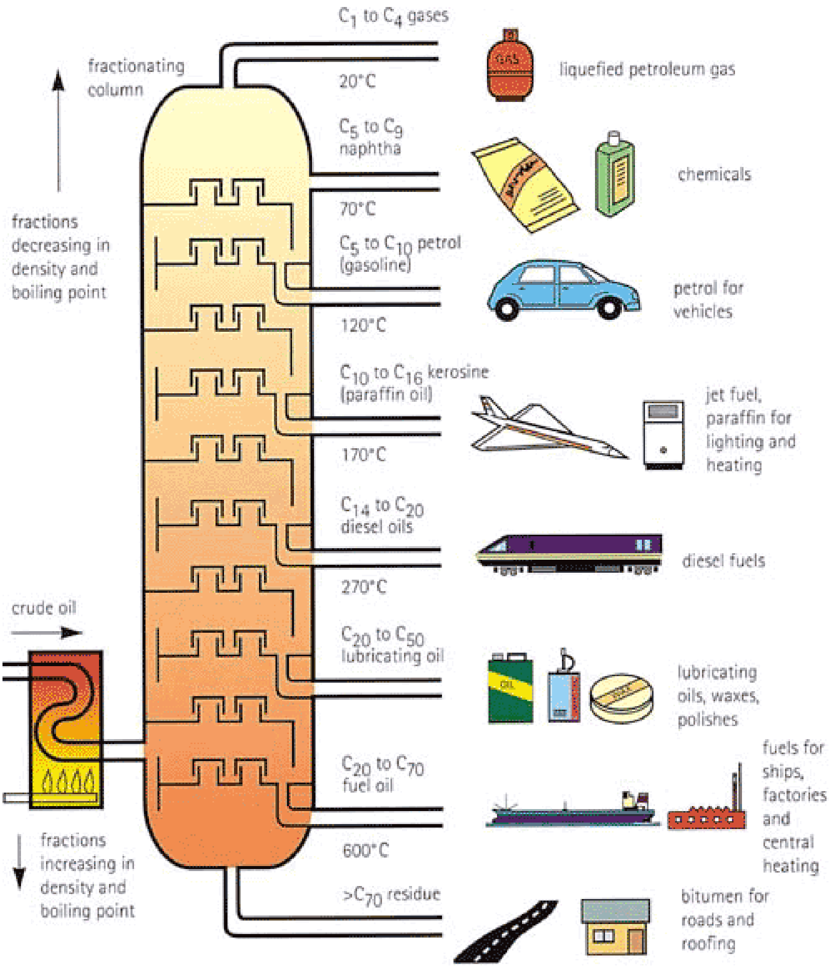
องค์ประกอบของน้ำมันดิบจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซและก๊าซชนิดต่างๆที่ผสมอยู่ในน้ำมันดิบจะถูกกลั่นโดยจะลอยตัวออกจากด้านบนของหอกลั่นรวมเรียกว่า “ก๊าซปิโตรเลียม” ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมถึง 4 อะตอมและมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไนโตรเจน (N_2), ไฮโดรเจน (H_2) และอื่น ๆ ปนอยู่ จำเป็นต้องกำจัดหรือแยกออกโดยนำก๊าซปิโตรเลียมผ่านเข้าหน่วยแยกก๊าซ LPG (Gas Recovery Unit) และขบวนการตามขั้นตอนของผู้เจริญแล้วด้วยเทคโนโลยีซึ่งขอละไว้ที่นี้ ทั้งนี้เพราะว่าการออกแบบกระบวนการกลั่นนั้นมีด้วยกันหลากหลายขึ้นอยู่กับเทคนิคและค่าใช้จ่ายของกระบวนการกลั่นและแหล่งน้ำมันดิบที่ต้องการจะทำการกลั่น หลังจากนั้นหน่วยแยก LPG ทำการแยกเอาโปรเปนและบิวแทน (ซึ่งต่อไปจะเป็น LPG) ออกมา หลังจากนั้น LPG จะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บและมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดันหรือถังสำรองที่เก็บด้วยอุณหภูมิติดลบ

ก๊าซ LPG ที่ได้จากส่วนนี้เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยปริมาณผลิตผลพลอยได้ (by product) ประมาณ 2 % ของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้



ก๊าซ
200 °F
แนฟทาเบา
ก๊าซใช้ใน
โรงงาน
ก๊าซหุงต้ม
เบนซิน
รถยนต์
- พิเศษ
- ธรรมดา
แนฟทาหนัก
200-350 °F
ก๊าด
350-450
รีฟอร์เมอร์
รีฟอร์เมท
น้ำมันก๊าด
หอกลั่น
น้ำมัน
เครื่องบิน
- เจ.พี.1
- เจ.พี.4
ดีเซล
ก๊าซออยล์
ดีเซล
หมุนเร็ว
ดีเซล
หมุนช้า
น้ำมัน
หล่อลื่น
รีดิวซ์ครูด
+650 °F
น้ำมันเตา
- ใส
- ข้น
ยางมะตอย
- แข็ง
- เหลว
650-720 °F
ปั๊ม
ถังน้ำมันดิบ
หน่วยแยกเกลือแร่

รูปที่ 1 หอกลั่น



รูปที่ 1(-ต่อ-) หอกลั่น

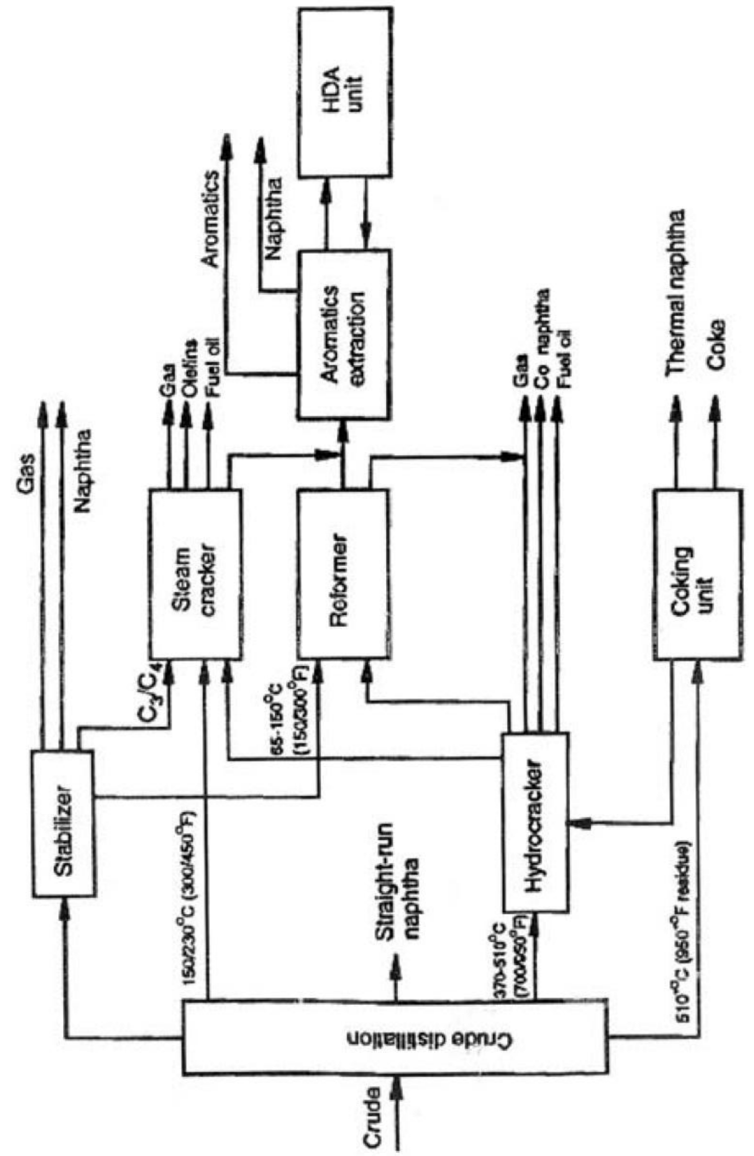
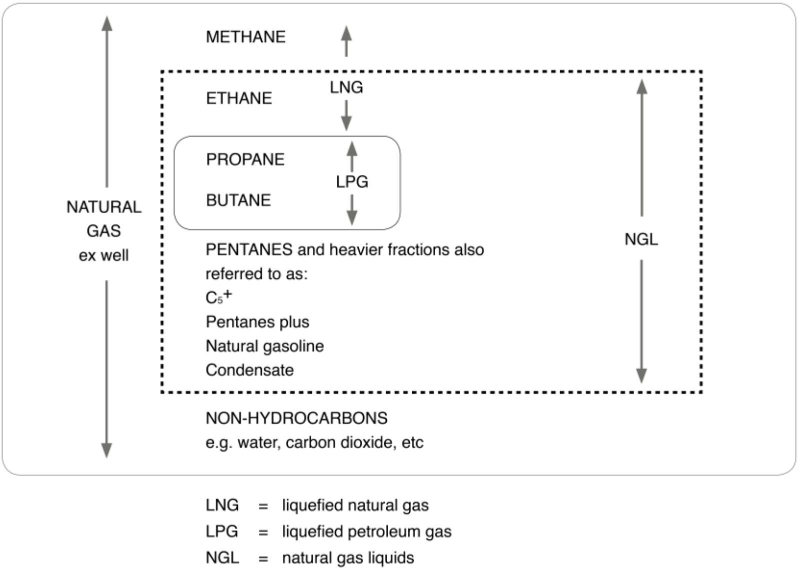


Figure 1.17. A petrochemical refinery configuration.

รูปที่ 2 กระบวนการกลั่นทางด้านปริโตรเคมีจากน้ำมันดิบ

1.2. ได้จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ โดยผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยแหล่งขุดเจาะก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณอ่าวไทย หลังจากสามารถสำรวจและขุดเจาะพบก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติก็จะถูกอัดส่งผ่านระบบท่อความดันสูงจากแท่นขุดเจาะ เดินระบบท่อบนพื้นทะเลอ่าวไทยขึ้นบริเวณชายฝั่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงแยกก๊าซธรรมชาติเพื่อทำการแยกก๊าซแตกละชนิดออกมาลักษณะของก๊าซ LPG ที่ผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะไม่มีสี ไม่มีรสและไม่มีกลิ่น ผู้ดูแลกิจการเจ้าใหญ่สุดในส่วนนี้ หนีไม่พ้น ปตท. ซึ่งยัง งงง อยู่ว่าเป็นบริษัทมหาชนหรือเป็นรัฐวิสาหกิจ

โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) จะมีองค์ประกอบตามรูปที่ 3

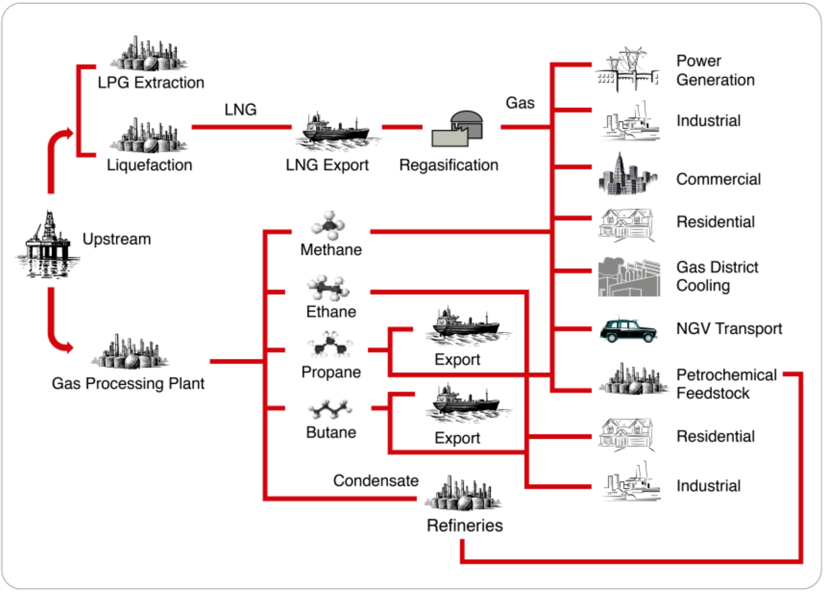


รูปที่ 3 Constituents of Natural Gas

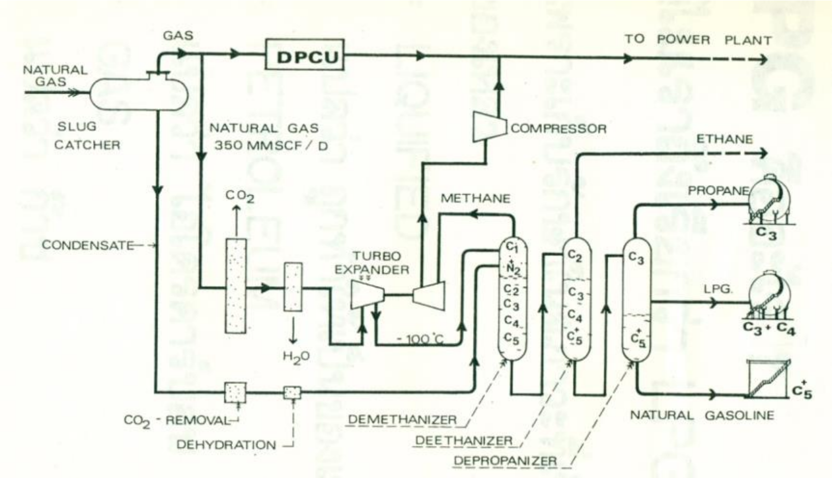
เมื่อนำก๊าซธรรมชาติขึ้นมาจากแหล่งขุดเจาะจากแหล่งธรรมชาติแล้วขนส่งทางท่อเข้าสู่โรงแยกก๊าซ (Gas Separation Plants) เพื่อทำการแยกเอาสาร

ไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โปรเปน (Propane) บิวเทน (Butane) และก๊าซอื่น ๆ กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ (ดูรูปที่ 5) เริ่มต้นด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำที่เจือปน อยู่ในก๊าซธรรมชาติออกก่อน โดยกระบวนการ Benfield ซึ่งใช้โปตัสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการดูดซับ (Absorption Process) โดยใช้สารจำพวก Molecular Sieve ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ก๊าซธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้จะผ่านเข้าไปใน Turbo-expander เพื่อลดอุณหภูมิจาก 250 °K เป็น 170 °K และลดความดันลงจาก 43 บาร์ เป็น 16 บาร์ ก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน (De-methanizer) มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไป และส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป (ethane plus stream) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอแยก จากนั้นผลิตภัณฑ์ของเหลวดังกล่าวจะถูกต่อไปยังหอแยกอีเทน (De-ethanizer) และหอแยกโปรเปน (De-propanizer) เพื่อแยกอีเทนและ โปรเปนออกตามลำดับต่อไป ในหอแยกโปรเปนนี้เองตัวโปรเปนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอ ส่วน LPG ซึ่งเป็นส่วนผสมของโปรเปนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอ และส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่างคือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline) ทั้งนี้อย่าสับสนกับ ก๊าซธรรมชาติเหลว (NGL; Natural Gas Liquid) ซึ่งเป็นชื่อเรียกรวมของผลิตภัณฑ์ดังในรูปที่ 4 และในรูปที่ 6 เท่าที่จำความได้ การออกแบบโรงแยกก๊าซของ ปตท. เดิมทีไม่ได้รับการออกแบบให้รองรับการทำงานเพื่อกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พอแท่งขุดเจาะส่งก๊าซธรรมชาติที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงแยกก๊าซก็เดี้ยงไปหน่อย ต้องติดตั้งหน่วยกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มเติม แต่อย่าเชื่อผมผมอาจจำผิดก็ได้

สำหรับผลผลิต LPG ที่ได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติจะมีก๊าซโปรเปนและบิวเทนในก๊าซธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 6-10%



รูปที่ 4 Natural Gas Valve Chain



รูปที่ 5 ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ

Table 1-1 Properties of Natural Gas

Properties	Value
Relative molar mass	17–20
Carbon content, weight %	73.3
Hydrogen content, weight %	23.9
Oxygen content, weight %	0.4
Hydrogen/carbon atomic ratio	3.0–4.0
Relative density, 15 °C	0.72–0.81
Boiling point, °C	−162
Autoignition temperature, °C	540–560
Octane number	120–130
Methane number	69–99
Stoichiometric air/fuel ratio, weight	17.2
Vapor flammability limits, volume %	5–15
Flammability limits	0.7–2.1
Lower heating/calorific value, MJ/kg	38–50
Stoichiometric lower heating value, MJ/kg	2.75
Methane concentration, volume %	80–99
Ethane concentration, volume %	2.7–4.6
Nitrogen concentration, volume %	0.1–15
Carbon dioxide concentration, volume %	1–5
Sulfur concentration, weight % ppm	<5
Specific CO_2 formation, g/MJ	38–50

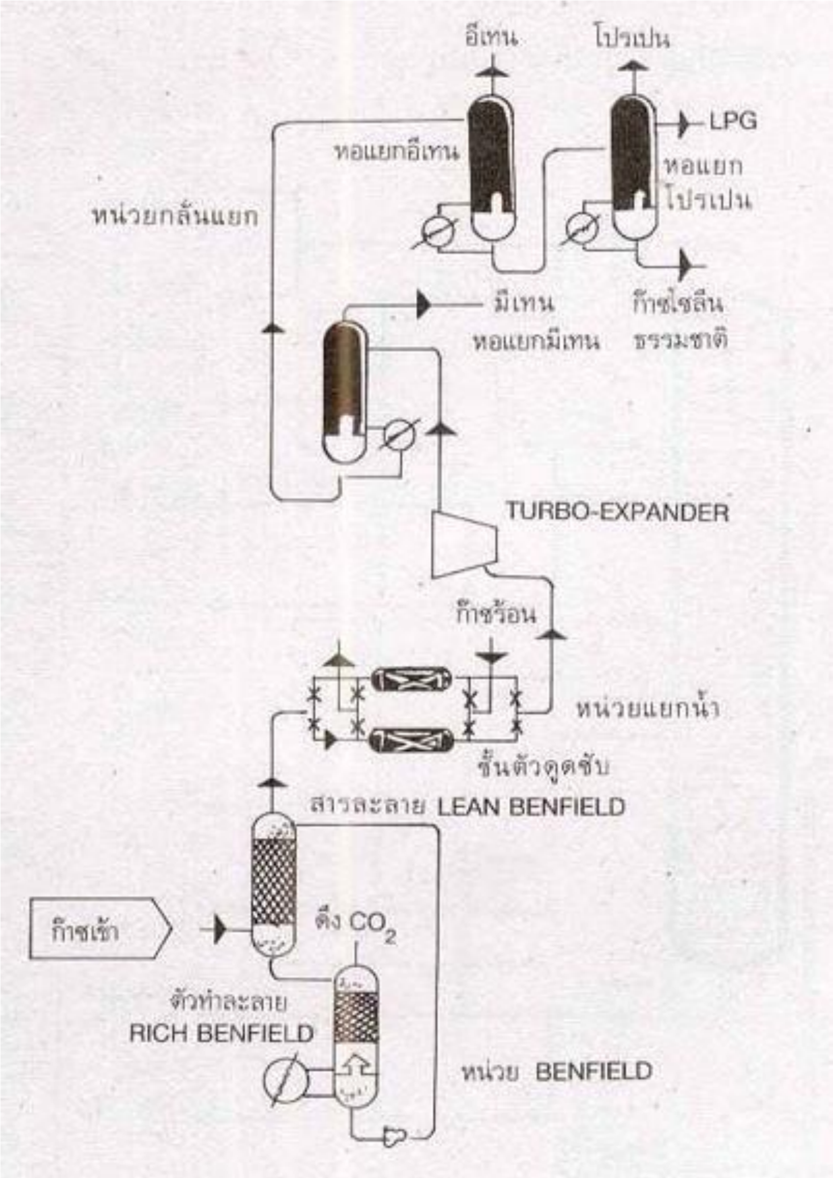
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)

FIG. 1-1

Typical Components of Industry Streams

	Components											
	CO_2	H_2S	N_2	C_1	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	C_6	C_{7}+
Inert Gas	•		•									
Acid Gas	•	•										
LNG			•	•	•	•	•	•				
Natural Gas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LPG					•	•	•	•				
Natural Gasoline						•	•	•	•	•	•	•
NGL					•	•	•	•	•	•	•	•
Condensate (Stabilized)							•	•	•	•	•	•

รูปที่ 5 องค์ประกอบของก๊าซ และของเหลวปิโตรเลียม



รูปที่ 7 ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ

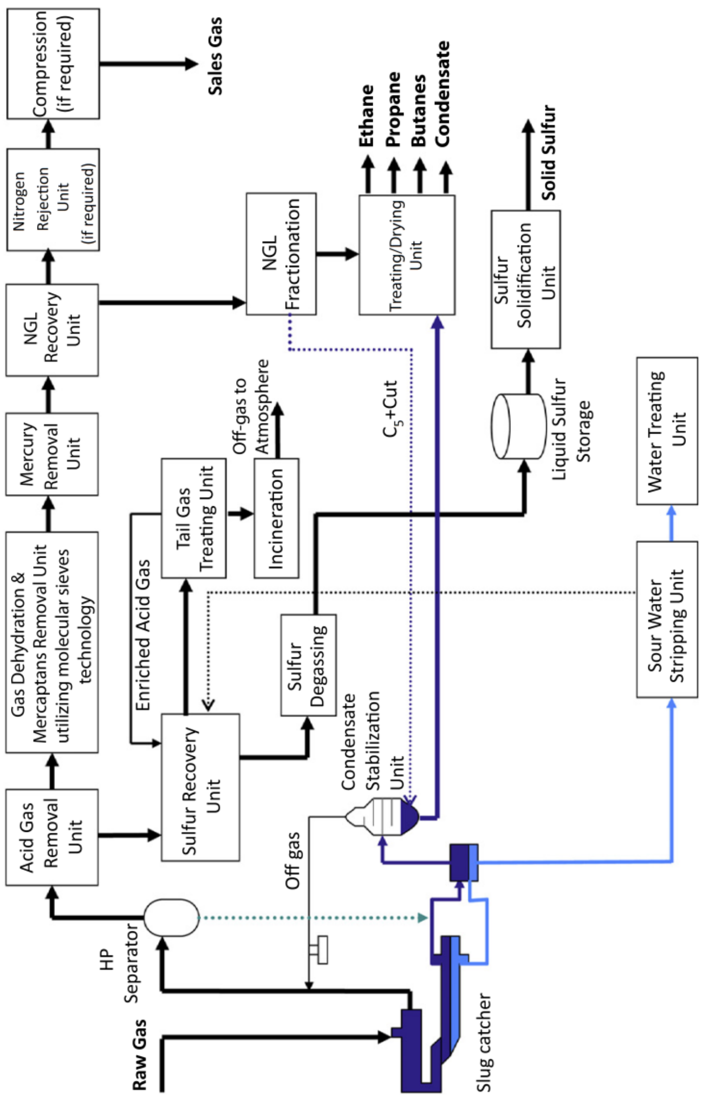
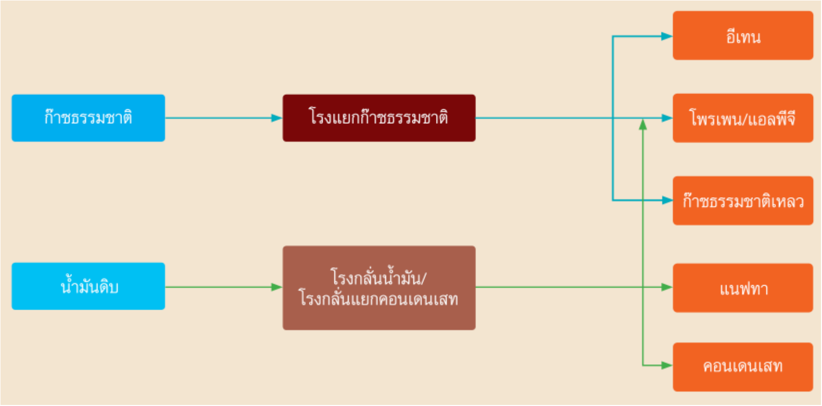


FIGURE 3-3
Process units in a gas plant for NGL production.

รูปที่ 8 ขั้นตอนการแยกก๊าซ NGL เพื่อให้ได้ก๊าซ LPG



รูปที่ 9 แหล่งผลิตหลักให้ได้ก๊าซ LPG

ลักษณะของก๊าซ LPG ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะมีคุณสมบัติคล้ายกับคุณสมบัติของก๊าซที่ผ่านโรงกลั่นน้ำมันเช่นเดียวกัน คือ จะไม่มีสี ไม่มีรส (ไม่เคยชิมเช่นกัน) และไม่มีกลิ่น ด้วยเหตุนี้ในการใช้งานก๊าซ LPG ทั้งในรูปการจัดเก็บภายในถังความดันสูงหรือเพื่อการขนส่งจึงต้องเติมสารมีกลิ่นซึ่งค่อนข้างมีกลิ่นเหม็นลงไปเรียกว่า "Mercaptan–เมอร์แคปแตน" เพื่อประโยชน์หากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจุจะทำให้เราได้กลิ่นก่อนล่วงหน้า และสามารถแก้ปัญหาได้ทันการณ์

นอกจากนี้ในกรณีที่ประเทศไม่สามารถขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ได้เอง การผลิต LPG (มาถึงจุดนี้จะมีบางคนเริ่มมึนอะไรคือ LPG หรือเปล่า หากมึนก็ขอให้กลับไปอ่านนิยามในย่อหน้าแรกสุดของบทความน่ะขอรับ !) จึงอยู่ในรูปของการนำเข้า NGL (Natural Gas Liquid) เพราะไม่สามารถนำเข้าก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ได้เนื่องจากปริมาณการขนส่งด้วยเรือไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจยกเว้นสามารถขนส่งด้วยระบบท่อ การนำเข้าผลิตภัณฑ์ในรูปของ NGL (Natural Gas) จึงมีความคุ้มค่ามากกว่า ดังนั้นเมื่อนำเข้ามาแล้วก็ต้องนำ NGL เข้ากระบวนการแยกก๊าซเช่นเดียวกัน โดยมีขั้นตอนดังในรูปที่ 8 ในบางประเทศหรือบางบริษัทฯอาจมีขั้นตอนที่แตกต่างจากรูปที่ 8 ก็ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ ในที่นี้ยกรูปมาเพื่อความสนุกและความมันครับเอาให้มึนกันไปข้างหนึ่งแต่ที่แน่ ๆ ผมมึนก่อน

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรเปน (propane) เป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ใดมากน้อยเพียงใดหรือจะมีสัดส่วนของ C_3 และ C_4 เท่าใดขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติ ส่วนในกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบของโรงกลั่นน้ำมันนั้นจะได้บิวเทน (butane) เป็นส่วนใหญ่แต่อาจมีการผสมของผลิตภัณฑ์ C_3 และ C_4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-saturated Hydrocarbon) ซึ่งมักประกอบด้วยโปรปิลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene) และ butylene-2 เอาล่ะชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเริ่มปวดหัวแล้ว แต่ต้องค่อยๆ เรียนรู้กันต่อไปว่ามันคืออะไร

2. คุณสมบัติทางเคมี

เนื่องจากมีการใช้คำว่า LPG กันหลากหลาย ดังนั้นสถาบัน Gas Processors Association (GPA) จึงได้กำหนดมาตรฐานของ LPG ขึ้นมาพร้อมวิธีการตรวจสอบ GPA Standard 2140-97 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods ดังในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ซึ่งย่อยข้อมูลลงมาในบางมิติ พอจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1. Commercial Propane : องค์ประกอบหลักคือ โปรเปน และ/หรือ โปรปิลิน
2. Commercial Butane :องค์ประกอบหลักคือ บิวเตน และ/หรือ บิวทิลีน
3. Commercial B-P Mixture :องค์ประกอบหลักเป็นส่วนผสมระหว่างคือ โปรเปน และ/หรือ โปรปิลิน กับบิวเตน และ/หรือ บิวทิลีน
4. Propane HD-5 : ประกอบด้วยโปรเปนไม่น้อยกว่า 90% โดยปริมาตรกับโปรปิลินไม่เกิน 5 % โดยปริมาตร

FIG. 2-1

GPA Liquefied Petroleum Gas Specifications
(This Table Extracted From GPA Standard 2140-97)

Product Characteristics	Product Designation				
	Commercial Propane	Commercial Butane	Commercial B-P Mixtures	Propane HD-5	Test Methods
Composition	Predominantly propane and/or propylene.	Predominantly butanes and/or butylenes.	Predominantly mixtures of butanes and/or butylenes with propane and/or propylene.	not less than 90 liquid volume percent propane; not more than 5 liquid volume percent propylene.	ASTM D-2163-91
Vapor pressure at 100°F, psig, max. at 37.8°C, kPa (ga), max.	208 1434	70 483	208 1434	208 1434	ASTM D-1267-95
Volatile residue: temperature at 95% evaporation, °F, max. or °C, max. butane and heavier, liquid volume percent max. pentane and heavier, liquid volume percent max.	 –37 –38.3 2.5 —	 36 2.2 — 2.0	 36 2.2 — 2.0	 –37 –38.3 2.5 —	 ASTM D-1837-94 ASTM D-2163-91 ASTM D-2163-91
Residual matter: residue on evaporation of 100 ml, max. oil stain observation	 0.05ml pass (1)	 — —	 — —	 0.05 ml pass (1)	 ASTM D-2158-92 ASTM D-2158-92
Corrosion, copper strip, max.	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	ASTM D-1838-91 (Note A)
Total sulfur, ppmw	185	140	140	123	ASTM D-2784-92
Moisture content	pass	—	—	pass	GPA Propane Dryness Test (Cobalt Bromide) or D-2713-91
Free water content	—	none	none	—	—

(1) An acceptable product shall not yield a persistent oil ring when 0.3 ml of solvent residue mixture is added to a filter paper in 0.1 increments and examined in daylight after 2 minutes as described in ASTM D-2158.

NOTE A: "This method may not accurately determine the corrosivity of the liquefied petroleum gas if the sample contains corrosion inhibitors or other chemicals which diminish the corrosivity of the sample to the copper strip. Therefore, the addition of such compounds for the sole purpose of biasing the test is prohibited."

รูปที่ 10 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods, Gas Processors Association, GPA Standard 2140-97

Component	Commercial Propane	HD-5 Propane	Commercial Butane/Propane Mix	Test Method (ASTM)
Composition	Propane and propylene	90% propane (min) 5% propylene (max)	butanes/ butylenes with propane/ propylenes	D-2163
Butane+, liq vol	2.5% max	2.5% max	--	
Pentane+, liq vol	--	--	2.0% max	
Moisture Content	pass	pass	--	D-2713
Residual Matter (mL)	0.05 mL	0.05 mL	--	D-2158
Total Sulfur ppm (incl. odorant)	185	123	140	D-2784
Cu Strip Corrosion, max	No. 1	No. 1	No. 1	D-1838
Vapor Pressure 100ºF, psig max 38ºC, kPa, max	 208 1434	 208 1434	 208 1434	D-1267

รูปที่ 11 GPA 2140-97 LPG Specification (แบบย่อจากรูปที่ 10)

รูปแบบส่วนผสมหรือองค์ประกอบของ LPG ที่มีใช้กันในทางฝากซีกฝั่งตะวันตกมีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบดังข้างบน แล้วประเทศไทยเราละครับเมื่อไปดู “ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการในการเก็บรักษา การกำหนดบุคลากรที่รับผิดชอบ และการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สำหรับสถานที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่กรมธุรกิจพลังงานรับผิดชอบ พ.ศ. 2554” ได้นิยามก๊าซปิโตรเลียมเหลวไว้ว่า

“ก๊าซปิโตรเลียมเหลว” หมายความว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ประกอบด้วยโพรเพน โพรพิลีน นอร์แมลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทิลีน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกันเป็นส่วนใหญ่ซึ่งบรรจุลงในถังก๊าซหุงต้มหรือถังเก็บและจ่ายก๊าซ

เรามาดูข้อมูลจากกรมธุรกิจพลังงานได้มีประกาศกรมฯ ที่มีชื่อว่า “ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547” โดยก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศไทยต้องมีลักษณะและคุณภาพตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ดังตารางด้านล่าง ทั้งนี้ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดนี้

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

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
6.	ปริมาณกากหลังการระเหยของก๊าซปิโตรเลียมเหลว 100 มล. *มิลลิลิตร* (Residue , *ml*)	ไม่สูงกว่า	0.05	ASTM D 2158
7.	ปริมาณน้ำ (Water Content)		ไม่มี	ตรวจพินิจด้วยสายตา
8.	สารที่ให้กลิ่นซึ่งไวต่อความรู้สึก (Odorant)		มี	ตรวจด้วยวิธีดมกลิ่น

ด้วยเหตุนี้ LPG ในประเทศไทยจึงเป็น LPG ที่ครอบคลุมทั้ง 4 รูปแบบตามที่ GPA Standard 2140-97 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods กำหนด นั้นคือ “ยำใหญ่” ครับ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นส่วนผสมตามที่นิยามครับ “LPG ประกอบด้วยโพรเพน โพรพิลีน นอร์แมลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทิลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ หลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่” ด้วยเหตุนี้ LPG (ในประเทศไทย) จึงเป็นส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความหลากหลายและปริมาณสัดส่วนอาจแตกต่างกันบ้างแต่โดยภายรวมแล้วส่วนประกอบหลักของก๊าซ LPG จะมีด้วยกัน 4 ตัวหลักๆ ที่เราควรทำความรู้จัก คือ

1. โปรเปน (Propane; C_3H_8) ในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 175 - 200 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 6.5 bar)
2. โปรปิลีน (Propylene; C_3H_6)
3. บิวเตน (Butane; C_4H_{10}) จากข้อมูลเบื้องต้นโดยประมาณ เราพบว่าบิวเตนในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 80 - 100 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 1.0 bar)
4. บิวทิลีน (Butylene; C_4H_8) ซึ่งรวมถึงนอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene; nC_4H_8) และไอโซบิวเตน (iC_4H_8)

ทั้งจากองค์ประกอบข้างบนเราจึงพอสรุปโดยหลักการเพื่อใช้ทำงานในทางปฏิบัติว่าก๊าซ LPG ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนซึ่งใน 1 โมเลกุลจะมีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม หรือ C_3+ C_4 (ไม่ใช่ข้าราชการ ซี 3 กับซี 4 น่ะครับ อันนี้ระบบนี้ยกเลิกไปแล้วครับ) นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังคงมีองค์ประกอบสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆอีก

คราวนี้วกกลับมาเรื่องงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ในการร่างประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้น เราได้ร่างกำหนดนิยามของคำว่า “ของเหลว” โดยให้ครอบคลุมถึงน้ำมันเชื้อเพลิง แล้วปรับใช้นิยามของ “น้ำมันเชื้อเพลิง” ตามพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง (ฉบับ 2) พ.ศ. 2550 มาตรา 4 และพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 มาตรา 4 มาใช้ซึ่งนิยามของน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวครอบคลุมถึงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) แต่ถูกตัดออกไปในคณะกรรมการชั่งตวงวัดฯ ทำให้การเชื่อมโยงถักทอพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 เข้ากับ พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 และพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 เพื่อให้ราบเรียบเข้าด้วยกันเกิดรอยตะเข็บขึ้นมา โดยในร่างประกาศกระทรวงฯ ที่เสนอเข้าไปพิจารณาได้กำหนดว่า

น้ำมันเชื้อเพลิง หมายความว่า

(1) ~~ก๊าซธรรมชาติ~~ ก๊าซปิโตรเลียม น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และ น้ำมันหล่อลื่น

(2) สิ่งอื่นที่ใช้หรืออาจใช้เป็นวัตถุดิบในการกลั่นหรือผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้หรืออาจใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือเป็นสิ่งหล่อลื่น หรือสิ่งอื่นที่ใช้หรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นสิ่งหล่อลื่น

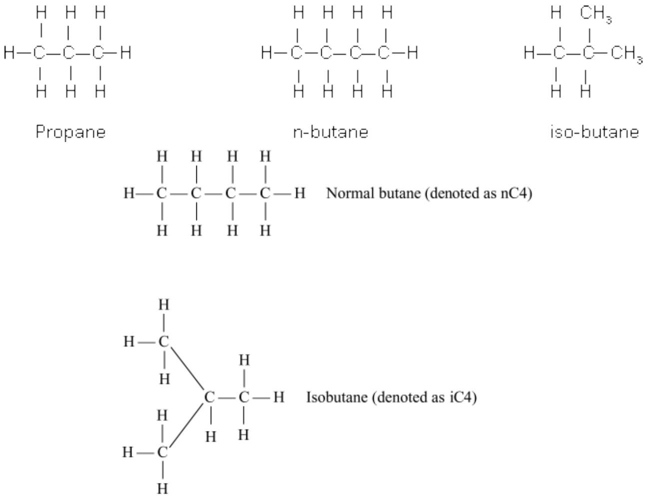
ซึ่งได้ตัด “ก๊าซธรรมชาติ” ออกไปเนื่องจากในร่างประกาศกระทรวงงฯ ดังกล่าวตีกรอบเฉพาะของเหลวสถานะเดียวเท่านั้น ดังนั้นหากชั่งตวงวัดเราในวันหนึ่งวันใดเกิดมึนๆว่าน้ำมันเชื้อเพลิงคืออะไร ก็ขอให้กลับไปดูนิยาม “น้ำมันเชื้อเพลิง” จากพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 และพระราชบัญญัติการค้า

น้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 โดยไม่ต้องไม่ถามวิญญูชนคนไหนหรอกครับ แล้วปรับใช้ให้ดีเพราะงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายนั้นกรอบจำกัดเฉพาะ Trading (การค้า) คือ Products และ Services ซึ่งก็คือการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหันไปมองพระราชบัญญัติฯ ทั้ง 2 อยู่เสมอและหากต้องออกกฎระเบียบใดก็ขอให้ถักทอเนื้อหาให้เข้ากับพระราชบัญญัติฯ ทั้งสองดังกล่าวด้วย

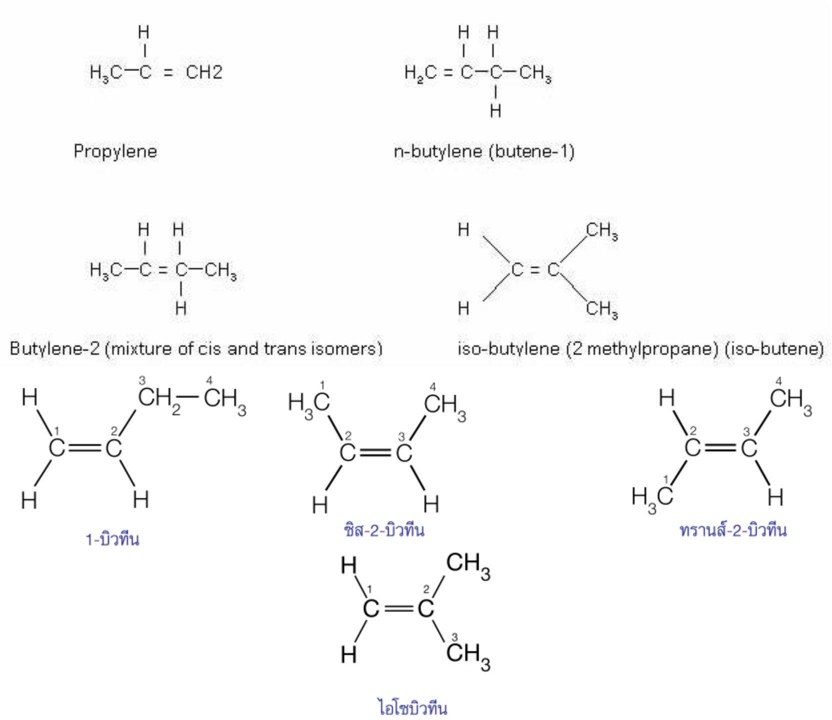
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลวอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon)

กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) ได้แก่ โปรเปน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (n-butane หรือ Normal Butane; nC_4) และ ไอโซบิวเทน (iso-butane หรือ Isobutane; iC_4) เพราะมีพันธะเคมีจับตัวกันระหว่าง C และ H เป็นพันธะเดียว (ดูรูปที่ 12)

กลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) ได้แก่ โปรปิลีน (Propylene), นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) และ ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene) (ดูรูปที่ 13)



รูปที่ 12 พันธเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon)



รูปที่ 13 พันธเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon)

3. คุณสมบัติทางกายภาพ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ ดังนั้นจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวทั้งสองสถานะ ดังนี้

3.1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นของเหลว

(ก.) จุดเดือด และสภาวะวิกฤติ LPG มีจุดเดือดต่ำมาก คือ โปรเปนมีจุดเดือดเท่ากับ –42 °C, นอร์มัลบิวเทนมีจุดเดือดเท่ากับ -0.5 °C, ไอโซบิวเทนมีจุดเดือดเท่ากับ –11.7 °C ดังนั้น LPG มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศเว้นเสียแต่จะถูกอัดด้วยความดันหรือทำให้ LPG มีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดเดือด ค่าความดันที่ทำให้ LPG เป็นของเหลวต่อเมื่อเพิ่มความดันให้สูงกว่าค่าความดัน

ไอของ LPG (Vapor Pressure) ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิของโปรเปนเท่ากับ 15 °C จะมีค่าความดันไอของโปรเปนเท่ากับ 7.3 เท่าความดันบรรยากาศ ดังนั้นเราต้องระมัดระวังเรื่องความดันย้อนกลับหลังมาตรวัดปริมาตรก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ต้องมีค่าความดันย้อนกลับไม่ต่ำกว่า 7.3 เท่าความดันบรรยากาศ และหากอุณหภูมิของโปรเปนสูงขึ้นแล้วค่าความดันไอของโปรเปนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่นเมื่อโปรเปนมีอุณหภูมิ 96.67 °C ความดันที่ต้องใช้อัดโปรเปนอย่างน้อยต้องมากกว่า 41.94 เท่าความดันบรรยากาศจึงจะทำให้โปรเปนมีสถานะเป็นของเหลว แต่เราพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โปรเปนจะไม่เป็นของเหลวแม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94 บรรยากาศก็ตาม ด้วยเหตุนี้เราจึงเรียกสภาวะที่อุณหภูมิ 96.67 °C และความดัน 41.94 เท่าความดันบรรยากาศของโปรเปนว่า “สภาวะวิกฤติ (Critical Point)” ของโปรเปน (ดูรูปที่ 14)

ส่วนประกอบ		จุดเดือด (°F)
C_2H_4	เอทธีลีน (อีธีน)	-155
C_2H_6	อีเทน	-128
C_3H_6	โปรปีลีน	-54
C_3H_8	**โปรเปน***	**-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

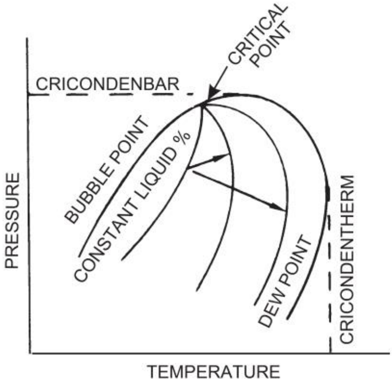
* โปรเปน เป็นส่วนประกอบของก๊าซ LPG ในตลาดปัจจุบัน

ตารางที่ 2 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 ft^3/lb (m^3/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 3 คุณสมบัติของก๊าซชนิดต่างๆ



รูปที่ 14 สภาวะวิกฤติ (Critical Point)

(ข.) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่น ที่อุณหภูมิ 15.5 °C ความหนาแน่นของโปรเปนมีค่าเท่ากับ 507 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับส่วนกลับของความหนาแน่นก็คือ "ปริมาตรจำเพาะ" นั้นเอง โปรเปนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเทียบกับน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C ตัวอย่างเช่น ค่าความถ่วงจำเพาะของโปรเปนเหลวที่อุณหภูมิ 15 °C มีค่าเท่ากับ 0.5077 ส่วนนอร์มัลบิวเทนและไอโซบิวเทนจะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.5844 และ 0.5631 ตามลำดับ ตัวอย่างเครื่องวัดความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะดังในรูปที่ 15

ดังนั้นจากคุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในสถานะที่เป็นของเหลวซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ความหนาแน่นของน้ำโดยประมาณ) LPG จึงเบากว่าน้ำและถ้าหากเกิดมี LPG รั่วขึ้นในสภาวะแวดล้อมปกติ LPG บางส่วนจะกลายเป็นไอกระจายไปโดยรอบบริเวณ บางส่วนที่กลายเป็นไอไม่ทันที่ยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ก็จะไหลลงสู่ท่อรางระบาย และหากมีน้ำอยู่ในท่อรางระบาย LPG ก็จะลอยบนผิวหน้าของน้ำไปจนกว่าระเหยกลายเป็นไอ

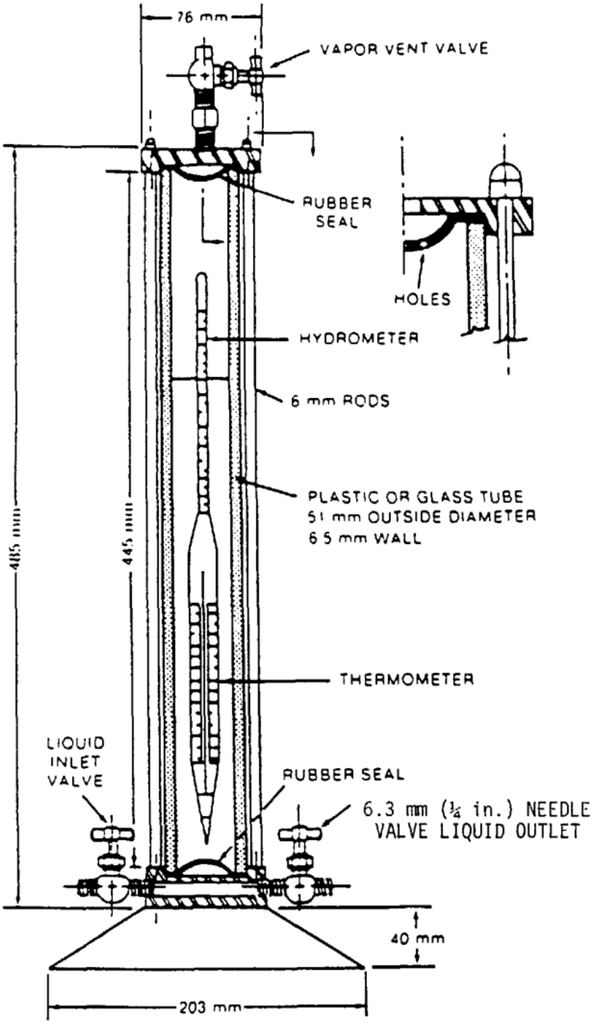


FIG. 1 Pressure Thermohydrometer Cylinder

รูปที่ 15 ASTM D1657-89 Standard Test Method for Density or Relative Density of Light Hydrocarbons by Pressure Thermohydrometer, ASTM

หาก LPG มีสัดส่วนผสมระหว่างโปรเปน และ Butane พบว่าในฤดูร้อนจะให้โปรเปน มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผสมสูงขึ้นและลดสัดส่วน Butane เพราะโปรเปน เบากว่า Butane ในทางกลับกัน เมื่อถึงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิติดลบจะบรรจุให้ Butane มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผสมสูงขึ้นและลดสัดส่วนโปรเปนลงเพราะ Butane มีความดันไอสูงกว่าและมีจุดเดือดที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของโปรเปน เพื่อให้สามารถจุดไฟติดได้ในที่อากาศเย็นจัดหรือติดลบ

(ค.) ความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่มีต่อภาชนะหรือท่อ ของไหลต่างชนิดกันจะมีความหนืดแตกต่างกัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในสภาพของเหลวจะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส์) จากคุณสมบัติอันนี้ ทำให้ก๊าซเหลวรั่วซึมได้ง่ายกว่าของเหลวชนิดอื่น นอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเนื่องจากมีความหนืดต่ำ ดังนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปั๊มที่ใช้งานกับ LPG จึงเกิดการสึกหรอสูงมากเมื่อเทียบกับปั๊มที่ใช้กับน้ำมันปิโตรเลียมเพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมทนทานต่อการสึกหรอและแรงดันสูงได้ อนึ่ง อุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของของไหล กล่าวคือ ของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่ออุณหภูมสูงขึ้นค่าความหนืดจะลดลง แต่ถ้าเป็นก๊าซ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดก็สูงขึ้นด้วย

(ง.) ความดันไอ (Vapor Pressure) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิดภายใต้ความดันจะมีสถานะเป็นของเหลว LPG เหลวจะระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วนที่เป็นของเหลวจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation Point) จึงจะหยุดระเหย ค่าความดันของก๊าซ LPG ที่จุดอิ่มตัวนี้เรียกว่า “ค่าความดันไออิ่มตัว” ค่าความดันไออิ่มตัวเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสารนั้นๆ กล่าวคือถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว นอกจากนี้ค่าความดันไอ LPG ยังเป็นค่าขึ้นกับอุณหภูมิ LPG ณ ขณะนั้นโดยตรง ถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 16 ที่อุณหภูมิของโปรเปน 0 °C มีค่าความดันเท่ากับ 4.5 bar แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 38 °C จะ

มีค่าความดันสูงขึ้นเป็น 14.5 bar

(จ.) ความร้อนแฝงในการระเหย ความร้อนแฝงในการระเหย คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่จุดเดือดปกติ (ณ ความดันบรรยากาศ) หรือปริมาณความร้อนที่ต้องถูกดึงออกต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อให้ได้กลั่นตัวเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศ ทั้งนี้ค่าความร้อนแฝงดังกล่าวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนแฝงน้อยมากเมื่อเทียบกับความร้อนแฝงของน้ำดังนั้นเมื่อ LPG ถูกปล่อยออกจากภาชนะ LPG จะระเหยทันที LPG จะระเหยได้ต้องได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดึงความร้อนไปจะมีความเย็นจัดเพราะฉะนั้นถ้า LPG รั่วไหลออกมาถูกผิวหนังเราหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทำให้ผิวหนังหรือส่วนนั้นๆของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัดจนถึงกับเนื้อเยื่อตาย

(ฉ.) ความร้อนจำเพาะ ค่าความร้อนจำเพาะ คือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่/กิโลกรัม/°C หรือ บีทียู/ปอนด์/°F เช่น เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 °C ค่าความร้อนจำเพาะของโปรเปนมีค่าเท่ากับ 0.6023 ส่วนนอร์มัลบิวเทน, ไอโซบิวเทน, commercial propane และ commercial butane จะมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 0.5748, 0.5824, 0.60 และ 0.57 ตามลำดับ

(ช.) อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เองแม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า “อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)” เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโปรเปน คือ 460 - 580 °C และของบิวเทนคือ 410 - 550 °C ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280 - 430 °C และน้ำมันดีเซล 250 - 340 °C เมื่อมองดูในเทอมนี้นั้นเราพบว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวค่อนข้างมีความปลอดภัยสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินแต่ขอแนะนำอย่าไปลองทดสอบเองน่ะครับ อาจทำให้ชิ้นส่วนของร่างกายขาดหายได้

หวาดเสียวน่า

(ซ.) สัมประสิทธิ์การขยายตัว ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 15 °C ประมาณ 0.30/°C สำหรับโปรเปน และ 0.002/°C สำหรับบิวเทน พบว่าอุณหภูมิยิ่งสูงการขยายตัวยิ่งมาก ตัวเลขนี้จำเป็นอย่างยิ่งใช้ในการคำนวณปริมาตรสูงสุดที่สามารถจะบรรจุก๊าซลงภาชนะหรือถังเก็บได้ในสภาพอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังนั้นการบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงในถังจะต้องเหลือที่ว่างเหนือก๊าซเหลวไว้โดยในส่วนของช่องว่างนี้จะมีไอก๊าซอยู่ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความดันที่เกิดการขยายตัวของของเหลวในกรณีที่ก๊าซได้รับความร้อนผิดปกติ นอกจากนี้ระบบท่อส่งต่าง ๆ ที่ส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำเป็นต้องมีกลไกอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายความดัน เช่น Pressure Relief Valve เป็นต้น

Name	**Propane**	**Butane**
Composition	C_3H_8	C_4H_{10} (N and I forms)
Molecular weight	44	58
Boiling point at 1 bar(a)	-45 °C	-2 °C
Pressure at 0 °C	4.5 bar	0.5 bar
Pressure at 38°C	14.5 bar	4.8 bar
Cu Expans @0°C	0.00256 /°C	0.00180 /°C
Cu Expans @20°C	0.00302 /°C	0.00198 /°C
Cu Expans @40°C	0.00377 /°C	0.00221 /°C

Table 2: Some properties of propane and butane

รูปที่ 16 คุณสมบัติบางประการของ Propane และ Butane

3.2. คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะก๊าซ

(ก.) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของ อากาศ = 1)

ที่อุณหภูมิ 15.5 ℃ (60 ℉) ณ ความดันบรรยากาศ

โปรเปน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 1.5

บิวเทน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 2.0

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศเมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้น ก๊าซจะไปรวมตัวอยู่ในบริเวณที่ต่ำและถ้าบริเวณที่ต่ำนั้นเป็นรางระบายน้ำหรือคูคลอง ก๊าซอาจจะไหลตามน้ำไปทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ ณ จุดซึ่งห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซรั่วได้ นอกจากนี้ค่าความหนืดก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของก๊าซจะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

(ข.) การอัดตัวได้ของก๊าซ LPG (Compressibility factor) สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดันและปริมาตร สามารถแสดงโดยสมการสภาวะ (Equation of State) คือ

$$PV = nRT$$

เมื่อ P = ความดัน ,

V = ปริมาตร ,

n = จำนวนโมล,

R = Gas Constant,

T = อุณหภูมิ

แต่สำหรับก๊าซ LPG จะมีลักษณะเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้สมการสภาวะได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility factor, Z) เข้าไปในสมการคือ $PV = ZnRT$ สำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 °C ณ ความดันบรรยากาศ โปรเปน นอร์มัลบิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า Z = 0.984 , 0.969 และ 0.971 ตามลำดับ

(ค.) ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air) ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ เรียกว่า "อัตราส่วน Higher Explosion Limit (U.E.L)" ส่วนทางด้านความเข้มข้นต่ำของช่วง

การลุกไหม้เรียกว่า “อัตราส่วน Lower Explosion Limit (L.E.L)” ก๊าซ LPG จะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือถ้ามีก๊าซ LPG ต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วนในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็จะไม่ติดไฟ ซึ่งค่อยอ่านในเนื้อต่อไป

(ง.) อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame temperature) อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของ LPG สูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่าง ๆ ได้ เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเลียม และแก้ว เป็นต้น โดยโปรเปน มีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 °C และบิวเทน 1,900 °C ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผาอบสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(จ.) ค่าอ๊อกเทน (Octane Number) LPG ในสถานะก๊าซที่ใช้สำหรับยานพาหนะนั้นจะมีค่าอ๊อกเทน (Octane No.) สูงประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าอ๊อกเทนของน้ำมันเบนซินจึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก แต่จะมีปัญหาในเรื่องอุณหภูมิของเปลวไฟของ LPG เมื่อมีการระเบิดในกระบอกสูบซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันเบนซิลทำให้เครื่องร้อนมากกว่าต้องแลกเอาครับ

(ฉ.) อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio) LPG เหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซพบว่าปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากกล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 °C (60 °F) โปรเปนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วยหรือพูดง่ายๆ คือขยายตัวไป 274 เท่าตัว ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้นถ้า LPG เหลว รั่วไหลจะมีอันตรายมากยิ่งกว่า LPG ที่เป็นก๊าซเพราะปริมาณ LPG เหลวที่รั่วไหลออกมาจะกลายเป็นก๊าซและมีเพิ่มปริมาตรเพิ่มขึ้น 274 เท่าตัว โอกาสที่การขยายแพร่ตัว LPG ไปพบประกายไฟและระเบิดก็ยิ่งมีมากขึ้น

(ช.) ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement) ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่

ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่แน่นอนในกรณีที่ก๊าซ LPG เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้

โปรเปน $C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

บิวเทน $C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโปรเปน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โปรเปนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตรจะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตรจะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตรดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว LPG ต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

(ซ.) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซ LPG หมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำก๊าซ LPG หนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ (25 °C) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

(ฌ.) สี กลิ่น และการละลาย LPG บริสุทธิ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตก๊าซ LPG จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซ LPG เกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อทำให้ก๊าซ LPG มีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคบแทน (Mercaptan) นอกจากนี้ก๊าซ LPG มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหยจึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็นหรือซีลต่าง ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซ LPG ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

Table B.1.2(a) (English) Approximate Properties of LP-Gases

	Commercial Propane	Commercial Butane
Vapor pressure in psi (absolute pressure) at		
70°F	145	32
100°F	218	52
105°F	233	56
130°F	315	84
Specific gravity of liquid at 60°F	0.504	0.582
Initial boiling point at 14.7 psia, °F	−44	15
Weight per gallon of liquid at 60°F, lb	4.20	4.81
Specific heat of liquid, Btu/lb at 60°F	0.630	0.549
Cubic feet of vapor per gallon at 60°F	36.38	31.26
Cubic feet of vapor per pound at 60°F	8.66	6.51
Specific gravity of vapor (air = 1) at 60°F	1.50	2.01
Ignition temperature in air, °F	920–1,120	900–1,000
Maximum flame temperature in air, °F	3,595	3,615
Limits of flammability in air, percent of vapor in air–gas mixture:		
Lower	2.15	1.55
Upper	9.60	8.60
Latent heat of vaporization at boiling point:		
Btu per pound	184	167
Btu per gallon	773	808
Total heating values after vaporization:		
Btu per cubic foot	2,488	3,280
Btu per pound	21,548	21,221
Btu per gallon	91,502	102,032

รูปที่ 17 คุณสมบัติ LPG จาก NFPA 58 Liquefied Petroleum Gas Code, 2004 Edition (หน่วยอังกฤษ)

ชตว CBWM

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 17(-ต่อ-) คุณสมบัติ LPG จาก NFPA 58 Liquefied Petroleum Gas Code, 2004 Edition (หน่วยเมตริก; SI)

ชตว
CBWM

Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Introduction	• Discovered by Dr. Walter Snelling in 1910. • First commercial production was in 1912 and sold commercially by 1920. • First LPG cooking stove was made in 1912. • First LPG-fueled car was developed in 1913.
Definition	• A mixture of propane and butane which has been liquefied by reducing the temperature, increasing the pressure or a combination of both. LPG is commonly called "bottled gas."
Composition	• It is made up primarily by propane (C_3H_8) and butane (C_4H_{10}), or a mix of the two. • Other hydrocarbons that include propylene, butylenes, isobutene and isobutylene may also be present.
Characteristics	• A higher percentage of propane is used in winter since propane is lighter than butane and the same for butane in summer since it has a higher vapor pressure and lower boiling point. • Non-toxic, flammable gas, odorless, colorless and heavier than air. • Volume typically is 250 times smaller in a liquid state based on composition, pressure and temperature. • Can be easily condensed, packaged, stored and utilised, which makes it an ideal energy source for a wide range of applications.
Boiling Point	• Varies considerably from about -42 °C to 0 °C (-44 °F to 32 °F) at atmospheric pressure.
Uses	• Transportation • Industrial • Domestic use • Petrochemical
Calorific Value (in Gas State)	• 1 ft^3 propane = 2,716 Btu • 1 ft^3 n-butane = 3,572 Btu
Energy Density (in Liquid State)	• Specific energy propane *(p)* = 50.4 MJ/kg that is equivalent to 25,400 MJ/m^3 (25.4 MJ/ℓ) • Specific energy n-butane *(p)* = 49.5 MJ/kg that is equivalent to 28,800 MJ/m^3 (28.8 MJ/ℓ) *(Note: p means pressurised for propane and n-butane)*
Pricing Formulas	• Wholesale market price of LPG (quoted in USD). • Annual consumption • Cost plus

รูปที่ 17 (-ต่อ-) ข้อมูลทั่วไปของ LPG

4. การจัดเก็บก๊าซ LPG

จะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบที่นิยมกันคือ

4.1. Pressurized Gas Tankers จัดเก็บก๊าซ LPG ภายในภาชนะภายใต้ความดันสูงประมาณ 80-190 Psi (6 – 13 barg) ในการออกแบบถังความดันจึงต้องออกแบบให้สามารถรองรับความดันไม่น้อยกว่าที่ประมาณ 18 barg โดยสามารถรองรับอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ในการขนย้าย LPG เข้าออกถังสำรองที่ 45 °C ส่งผลให้

ขนาดถังสำรองรูปแบบนี้ที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 1,000 m^3 ซึ่งเรามักพบเห็นในการขนส่งทางบกด้วยรถยนต์ (ดูรูปที่ 18)

รูปที่ 18 ถังสำรองแบบเก็บด้วยความดัน

4.2. Semi-Refrigerated / Semi-Pressurized Gas Tanks จัดเก็บก๊าซ LPG ไว้ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของก๊าซ LPG ซึ่งจุดเดือดของก๊าซ LPG อยู่ที่ประมาณ 50 °C ดังนั้นความดันภายในถังจะเหลือเพียง 2.8 - 7.0 barg ขนาดถังที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 12,000 m^3 โดยประมาณ

4.3. Fully Refrigerated Gas Tanks หรือ Cold Storage Tanks หรือ Cryogenic Storage Tanks เป็นการจัดเก็บก๊าซด้วยสภาวะภายในถังจัดเก็บที่มีความดันเท่ากับหรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิภายในถังสำรองให้เท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซนั้นๆ สำหรับการจัดเก็บก๊าซโปรเปนจะควบคุมอุณหภูมิภายในถังสำรองแบบนี้เท่ากับอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซโปรเปนซึ่งอยู่ที่ -42 °C หรือต่ำกว่าเล็กน้อยเช่นที่ -45 °C ส่วน Butane จัดเก็บที่อุณหภูมิ -2 °C ดังนั้นด้วยระบบจัดเก็บก๊าซวิธีนี้จึงมีการจัดเก็บที่อุณหภูมิต่ำสุดของถังสำรองอยู่ที่ -50 °C และมีความดันภายในถังขณะใช้งาน (Working Pressure) ประมาณ 250 millibar (ดูรูปที่ 21) ขนาดถังที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดระหว่าง 5,000 - 75,000 m^3

รูปที่ 19 Fully Refrigerated Storage Tanks

ด้วยเหตุนี้เราจึงไม่เห็นการขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บด้วยวิธีการนี้กับการขนส่งทางบกแต่จะพบเห็นในการขนส่งทางเรือเดินทางข้ามมหาสมุทรเนื่องจากสามารถจัดเก็บได้ปริมาณมาก ยกตัวอย่างในกรณีที่ ปตท. ทำการซ่อมแซมโรงแยกก๊าซธรรมชาติประจำปีจะทำให้กำลังการผลิตก๊าซลดต่ำลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซ LPG มีไม่เพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศ ปตท.ก็จะสั่งนำเข้าก๊าซโปรเปน และ/หรือ ก๊าซ Butane และ/หรือก๊าซ LPG (ส่วนผสมของก๊าซโปรเปนกับก๊าซ Butane) จากต่างประเทศเป็นลำเรือใหญ่ๆ ซึ่งขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บแบบ Fully Refrigerated Gas Carriers (ดูรูปที่ 20) น่ะครับ

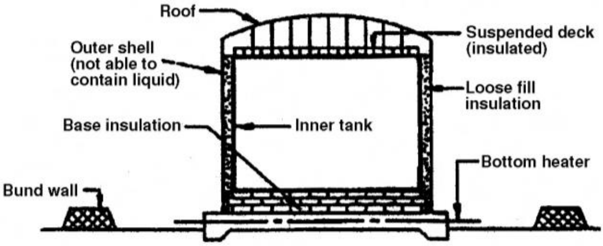
รูปที่ 20 Fully Refrigerated Gas Carriers

5. โทษของก๊าซ LPG

เนื่องจากอุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียมนั้น ความเสียหายจากการระเบิดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในแต่ละครั้งนั้นสร้างความเสียหายให้กับผู้ประกอบการอย่างรุ่นแรงทั้งในรูปของชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งความเสียหายทางด้านธุรกิจ รวมไปจนถึงสภาวะแวดล้อมบริเวณโดยรอบพื้นที่อีกแล้ว ยังมีความเสียหายต่างๆทั้งทางตรงและทางอ้อมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ทำให้มีการศึกษาในเรื่องการระเบิดของผลิตภัณฑ์

FIG. 6-12

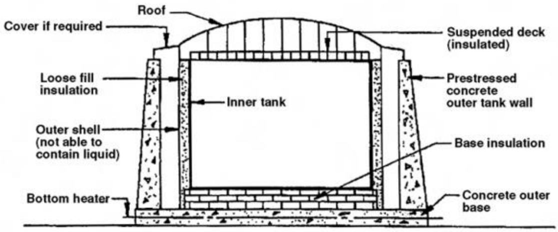
Single Containment Tank



Extracts from BS 7777 Part 1: 1993 reproduced with permission from BSI under license number 2002NC0111. BSI publications can be obtained from BSI Customer Services, 389 Chiswick High Road, London W4 4AL (Tel +44 (0) 20 8996 9001).

FIG. 6-13

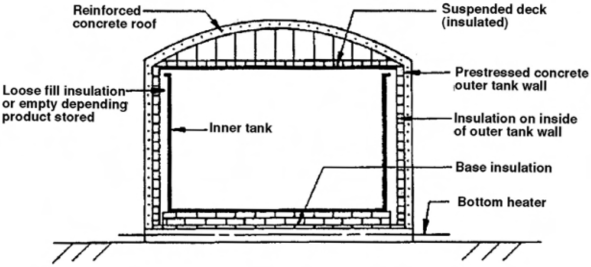
Double Containment Tank



Extracts from BS 7777 Part 1: 1993 reproduced with permission from BSI under license number 2002NC0111. BSI publications can be obtained from BSI Customer Services, 389 Chiswick High Road, London W4 4AL (Tel +44 (0) 20 8996 9001).

FIG. 6-14

Full Containment Tank



Extracts from BS 7777 Part 1: 1993 reproduced with permission from BSI under license number 2002NC0111. BSI publications can be obtained from BSI Customer Services, 389 Chiswick High Road, London W4 4AL (Tel +44 (0) 20 8996 9001).

รูปที่ 21 Fully Refrigerated Storage Tanks 3 รูปแบบตาม BS 7777 Part1-1993

กันอย่างจริงจัง ก่อนอื่นเราต้องทำความเข้าใจในเรื่ององค์ประกอบของการจุดติดไฟหรือการระเบิดเสียก่อน ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ (ดูรูปที่ 22) คือ

1. สารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ
2. ก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอ
3. แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) มีพลังงานความร้อนที่เพียงพอ เช่น เปลวไฟ การเกิดประกายไฟหรือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ประกายไฟจากการลัดวงจรไฟฟ้าหรือจากหน้าสัมผัสสวิตซ์ไฟ เป็นต้น

แต่ก็นั้นแหละไม่ใช่ออยู่ๆ หากมีองค์ประกอบครบทั้ง 3 ประการแล้วจะเกิดการติดไฟหรือระเบิดไปเสียทุกครั้ง ยังต้องคำนึงถึงชนิดสารไวไฟนั้นๆว่ามีคุณสมบัติอย่างไรเมื่อผสมเจือปนเข้ากับอากาศแล้วก่อให้เกิดสภาพจุดติดไฟ (Explosive Atmosphere) มารู้จักนิยามการระเบิดเสียก่อน

รูปที่ 22 องค์ประกอบของการจุดติดไฟหรือการระเบิด

การระเบิด คือ ปฏิกิริยาเคมีของสารไวไฟกับออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงมาก หรือความดันสูงมาก หรือทั้งความร้อนและความดันสูงมากร่วมกัน ทั้งนี้สารไวไฟอาจอยู่ในรูปของแก๊ส (Gas) หรือไอระเหย (Vapor)

สารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการจุดติดไฟต่างกัน ดังนั้นแม้ครบองค์ประกอบการจุดติดไฟหรือการระเบิด (สารไวไฟ ออกซิเจนและประกายไฟ) สารบ้างชนิดจะเกิด

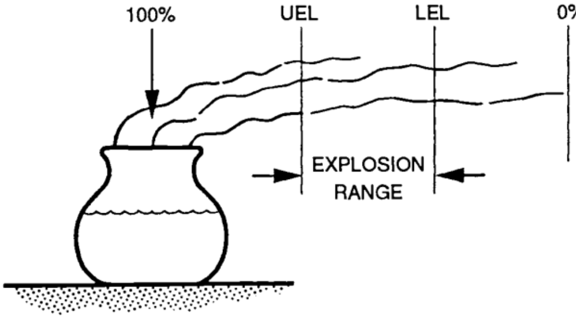
การติดไฟหรือระเบิด แต่สารบางชนิดอาจจะไม่ทำให้เกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ เราจึงต้องมาดูคุณสมบัติที่สำคัญของสารไวไฟที่ปนเปื้อนในอากาศและทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่จุดติดไฟได้ (Explosive Atmosphere) มี 5 ประการ คือ

1. **Lower Explosive Limit (LEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยขั้นต่ำผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณต่ำกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด
2. **Upper Explosive Limit (UEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยมากที่สุดผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive Mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณสูงกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด

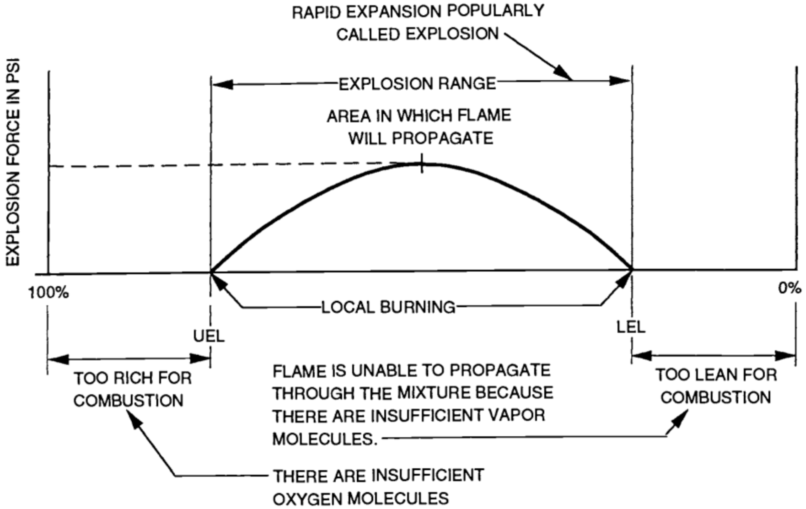
รูปที่ 23 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ (Explosive Limits)

ด้วยเหตุนี้การจุดติดไฟ หรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ต้องอยู่ในสภาพตั้งแต่ Lower Explosive Limit (LEL) จนถึง Upper Explosive Limit (UEL) ดูรูปที่23 - รูปที่ 25 ทั้งนี้ขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟตั้งแต่ LEL จนถึง UEL ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารไวไฟแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ Methane จะมี LEL เท่ากับ 5% และ UEL 17% โดยปริมาตรของอากาศ นั้นหมายความว่าหากในอากาศที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 5 : 95 จนถึง 17 : 83 แล้วหากเกิดประกายไฟ

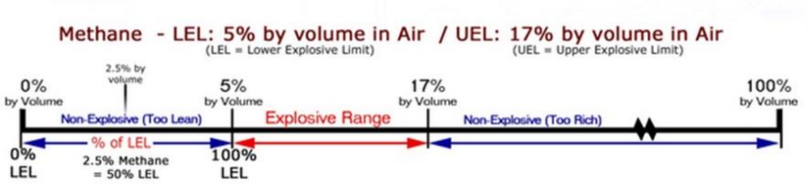
ขึ้นโอกาสการระเบิดจะสามารถเกิดขึ้นได้สูงทันที แต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 5 : 95 หรือมากกว่า 17 : 83 หากเกิดประกายไฟขึ้น โอกาสจะเกิดการระเบิดเป็นไปได้ยาก (ดูรูปที่ 26)



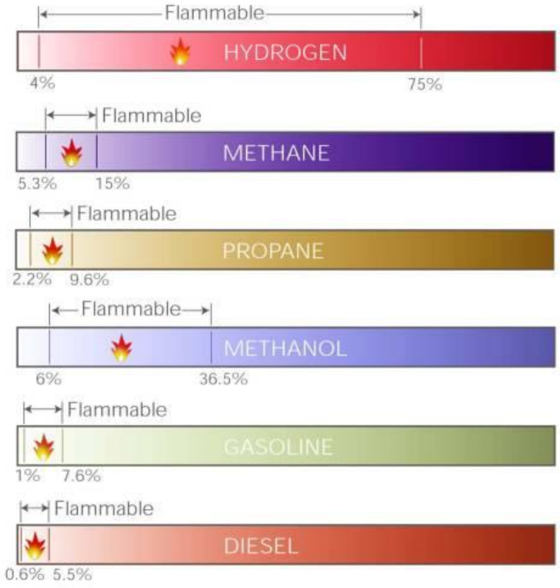
รูปที่ 24 ความเข้มข้นของไอสารไวไฟในเทอมของปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ



รูปที่ 25 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ



รูปที่ 26 ตัวอย่างขอบเขตการการจุดติดไฟของก๊าซ Methane



รูปที่ 27 ตัวอย่างขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟ

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” จากคุณสมบัติดังกล่าวเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาและจัดเก็บ

สารไวไฟให้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า Flash point ไม่ทำให้เกิดสภาพของพื้นที่อันตรายขึ้นได้ ก็จะปลอดภัย

4. **Auto-Ignition Temperature** คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้แก๊ส หรือไอระเหยของสารไวไฟซึ่งผสมอยู่ในบรรยากาศจะเกิดการลุกติดไฟได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีประกายไฟในพื้นที่ที่มีการรั่วไหลของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรกลหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงที่ส่วนใดส่วนหนึ่ง (Hot Spot) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีอุณหภูมิสูงกว่า ค่า Auto-Ignition Temperature ของแก๊สหรือไอระเหยนั้นๆ อาจจะทำให้สารไวไฟในบรรยากาศเกิดการลุกติดไฟขึ้นเองได้

5. **Vapor Density** คือ ความหนาแน่นของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟเมื่อเทียบกับอากาศ ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอมากกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอนี้หนักกว่าอากาศเมื่อเกิดมีการรั่วไหล แก๊สหรือไอนี้จะลอยอยู่ในระดับต่ำ แต่ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอน้อยกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอชนิดนี้เบากว่าอากาศ เมื่อเกิดมีการรั่วไหลแก๊สหรือไอนี้จะลอยขึ้นสูง อุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียมได้ทำการศึกษา Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมพอสรุปได้บางชนิดดังตารางที่ 4 ดังนั้นหากมีองค์ประกอบครบ 3 ประการและอัตราส่วนของของเหลวปิโตรเลียมกับอากาศอยู่ในระหว่าง Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ (ดูรูปที่ 28) ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ โปรเปน จะมี L.E.L เท่ากับ 2.1 และ U.E.L 9.4 นั้นหมายความว่าหากในอากาศมีอัตราส่วนผสมของก๊าซ โปรเปน ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 2.1 : 97.9 จนถึง 9.4 : 90.6 แล้วเกิดประกายไฟขึ้น จะมีโอกาสเกิดการระเบิดขึ้นได้สูงแต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ โปรเปน ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 2.1 : 97.9 หรือมากกว่า 9.4 : 90.6 หากเกิดประกายไฟขึ้น การระเบิดก็เกิดขึ้นได้ยาก

หากเกิดปัญหาหน้างานและกลัวการระเบิดก็ควรหาอุปกรณ์ตัวที่สามารถวัดค่าอัตราส่วน Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) แต่ถ้าสามารถหาได้ก็หาเอาพวกอุปกรณ์ชนิด Gas Detector (ก่อนใช้งานก็ตรวจสอบ

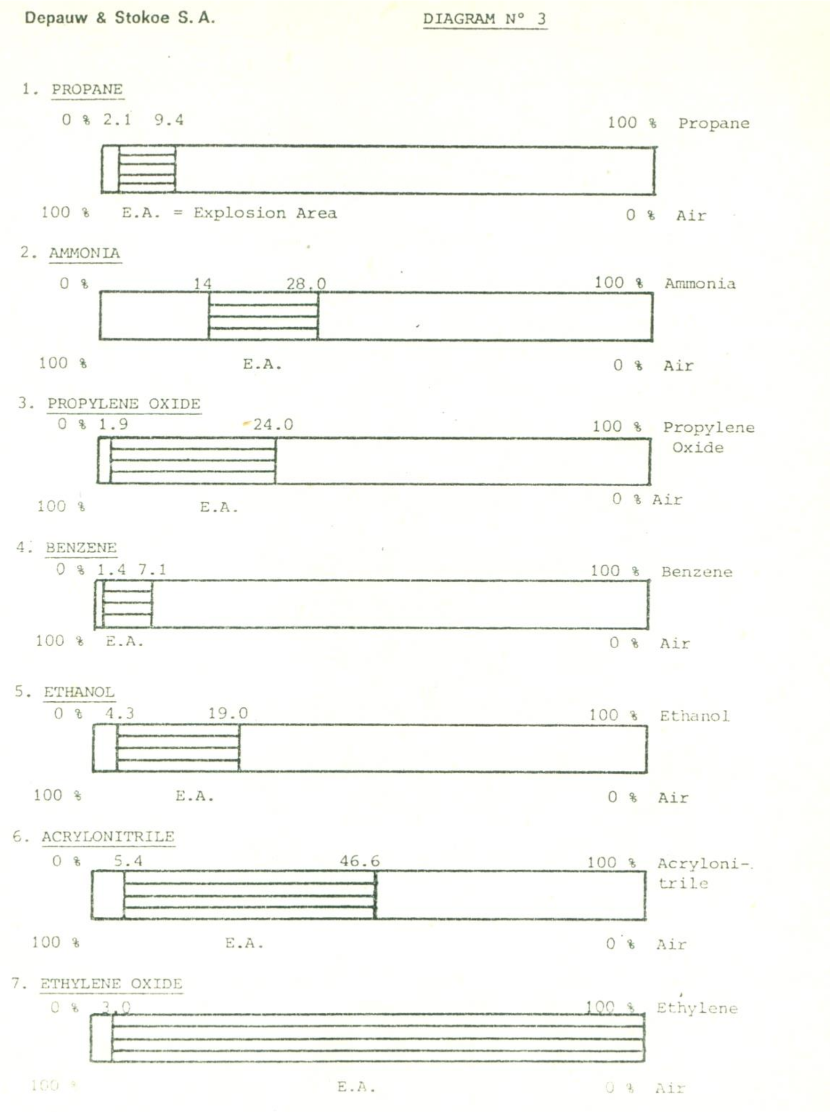
กับไฟแช็คแก๊สที่ใช้สูบบุหรี่โดยเปิดวาล์วแก๊สไฟแช็ค แต่ไม่ต้องสะกิดถ่านให้ไฟติดล่ะ) แทนก็ยังดีหรือหลีกเลี่ยงการกระทำใดที่อาจก่อให้มีองค์ประกอบครบ 3 ประการคือ เชื้อเพลิง อากาศ และประกายไฟ ซึ่งหากตัดปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดออกไปได้ การระเบิดจะไม่เกิดขึ้นล่ะครับ

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 4 Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม



รูปที่ 28 ตัวอย่าง Lower Explosion Limit กับ Higher Explosion Limit การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้

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

ตารางที่ 5 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.

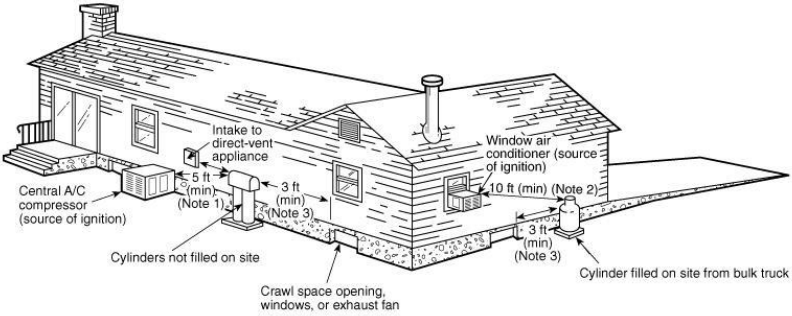
หากก๊าซ LPG โดนผิวหนังของเรา ผิวหนังจะไหม้เหมือนโดนถูกไฟลวกทั้งนี้ก็เพราะเวลาที่ก๊าซ LPG เปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่มีความดันสูงกลายเป็นไอจะดูดความร้อนแฝงจากสิ่งแวดล้อมซึ่งในที่นี้ก็คือ ความชื้นภายในผิวหนังเรานั้นเอง หากก๊าซ LPG มีการรั่วไหล ออกจากภาชนะถังบรรจุความดัน ก๊าซ LPG จะสามารถขยายตัวได้ประมาณ 270 เท่าเลยทีเดียว

นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังมีน้ำหนักมากกว่าอากาศโดยทั่วไป ดังนั้นหากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจุก๊าซ LPG จะไปแทนที่อากาศ ซึ่งรวมถึงก๊าซออกซิเจนที่เราใช้หายใจที่มีอยู่ในอากาศประมาณ 17 % ของอากาศทั้งหมดส่งผลให้หากมีใครอยู่บริเวณนั้นจะขาดออกซิเจนและตายลงได้เช่นเดียวกัน ถ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกนอกพื้นที่ได้ทันเวลา

การจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับบรรจุก๊าซเหลว LPG

ตามข้อกำหนด NFPA 58 มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับจัดเก็บก๊าซ LPG ดังเช่นในรูปที่ 29 แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการจัดวางถังจริง ๆ ต้องไปปรึกษากรมโยธาธิการดีกว่าครับ เพราะข้อมูลทันสมัยกว่าและที่สำคัญถูกต้องตามกฎหมาย

ก่อนจบขอตั้งคำถามทิ้งไว้สักข้อว่า มีบริษัทหนึ่งถามว่า “มาตรวัดปริมาตรของเหลวของบริษัทใช้วัดซื้อขายโปรปิลีน (Propylene) มาตรวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าวต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรองหรือเปล่า ?” ถ้าตอบได้ น่าจะแสดงว่าอ่านบทความแล้วเข้าใจ ถ้ายังมึนก็กลับไปอ่านอีกรอบเถอะ ...... สาธุ



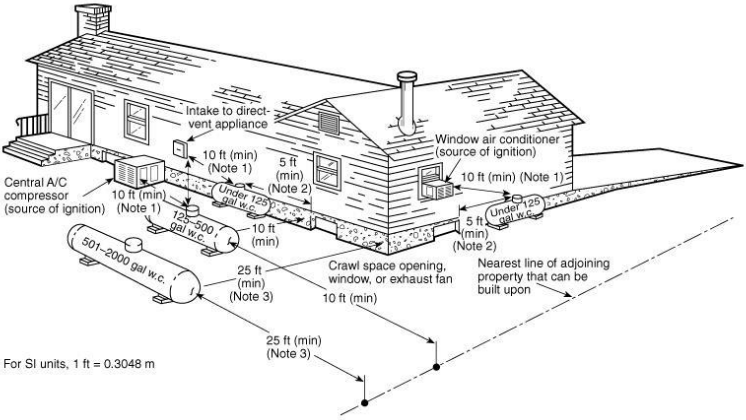
For SI units, 1 ft = 0.3048 m

Note 1: 5-ft minimum from relief valve in any direction away from any exterior source of ignition, openings into direct-vent appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.7.

Note 2: If the cylinder is filled on site from a bulk truck, the filling connection and vent valve must be at least 10 ft from any exterior source of ignition, openings into direct-vent appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.9.

Note 3: Refer to 6.3.7.

(ก)



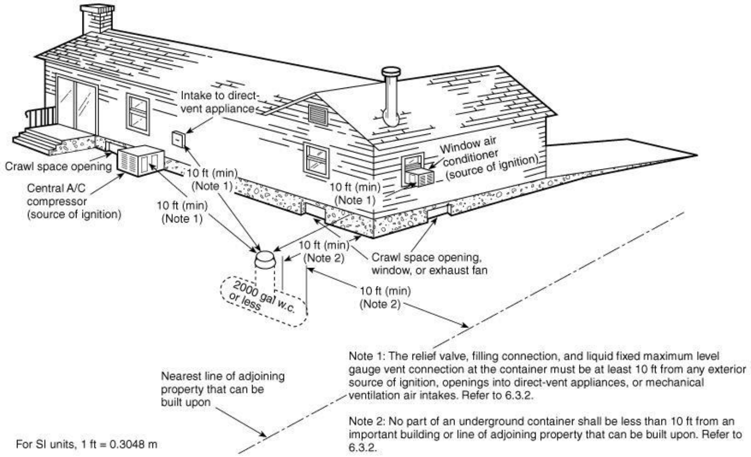
For SI units, 1 ft = 0.3048 m

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.

(ข)



(ค)

รูปที่ 29 ข้อกำหนด NFPA 58 – 2004 มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดัน

“สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ” ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 คือ....หน่วยงานใด?

เมื่อไม่กี่วันมานี้ได้จัดฝึกอบรมให้กับพนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัด และภาคเอกชนที่ร่วมชีวิตกับชั่งตวงวัด ได้บรรยายเนื้อหาไปเกี่ยวข้องกับ “แบบมาตราชั้นหนึ่ง” ในมาตรา 12 ของพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ดังในรูปข้างที่ 1 ข้างล่างนั้น เพื่อพูดถึงการสอบย้อนกลับหรือ Traceability คำที่ฮิตติด Billboard Chart ในวงการชั่งตวงวัด โดยเฉพาะตรงเนื้อเนื้อที่ว่า

“แบบมาตราชั้นหนึ่ง ได้แก่ แบบมาตราที่<u>สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ</u>กำหนดให้ใช้หรือรับรองความเที่ยงแล้ว”

หมวด ๒

แบบมาตราชั่งตวงวัด

มาตรา ๑๒ เครื่องชั่งตวงวัดต้องได้รับการตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั่งตวงวัดตามพระราชบัญญัตินี้

แบบมาตราชั่งตวงวัดตามวรรคหนึ่ง ให้เรียกชื่อย่อว่า “แบบมาตรา” และแบ่งออกเป็นแบบมาตราชั้นหนึ่ง แบบมาตราชั้นสอง และแบบมาตราชั้นสาม

แบบมาตราชั้นหนึ่ง ได้แก่ แบบมาตราที่สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศกำหนดให้ใช้หรือรับรองความเที่ยงแล้ว

แบบมาตราชั้นสอง ได้แก่ แบบมาตราที่ได้ตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั้นหนึ่งแล้ว

แบบมาตราชั้นสาม ได้แก่ แบบมาตราที่ได้ตรวจสอบความเที่ยงกับแบบมาตราชั้นสองแล้ว

รูปที่ 1 มาตรา 12 ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

ขณะที่การบรรยายดำเนินไปด้วยความราบรื่น บรรยากาศดี อาหารอร่อย ดนตรีเพราะก็เลยตัดสินใจถามเพื่อเรียกความกระชุ่มกระชวยกลับมา ถามไปว่า "สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ" คือหน่วยงานใด ปรากฏว่าเงียบกันทั่วหน้า อ้าว วงแตกครับ รอจนเรียกถามเป็นรายท่าน กระผมได้รับคำตอบแล้วทำให้หัวใจมักกระชุ่มกระชวยทันใดย้อนกลับมาเลยขอรับท่าน คำตอบที่ว่านั้น เช่น ก็เป็นสำนักงานกลางชั่งตวงวัดงัย สำนักชั่งตวงวัดงึ๊ย? บานหทัยทรวงและชื่นใจ......น่ะขอรับพระคุณท่าน !!!!

เรื่องนี้เลยต้องขยาย นั่งไม่ติด... ทำใจร่มๆ.... ทำหัวไม่ร้อน...... สักพักก็ต้องขยับมือไม้กันนิดหนึ่ง...

เรื่องนี้ต้องถามว่าพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 เป็นพระราชบัญญัติฯ ที่ได้ทำการแก้ไขปรับปรุงมาจากพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 (ในรัชสมัยพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6) เราตามมาดูกันดังในรูปที่ 2 พบว่าในมาตรา 9 และมาตรา 12 จากพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ได้พบคำว่า "สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ" ในบทนิยามจำนวนหน่วยเช่นกัน

ถามว่า "สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ" ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 (ณ วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2466) กับ "สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ" ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 (ณ วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2542) เป็นคำเดียวกันหรือเปล่า ?

คงบอกได้ว่าเขียนไม่เหมือนกันแต่เจตนารมย์คือชื่อหน่วยงานเดียวกันซึ่งก็คือ **"BIPM"** ชื่อเต็มๆ **"The International Bureau of Weights and Measures"** และชื่อในภาษาฝรั่งเศษว่า **Bureau international des poids et mesures (BIPM)** มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่เมือง Sèvres ประเทศฝรั่งเศษ (France) โดยมีรูปสัญลักษณ์ของหน่วยงานดังในรูปที่ 3

วันที่ ๒๗ ธันวาคม ๒๔๖๖ ราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๔๐ น่า ๑๘๗

พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด
พระพุทธศักราช ๒๔๖๖

พระบาทสมเด็จพระรามาธิบดีศรีสินทรมหาวชิราวุธพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชดำริห์ว่า พระราชอาณาจักร์สยามในเวลานี้ยังไม่มีวิธีชั่งตวงวัดเปนสมานรูป ซึ่งกำหนดเปนมาตรา และบัญญัติเปนกฎหมาย สมควรจะมีวิธีเช่นที่กล่าวนี้ขึ้น

ลักษณ ๒

บทวิเคราะห์จำนวนหน่วย

มาตรา ๙

มูลจำนวนหน่วยแห่งความยาวนั้น ให้เปน เมตร์ คือระยะยาวระหว่างศูนย์ของเส้นสองเส้นบนแท่งปลาตินุมอิริดิอุม ในเวลาที่ความหนาวร้อนเสมอขีดน้ำแขงละลาย ซึ่งเก็บไว้ในสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ และซึ่งที่ประชุมใหญ่ครั้งแรกแห่งมาตราชั่งตวงวัดได้ประกาศไว้เปนแบบประถมตัวมาตราของ เมตร์

สำหรับประเทศสยาม เมตร์ นั้น คือขนาดยาวซึ่งสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศทำขึ้น กำหนดเปนแบบมาตรา และรับรองว่าถูกต้อง

มาตรา ๑๒

มูลจำนวนหน่วยแห่งแมส (ที่เรียกกันว่าน้ำหนัก) นั้น ให้เปน กิโลกรัม คือ แมสของแท่งกลมแห่งปลาตินุมอิริดิอุม ซึ่งเก็บไว้ในสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ และซึ่งที่ประชุมใหญ่ครั้งแรกแห่งมาตราชั่งตวงวัดได้ประกาศไว้เปนแบบประถมตัวมาตราของกิโลกรัม

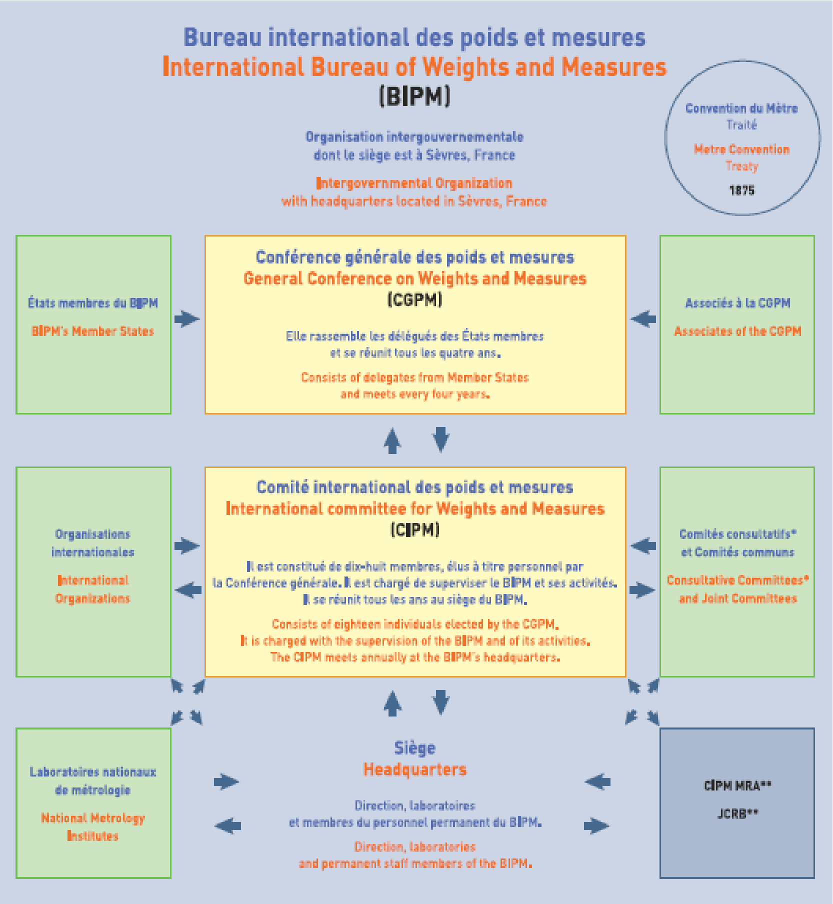
รูปที่ 2 มาตรา 9 และมาตรา 12 ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 (คำว่า “แบบประถม” มาจากคำ “Prototype” ส่วนคำว่า “แบบมาตรา” มาจากคำ “Standard”)

รูปที่ 3 สัญลักษณ์ของหน่วยงาน BIPM

อ้าว แล้วชั่งตวงวัดไทยมันเท่ห์อย่างไรถึงดันไปแอบอ้างชื่อหน่วยงาน “BIPM” หรือเปล่า ?

ก็พออธิบายว่าชั่งตวงวัดไทยเราก็คงเท่ห์นิดหน่อย เลยกล้าเอาชื่อนี้มาใช้ โดยอธิบายได้ว่า BIPM เป็นสำนักงานและทำหน้าที่ภายใต้การกำกับดูแลของคณะกรรมการบริหารที่มีชื่อว่า **“the International Committee for Weights and Measures (French: Comité international des poids et mesures, CIPM)”** มีหน้าที่ในการส่งเสริมหน่วยวัดสากลให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจัดการประชุมปีละ 1 ครั้ง ณ สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) CIPM ประกอบด้วยตัวแทนจากประเทศสมาชิกฯ ที่เรียกว่า **“Member States”** ของอนุสัญญาระบบเมตริก (Metric Convention) จำนวน 18 คน ซึ่งถูกเลือกจากที่ประชุมใหญ่ของประเทศสมาชิกฯ ทั้งหมดของอนุสัญญาระบบเมตริก ที่เรียกว่า **“the General Conference on Weights and Measures (French: Conférence générale des poids et mesures, CGPM)”** ที่จะประชุมกันทุกๆ 4 ปี

และที่เอาชื่อ หน่วยงาน “BIPM” มาใช้โดยใช้ชื่อว่า “สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ” ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 หรือ “สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ” ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ก็เพราะว่าประเทศสยามเราได้เข้าร่วมเซ็นสนธิสัญญาที่มีชื่อว่า **“อนุสัญญาระบบเมตริก (Metric Convention)”** ในรัชสมัยของสมเด็จพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชการที่ 6) น่ะขอรับพระคุณท่าน !!!!...



รูปที่ 4 โครงสร้างและบทบาท CGPM, CIPM และ BIPM

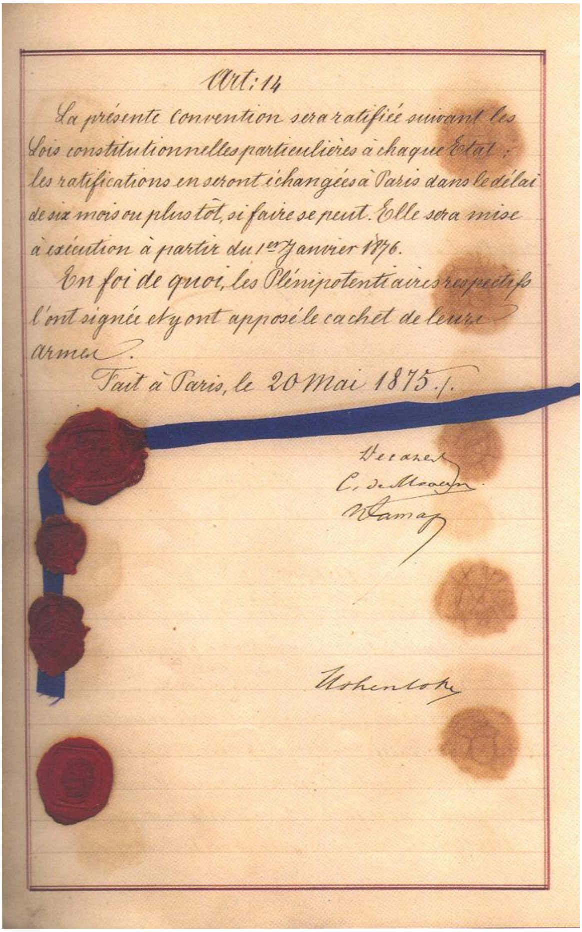
เมื่อปี พ.ศ. 2454 โดยกระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสนาบดีกระทรวงเกษตราธิการได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิก**อนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention)** หรือรู้จักในนาม **"Treaty of the Metre"** และในปีถัดมา พ.ศ. 2455 ประเทศสยามจึงได้เป็นสมาชิก **"Member States"** ของอนุสัญญาระบบเมตริก (Metric Convention) และขอเข้าร่วมเป็นสมาชิกสำนักงานมาตราชั่งตวงวัด

ระหว่างประเทศ (BIPM) ที่ประเทศฝรั่งเศส

ความเป็นมาของอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) หรือรู้จักในนาม "Treaty of the Metre" เกิดจากรัฐบาล 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 17. Venezuela) ได้ก่อตั้ง **The Metre Convention** และได้ลงนามร่วมกันในสนธิสัญญาเมตริกขึ้นใน**วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875)** เพื่อกำหนดนิยามและจัดตั้งแบบมาตรา " international standard for length and mass" เบื้องต้นคือ "มวลกับความยาว" ก่อน ด้วยเหตุนี้กระมังที่โลกและไทยเราถือเอาวันที่ 20 พฤษภาคม เป็นวันมาตรวิทยาโลก (World Metrology Day)

ในช่วงประมาณ พ.ศ. 2546 - 2547 ได้โอนการเป็นสมาชิกสำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (BIPM) จากการตั้งงบประมาณค่าสมาชิกโดย กองชั่งตวงวัด กระทรวงพาณิชย์ไปยังสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี่ เพราะงานทาง BIPM เป็นงานทางด้าน Science Metrology มานั่งนึกดูตอนที่เข้ารับราชการใหม่ๆจะได้รับหนังสือหรือเอกสารของ BIPM จากสถานฑูตไทยในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศษส่งมายังกองชั่งตวงวัดอยู่เรื่อยๆ เลยลองเอามานั่งอ่านดูได้ไม่กี่หน้าก็นั่ง ปลง.....อนิจจา วต สังขารา...... เอกสารและหนังสือดังกล่าวต้องอยู่ได้ที่เดียวเท่านั้น คือตู้เก็บเอกสาร แน่ๆ 100% ในขณะที่กองชั่งตวงวัดจะเป็นหน้างานทางด้าน Legal Metrology ประกอบกับกองชั่งตวงวัดได้รับการสนับสนุนโครงการ "Upgrading Legal Metrology in Thailand" (Project no. 91.2173.2/PTB no. 8332) จากสหพันธรัฐเยอรมันนี โดย PTB ในปี พ.ศ. 2534 (1991) ใน Action Plan ได้ให้คำแนะนำให้เตรียมตัวสมัครเข้าเป็นสมาชิก OIML เมื่อมี Action Plan และชั่งตวงวัดเราเป็นเด็กดี ในปี พ.ศ. 2538 ประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยกฎหมายชั่งตวงวัด (International Organization of Legal Metrology, OIML) โดย กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

ในปัจจุบัน) กระทรวงพาณิชย์ เป็นตัวแทนในนามของประเทศไทยเป็น "สมาชิกสมทบ (Corresponding Members)" ในวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2538 จนถึง วันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ได้ขยับฐานะความเป็นสมาชิกขึ้นเป็น "สมาชิกสามัญ (Member State) จนถึงปัจจุบัน...... สนนราคาความเป็นสมาชิกสามัญต่อปีอยู่ที่ 56,000.EUROS


Art: 14

La présente Convention sera ratifiée suivant les Lois constitutionnelles particulières à chaque État; 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 5 อนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) หรือรู้จักในนาม "Treaty of the Metre

เหตุที่นับเอาวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เริ่มจาก Instrument of Accession (ภาคยานุวัติสาร) ตามที่รัฐมนตรีกระทรวงการต่างประเทศ ลงนาม (ดังในรูปที่ 6) ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 แต่ตามข้อ XXXIV วรรคสองของอนุสัญญาฯ (Convention Establishing an International Organisation of Legal Metrology) ระบุให้อนุสัญญาฯมีผลบังคับกับรัฐที่ได้ภาคยานุวัติ 30 วันหลังจากการมอบภาคยานุวัติสาร ซึ่งสถานเอกอัตรราชฑูต ณ กรุงปารีสได้แจ้งว่าได้ส่งมอบภาคยานุวัติสารต่อรัฐบาลฝรั่งเศสเรียบร้อยเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 ตามหนังสือที่ 15001/17 ลงวันที่ 6 มกราคม ค.ศ. 2016 ดังนั้นแสดงว่าภาคยานุวัติมีผลถัดจากวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2559 นับไป 30 วัน คือวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ส่วนวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เป็นวันที่มีการแจ้งยืนยันว่าได้รับเงินค่าสมาชิกจากประเทศไทย

จากประวัติที่ยาวนาน ชั่งตวงวัดเราจึงคุ้นเคยกับภาษาอังกฤษคำว่า **"Weights and Measures"** หรือ **"W&M"** มาอย่างยาวนานเนื่องจากเราติดมาจาก **"The International Bureau of Weights and Measures"** และชื่อในภาษาฝรั่งเศษว่า **Bureau international des poids et mesures (BIPM)** และดังนั้นหากวันนี้ใครดันมาขอให้เรามาใช้คำว่า "**มาตรวิทยา**" หรือ "**Metrology**" แทนคำว่า "**ชั่งตวงวัด**" หรือ "**Weights and Measures**" หรือ "**W&M**" ขอให้พี่ๆ ดังกล่าวคิดถึงอัตลักษณ์และเคารพอัตลักษณ์ของน้องๆหน่อยน่ะ ชั่งตวงวัดถ้านับเป็นคนก็สูงอายุเกือบ 100 ปี (ในปี 2566) แล้วน่ะพี่ๆเพ้ยๆ

สรุป

"สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดของนานาประเทศ" ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466

= "สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ" ในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

= BIPM; The International Bureau of Weights and Measures" และชื่อในภาษาฝรั่งเศษว่า Bureau international des poids et mesures

นิทานเรื่องนี้ก็จบลงเท่านี้....สาธุ ...น่ะขอรับพระคุณท่าน !!!!...

INSTRUMENT OF ACCESSION

WHEREAS the Convention establishing an International Organisation of Legal Metrology was done at Paris on 12 October 1955 and modified in 1968 by amendment of Article XIII, in conformity with the provisions of Article XXXIX;

WHEREAS Article XXXIII of the Convention provides that the States which have not signed the Convention may accede to it upon the expiration of the time limit provided for under Article XXXII which was on 31 December 1955; and

WHEREAS Article XXXIV of the Convention provides that the present Convention shall enter into force thirty days after the deposit of the sixteenth instrument of ratification or accession. It shall enter into force for each State which shall ratify it or accede to it after that date, thirty days after the deposit of its instrument of ratification or accession. The Government of the French Republic shall notify each one of the Contracting Parties of the date of entry into force of the Convention;

THE GOVERNMENT OF THE KINGDOM OF THAILAND, having considered the aforesaid Convention, hereby accedes to the same and undertakes to faithfully perform and carry out all the stipulations contained therein.

IN WITNESS WHEREOF, this Instrument of Accession is signed and sealed by the Minister of Foreign Affairs of the Kingdom of Thailand.

DONE at the Ministry of Foreign Affairs, Bangkok, this 30th Day of November in the Year Two thousand Five hundred and Fifty-eight of the Buddhist Era, corresponding to the Year Two thousand and Fifteen of the Christian Era.

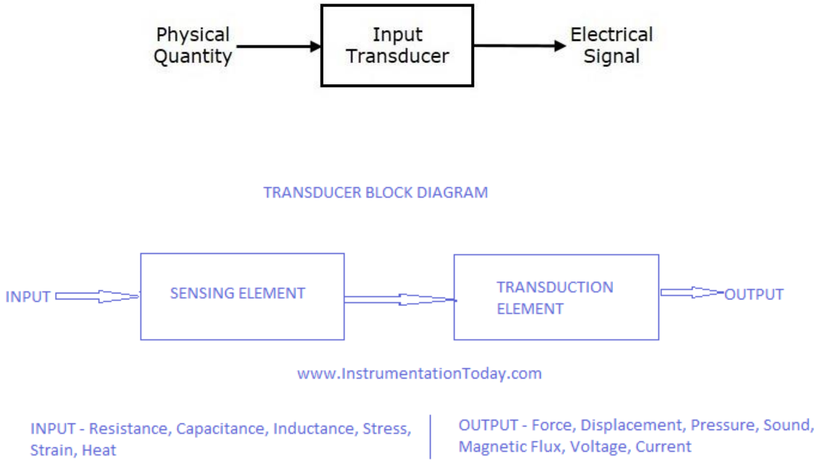
(Don Pramudwinai)
Minister of Foreign Affairs
of the Kingdom of Thailand

รูปที่ 6 Instrument of Accession ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558; OIML

เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) และ ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)

เซนเซอร์ (Sensor) เป็นอุปกรณ์**ตรวจจับ**, รับรู้ หรือบ่งบอกสถานะ การเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพของตัวแปรต่างๆ ปริมาณในการวัดของการ**ตรวจจับ** รับรู้ หรือบ่งบอกสถานะของอุปกรณ์เหล่านั้นได้ เช่น ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ความชื้น (Humidity), ปริมาณอัตราการไหล (Flow Rates), ตำแหน่ง (Linear Displacement), ความดัน (Pressure) และยังมีเซนเซอร์แบบอื่น เช่น โฟโต้เซนเซอร์ (Photo Electric Sensor), พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor) เพื่อบ่งบอกสถานะทำงาน เช่น สถานะ ON-OFF เป็นต้น

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ทำหน้าที่ **เปลี่ยนแปลง**พลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง (ดูรูปที่ 1) รูปแบบพลังงานดังกล่าว เช่น อุณหภูมิ (Temp), ความชื้น (Humidity), แรงกด (Pressure), electrical, chemical, mechanical, thermal energy, electromagnetic energy รวมถึง light , อัตราการไหล (Flow Rates), แรงตึงเครียด (Strain) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานในรูปแบบที่ต่างออกไป เช่น แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), ความร้อน (Thermal), แสงสว่าง (Light), ความต้านทาน (Resistance) เป็นต้น แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว ทรานสดิวเซอร์จะแปลงพลังงานที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพราะเราสามารถนำไปใช้ประโยนช์ต่อไปได้สะดวก เราจะพบว่าอาจอยู่ในรูป Sensor โดดๆ หรือรวมเอา Sensor เข้ากับทรานสดิวเซอร์แล้วเรียกรวมกันเป็น "**ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)**" ก็ได้ อาจจะกล่าวได้ว่า **"ทราสดิวเซอร์ก็คือเซนเซอร์ แต่เซนเซอร์ไม่ใช่ทรานสดิวเซอร์"**



รูปที่ 1 Input และ Output ของทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

Transducer Applications

การใช้งานอยู่บนพื้นฐานของ the electric parameter ที่ใช้และหลักการที่เกี่ยวข้อง แบ่งออก 2 ประเภทคือ

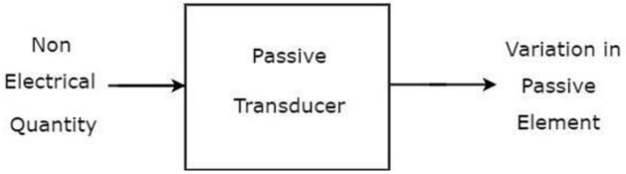
1. Passive Type Transducers

a. Resistance Variation Type เช่น Resistance Strain Gauge, Resistance Thermometer, Resistance Hygrometer, Hot Wire Meter, Thermistor, Potentiometer Type

b. Capacitance Variation Type เช่น Variable Capacitance Pressure Gauge, Dielectric Gauge, Capacitor Microphone

c. Inductance Variation Type เช่น Eddy Current Transducer, Variable Reluctance Type, Proximity Inductance Type, Differential Transformer, Magnetostrictive Transducer

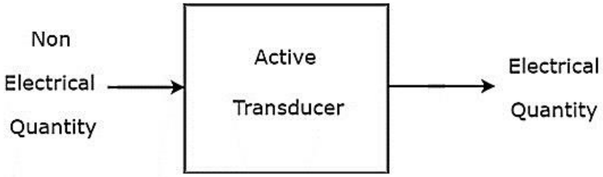
d. Voltage and Current Type เช่น Photo-emissive Cell, Hall Effect, Ionisation Chamber



รูปที่ 2 Passive Type Transducers

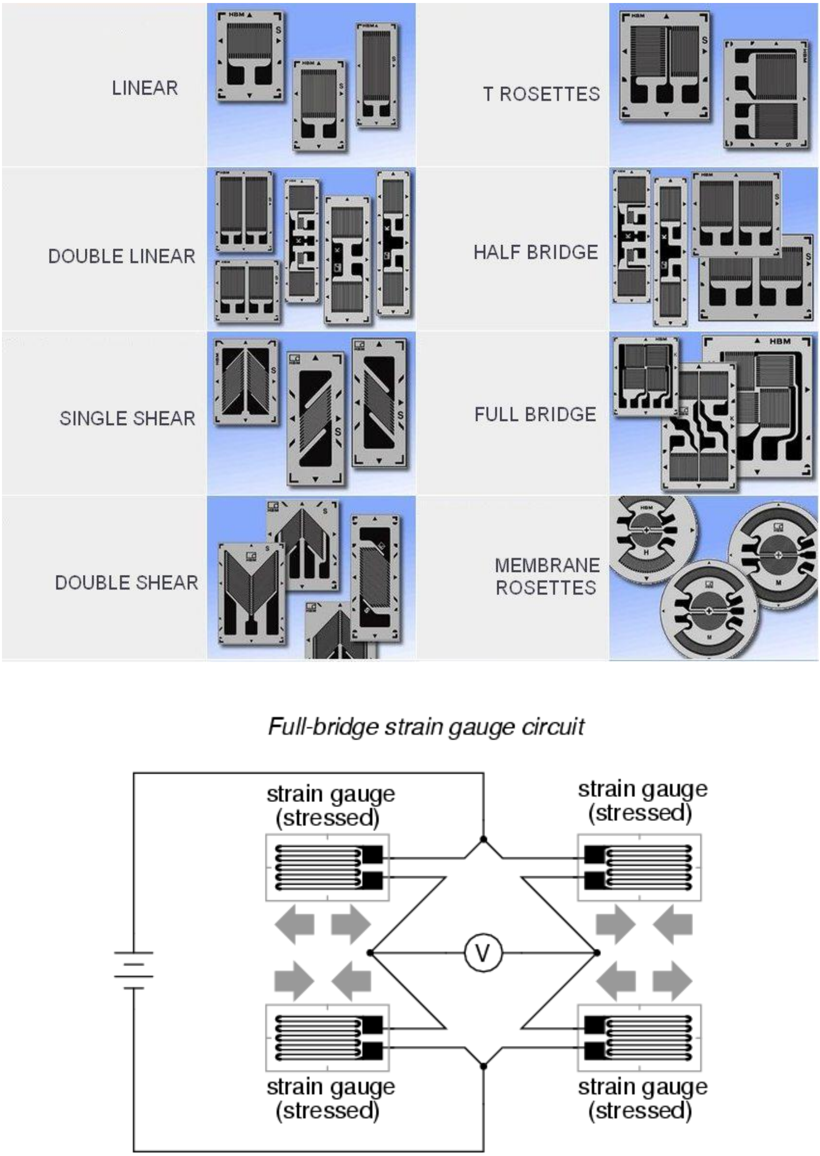
2. Active Type Transducers เช่น

Piezoelectric Type – เมื่อแรงภายนอกกระทำต่อ a quartz crystal ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัส การเปลี่ยนปลง ดังกล่าวจะถูกวัดในลักษณะที่สอดคล้องกับค่าของเสียงหรือการสั่นสะเทือนที่วัดอยู่

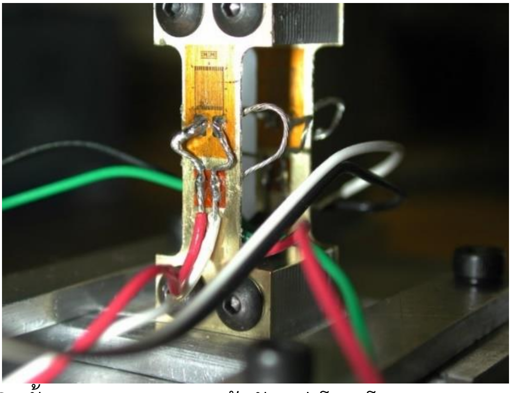


รูปที่ 3 Active Type Transducers

จากเนื้อหาเบื้องต้นก็ถือว่าพอหอมปากหอมคอก่อน เราไม่ต้องลึกมากเอาแค่เบ็ดดอน กร๊าบๆๆๆ ก็พอรู้นี้นิดรู้นั้นหน่อย เพราะงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) เป็นงานสหวิชาชีพจริงๆขอรับท่าน ส่วนท่านจะให้รับหลายๆท่านจบปริญญาตรีโลจิสส์ติ๊กมาเป็นนักวิชาการชั่งตวงวัดก็ได้ๆๆๆ (ถ้าเส้นใหญ่ๆๆๆๆๆ พอ) กลับมาที่ตัวอย่างใกล้ตัว ตัวอย่างเช่น นำ Strain gauge ทั้ง 4 ตัวมีการต่อเชื่อมทางไฟฟ้าด้วยวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone Bridge Circuit) ติดตั้งเข้ากับแท่งโครงโลหะ (a metal frame) ซึ่งได้รับการออกแบบให้มีการถ่ายถอดแรงที่กระทำต่อแท่งโครงโลหะ (ที่อาจทำด้วยโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก หรือ สแตนเลส) ไปยัง strain gauges ได้เต็มที่ เราเรียกรวมทั้งหมดว่า “โหลดเซล”

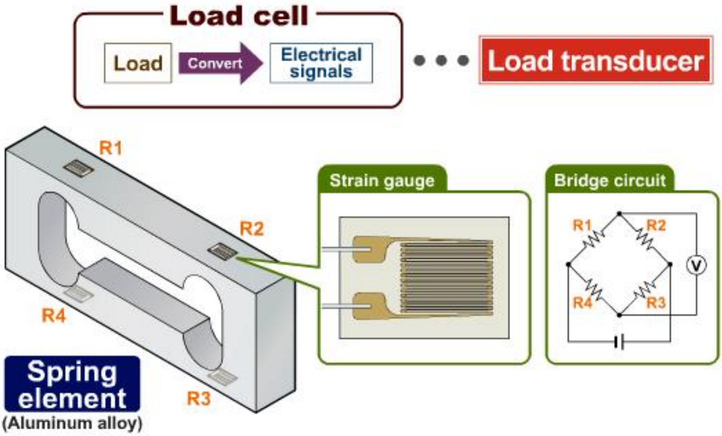


รูปที่ 4 Strain Gauges ชนิดต่างๆ และการต่อเชื่อม Strain Gauges ด้วยวงจรวีทสโตนบริด



รูปที่ 5 ติดตั้ง Strain Gauges เข้ากับแท่งโครงโลหะ (a metal frame)

ในที่นี้ Strain gauge ทั้ง 4 ตัวจึงทำหน้าที่เป็น “**เซนเซอร์ (Sensor)**” เพื่อตรวจจับภาระแรงที่มากระทำต่อแท่งโครงโลหะ จากนั้น Strain gauge ทั้ง 4 ซึ่งต่อเชื่อมทางไฟฟ้าด้วยวงจรวีทสโตนบริดจะแปลงภาระแรง (load) เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับ mV (ดูรูปที่ 6) เราจึงเรียก Strain gauge ทั้ง 4 ตัวซึ่งต่อเชื่อมทางไฟฟ้าด้วยวงจรวีทสโตนบริดติดตั้งเข้ากับแท่งโครงโลหะซึ่งให้สัญญาณด้านทางออกเป็นแรงดันไฟฟ้าระดับ mV (กรณีนี้คือ Analog Load Cell) ว่า “**Load Transducer**”

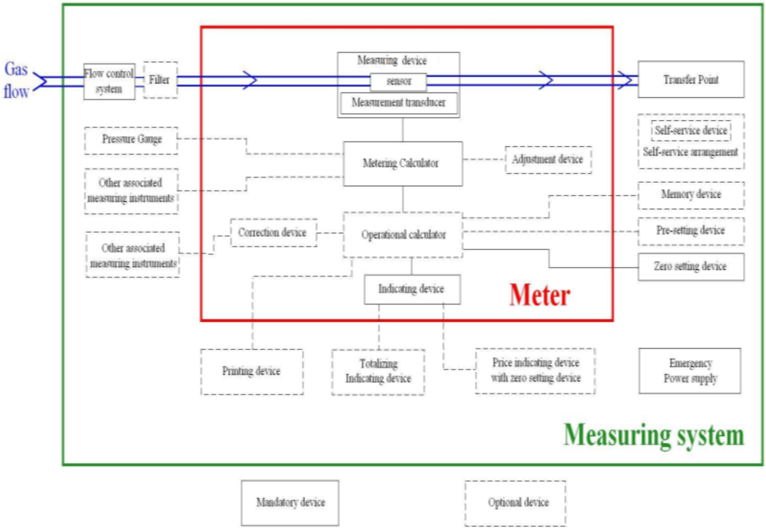


รูปที่ 6 Load Transducer หรือ Load Cell

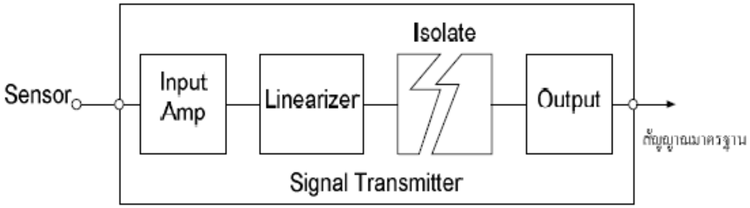
รูปที่ 7 Analog Load Cell และ Digital Load Cell

ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) คือ ตัวที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ (เซนเซอร์ หรือทรานสดิวเซอร์) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดัน ให้เป็นสัญญาณมาตรฐานส่งออกทางด้านเอาต์พุต เช่น สัญญาณอนาล็อกมาตรฐานด้านเอาต์พุต 0 - 10 Vdc, 4 - 20 mA เป็นต้น เพื่อส่งไปยังส่วนควบคุม (Control Device) , ส่วนประมวลผล (Calculator), หรือส่วนแสดงค่า (Indicating Device) ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากเซนเซอร์ หรือทรานสดิวเซอร์ แต่ก่อนที่ **ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)** ส่งสัญญาณมาตรฐานส่งออกทางด้านเอาต์พุตออกไปอาจทำการปรับปรุงสัญญาณที่รับเข้ามาก่อนก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของปรับปรุงสัญญาณรวมถึงการขยายสัญญาณ (Amplification), Isolation, Linearization และกรองสัญญาณ (Filtering) ก่อนส่งไปยังส่วนประมวลผลและส่วนแสดงค่าต่อไป ตัวอย่างดังในรูปที่ 8 เป็นมาตรวัดก๊าซ

แต่ทั้ง**ทรานสดิวเซอร์และทรานสมิตเตอร์**ต่างทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากพลังงานรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งเป็นสัญญาณด้านทางออก



รูปที่ 8 Constituents of a typical compressed gaseous fuel measuring system for vehicles (OIML R139-1)



รูปที่ 9 ตัวอย่างขั้นตอนทำงานของทรานสมิตเตอร์ ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ (transducer) ให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน

เราพอแบ่งทรานสมิตเตอร์ ออกตามสัญญาณมาตรฐานทางด้านเอาต์พุต เป็น 2 ประเภทได้แก่ สัญญาณนิวแมติกส์และสัญญาณทางไฟฟ้า

1. **สัญญาณนิวแมติกส์ (pneumatics signal)** เป็นสัญญาณมาตรฐานที่อยู่

ในรูปของความดันลม ใช้ความดันของลมในการควบคุมกระบวนการ ตัวอย่างสัญญาณมาตรฐานชนิดนิวแมติกส์ ได้แก่ 3 - 15 psi (BS), 0.2 - 1 bar (SI) และ 0.2 - 1 kg/cm^2 (Metric)

2. **สัญญาณทางไฟฟ้า (electrical signal)** เป็นสัญญาณมาตรฐานที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า 1 - 5 V, กระแสไฟฟ้า 4 - 20 mA และ แรงดันไฟฟ้า 0 - 10 V, กระแสไฟฟ้า 0 - 100 mA

สัญญาณวัดมาตรฐานแบบ Analog สัญญาณมาตรฐานมี 2 ชนิดคือ

1. **สัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน** เป็นการส่งสัญญาณในรูปของกระแสตรง (DC. Current) มาตรฐานที่นิยมใช้คือ 4 - 20 mA หมายความว่าเมื่อค่าวัดเป็น 0% เท่ากับกระแส 4 mA และค่าวัดเป็น 100 % เท่ากับกระแส 20 mA และค่าวัดซึ่งอยู่ในช่วง 0-100 % จะสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับกระแส 4-20 mA

ข้อดีของการส่งสัญญาณเป็นกระแส คือ สามารถส่งสัญญาณไปได้ระยะไกลๆ ความต้านทานของสายส่งสัญญาณ จะไม่ทำให้ค่าวัดผิดพลาด และการถูกสัญญาณรบกวนจะน้อยกว่าการส่งเป็นแรงดันไฟฟ้า นอกจากมาตรฐาน 4 - 20 mA แล้วยังมีมาตรฐานแบบอื่นอีกแต่คนนิยมใช้น้อย เช่น 0 - 20 mA, 10 - 50 mA, 0 - 1 mA

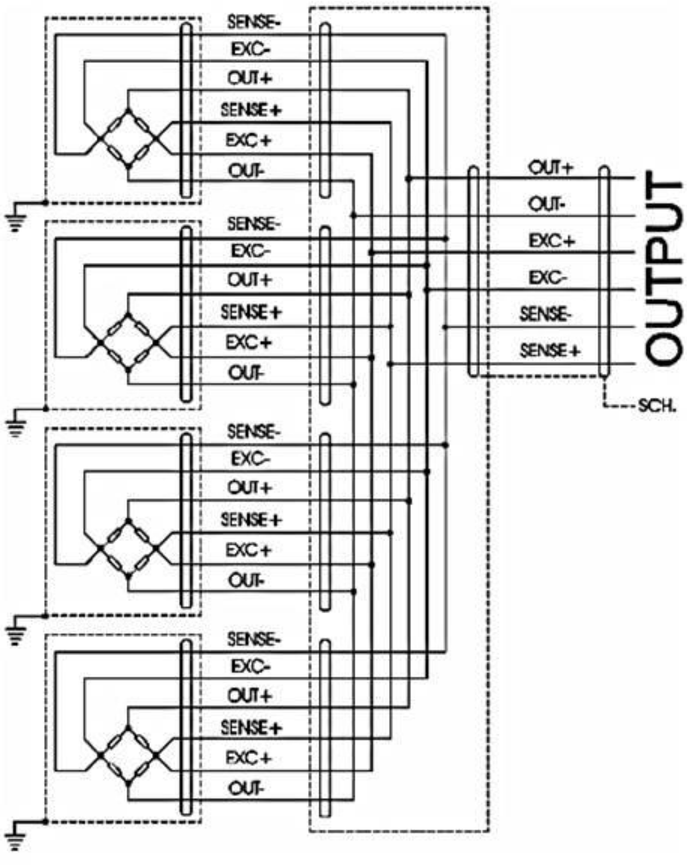
2. **สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน** เป็นการส่งสัญญาณในรูปของแรงดันไฟฟ้า (DC Voltage) มาตรฐานที่นิยมใช้คือ 1 - 5 Vdc หมายความว่า เมื่อค่าวัดเป็น 0% เท่ากับ แรงดัน 1 V และค่าวัด เป็น 100 % เท่ากับแรงดัน 5 V การใช้สัญญาณมาตรฐานแบบแรงดันนี้ไม่เหมาะกับการที่ต้องส่งสัญญาณระยะไกลเนื่องจากความต้านทานของสายสัญญาณจะทำให้ค่าวัดผิดไป และถูกสัญญาณรบกวนได้ง่าย สัญญาณแบบแรงดันนี้เหมาะกับการส่งสัญญาณระยะใกล้ และมีการต่อเข้ากับอุปกรณ์รับสัญญาณหลายแบบ เนื่องจากสะดวกในการติดตั้ง นอกจากสัญญาณมาตรฐาน 1 - 5 V แล้วยังมีมาตรฐานอื่นแต่นิยมใช้น้อย คือ 0 - 10 V, 0 - 5 V, 0 - 10 mV

ตัวอย่างต่อเนื่องมาจากความเดิมของตอนที่แล้ว ในกรณีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติต้องใช้โหลดเซล 4 ตัวทำการต่อเชื่อมด้วยระบบสายสัญญาณไฟฟ้าเข้าด้วยกันแบบ 6

wire load cell (ดูรูปที่ 12) เป็นระบบที่มีเสถียรภาพมากกว่าระบบสายสัญญาณแบบ 4 **wire load cell** ทั้งนี้เพราะสายสัญญาณ +Sense และ –Sense ตรวจสอบพบว่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางเข้าโหลดเซลหรือด้านกระตุ้นโหลดเซลนั้นต่ำหรือสูงเกินกว่าที่กำหนด ก็จะการส่งสัญญาณไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังเพื่อทำการปรับแรงดันกระตุ้น (excitation voltage) ให้เป็นไปตามที่กำหนด ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้โหลดเซลที่เป็นแบบ “6 wire load cell” จึงสามารถติดตั้งโหลดเซลได้ระยะไกลเกินกว่า 20 เมตร ห่างออกจากส่วนแสดงค่า (indicator) นอกจากนี้กล่องรวมสายสัญญาณไฟฟ้า (Junction Box) ระหว่างโหลดเซล 4 ตัวยังเป็นชิ้นส่วนอันสำคัญในการบริหารจัดการรวมทั้งคุณภาพของงระบบเครื่องชั่งอย่างยิ่ง เช่น ความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าด้านทางเข้าโหลดเซลหรือด้านกระตุ้นโหลดเซล, การขยายสัญญาณ (Amplification), Isolation, Linearization และกรองสัญญาณ (Filtering) เป็นต้น ก่อนส่งไปยังส่วนควบคุม (Control Device), ส่วนประมวลผล (Calculator), หรือส่วนแสดงค่า (Indicating Device) ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากเซนเซอร์ หรือทรานสดิวเซอร์ **กล่องรวมสายสัญญาณไฟฟ้า (Junction Box)** ของโหลดเซลดังกล่าวจึงทำหน้าที่ “**Load Transmitter**” นะครับ

รูปที่ 10 การรวมสายสัญญาณไฟฟ้าระหว่างโหลดเซล 4 ตัวด้วย Junction Box

รูปที่ 11 การรวมสายสัญญาณไฟฟ้าด้วย Junction Box



รูปที่ 12 การต่อเชื่อมโหลดเซลด้วยระบบสายสัญญาณไฟฟ้าแบบ 6 wire load cell

ดังนั้นหวังเป็นอย่างยิ่งที่ผู้มีอุปการะคุณทุกท่านได้เข้าใจความแตกต่างและพอแยกแยะระหว่าง **“Load Transducer”** กับ **“Load Transmitter”** ให้ออกน่ะครับคุณท่าน

รูปที่ 13 กล่องรวมสายสัญญาณไฟฟ้า (Junction Box) ระหว่างโหลดเซล 4 ตัว แบบ 6 wire load cell

ตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัด
วันวานที่หวานอยู่......

ผมเคยเขียนหนังสือเล่มหนึ่งที่ชื่อว่า "การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighing Instruments)" เมื่อวันวาน........... ประมาณ พ.ศ. 2542 ซึ่งอยู่บนพื้นฐาน OIML R76 – 1992 ตัวหนังสือจริงๆที่เป็นกระดาษคงไม่มีเหลืออยู่ (ไม่ใช่ขายดีหรอกแต่พิมพ์น้อยเพราะงบประมาณจำกัดต่างหาก) หากผู้ใดสนใจสามารถหาอ่านเป็น E-book ได้จาก "www. cbwmthai.org" ก่อนจะไปต่อหลายคนอาจถามว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติคืออะไร **เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ คือ เครื่องชั่งที่ต้องใช้ผู้ชั่งทำการชั่งในระหว่างการชั่ง** เช่น การยก-วางสิ่งของหรือตุ้มน้ำหนักบนเครื่องชั่ง และการอ่านผลการชั่งหลักๆ แต่ผมขอเพิ่มอีกอย่างด้วยว่า **เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติในที่นี้ต้องทำงานอยู่บนหลักการแรงโน้มถ่วงของโลก**ด้วยน่ะครับ หากทำงานด้วยหลักการอื่นๆ เช่น แรงหนีศูนย์กลาง จะไม่อยู่ภายใต้กรอบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่เรากล่าวถึงในงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย

การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบ 31 ขั้นตอน รวมกับวิธีการทดสอบมาตรฐานที่แทรกอยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ 31 ขั้นตอนเป็นระยะๆ อีก 6 วิธีการทดสอบมาตรฐานระยะเวลาดำเนินการน่าจะอยู่ระหว่าง 1 -3 เดือน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 1 : ช่วงการตั้งศูนย์ครั้งแรก (Initial Zero - Setting Range); A.4.2.1.1

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/1 : ช่วงการตั้งศูนย์ไม่อัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ (Non-Automatic and Semi-automatic Zero - Setting Range); A.4.2.1.2

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/2 : ช่วงการตั้งศูนย์อัตโนมัติ

(Automatic Zero - Setting Range); A.4.2.1.3

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/3 : ช่วงการรักษาศูนย์ (Zero – tracking Range); A.4.5.1 และ 4.5.7

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/4 : ส่วนแสดงศูนย์ (Zero – indicating Device); A.4.2.2

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/5 : ความถูกต้องของการตั้งศูนย์ (Accuracy of Zero Setting); A.4.2.3

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 2/6 : ความเร็วของการรักษาศูนย์ (Speed of Zero Tracking); 4.5.5 และ 4.5.7

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 3/1 : การทดสอบดิสคริมิเนชั่น (Discrimination test, 3.8); A.4.8

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 3/2 : การทดสอบหาความรู้สึก (Sensitivity, 6.1); A.4.9

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 4 : การทดสอบการเยื้องศูนย์ (Eccentricity test, 3.6.2) ; A.4.7

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 5 : การทดสอบหาผลผิดแฝงเริ่มต้น (Determination of Initial Intrinsic Error); A.4.4 และ A.4.5

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 6 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 7 : การเปลี่ยนแปลงการแสดงค่าเมื่อเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไป (เฉพาะสำหรับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II, III, หรือ IIII) (Variation of indication with time (for instruments of class II, III, IIII only); A.4.11

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 8 : การทดสอบความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability test, 3.6.1); A.4.10

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 9/1 : การทดสอบการชั่งการทด

น้ำหนัก (Tare Weighing test, 3.5.3.3); A.4.6.1

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 9/2 : ส่วนทดน้ำหนักไม่อัตโนมัติ (Non- automatic Tare Setting Device)และส่วนทดน้ำหนักกึ่งอัตโนมัติ(Semi-automatic Tare Setting Device); A.4.6.2.1

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 9/3 : ส่วนทดน้ำหนักอัตโนมัติ (Automatic Tare Setting Device) ; A.4.6.2.2

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 9/4 : ส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้า (Preset Tare Setting Device); A.4.6.2.3

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 10 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 11 : การทดสอบเวลาที่ใช้ในการอุ่นเครื่อง (Warm-up time test, 5.3.5); A.5.2

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 12 : การทดสอบความมั่นคงของสมดุล (Test for the stability of equilibrium); A.4.12 (4.4.2)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 13 : การเอียง (Tilting, A.5.1)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 14 : การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า (Voltage variations, A.5.4); 3.9.3

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 15 และ 16 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 17, 18, 19, 20 และ 21 : การทดสอบการชั่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือการทดสอบทางอุณหภูมิ (Temperature tests, A.5.3)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 22 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 23 : การทนต่อสภาพความร้อนที่สถานะคงที่ (Damp heat, steady state); B.2.2

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 24 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 25 : การลดกำลังไฟฟ้าเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ (Short time power reductions, B.3.1)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 26 : การเกิดการระเบิดภายในระบบสายส่ง (Electrical Bursts, B.3.2)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 27 : การปล่อยประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic discharge, B.3.3)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 28 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 29 : ภูมิต้านทานต่อการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity to radiated electromagnetic fields, B.3.4)

ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 30 : การทดสอบเสถียรภาพของช่วงการชั่ง (Span stability test); B.4

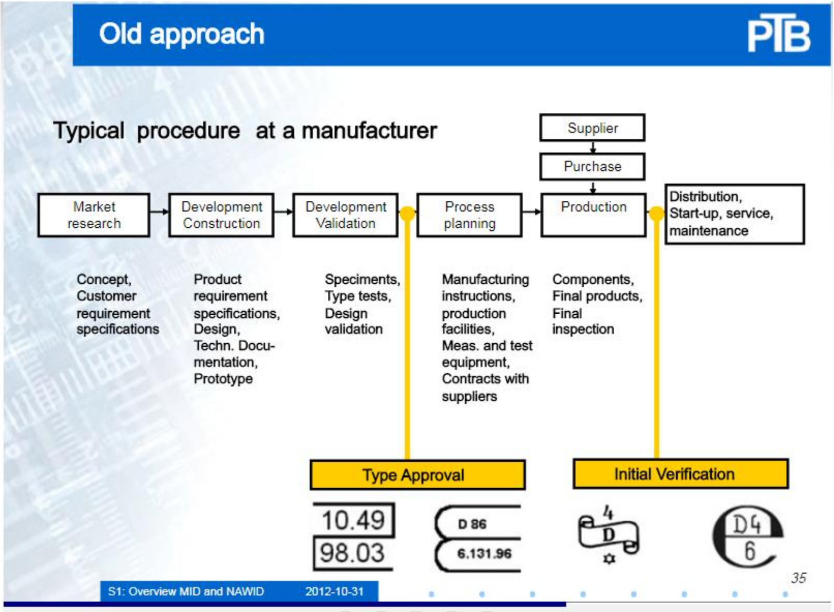
ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบลำดับที่ 31 : การทดสอบความคงทน (ทดสอบเฉพาะเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II, III และ IIII ที่มีค่าพิกัดกำลังสูงสุด $\leq$ 100 กก.)(Endurance test, A.6); 3.9.4.3

หากพิจารณาในแต่ละขั้นตอนท่านต้องใช้บุคคลากรจำนวน, คุณภาพระดับใดและสาขาวิชาชีพเชี่ยวชาญกี่สาขา แต่ละสาขานั้นๆมีความประสงค์รับราชการหรือไม่ด้วยเงินเดือนที่น้อยและ Zero Corruption ท่านต้องลงทุนสร้างห้องปฏิบัติการฯหรือมองหาห้องปฏิบัติการฯที่ได้มาตรฐานน่าเชื่อถือภายในประเทศกี่ห้องปฏิบัติการฯที่สามารถทดสอบตามหัวข้อ (ที่กำหนดไว้ในอดีต) เช่น การทดสอบภูมิต้านทานต่อการแผ่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Immunity to radiated electromagnetic fields, B.3.4) หรือการทดสอบการชั่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือการทดสอบทางอุณหภูมิ (Temperature tests, A.5.3) เป็นต้น เพราะลำพังชั่งตวงวัดมีงบประมาณประจำปีเพียง 80 - 120 ล้านบาทต่อปีที่ต้องใช้จ่ายทั่วทั้งประเทศ หรือเราจะ Outsource ?

(เล่นของสูง ศัพท์สูง.. เสียแล้วเรา ?) แล้วประเทศไทยเรามีผู้ผลิตเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติกี่รายที่ต้องส่งออกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติไปขายในต่างประเทศแล้วรัฐต้องสนับสนุนด้วยการจัดทำโครงสร้างพื้นฐานตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติให้กับภาคเอกชนผู้ผลิตหรือเราจะสร้างสาธารณูประการพื้นฐานด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology Infrastructures) เพื่อคัดกรองเครื่องชั่งตวงวัดที่นำเข้าจากต่างประเทศให้มีคุณภาพสูงเพียงพอก่อนจะถูกโยนเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจและสังคมราชอาณาจักรไทย แน่นอนต้องมีผู้นำเข้าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติกี่รุ่นที่เราต้องไม่ยอมให้นำเข้าเครื่องชั่งฯที่ไม่ได้คุณภาพเข้ามาในประเทศเราเช่นกัน แต่ในเบื้องต้นหากพิจารณาในเทอมของจำนวนและคุณภาพบุคคลกรรวมทั้งสาขาวิชาชีพที่หลากหลายซึ่งจำเป็นเพื่อทำงานตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดของภาครัฐและจำนวนวงเงินงบประมาณแบบเดิมๆ เพื่อลงทุนในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานห้องปฏิบัติการฯให้มีขีดความสามารถทำงานได้และได้รับความเชื่อถือในเวทีโลก คิดแล้วหนักใจเสียหรือเกิน

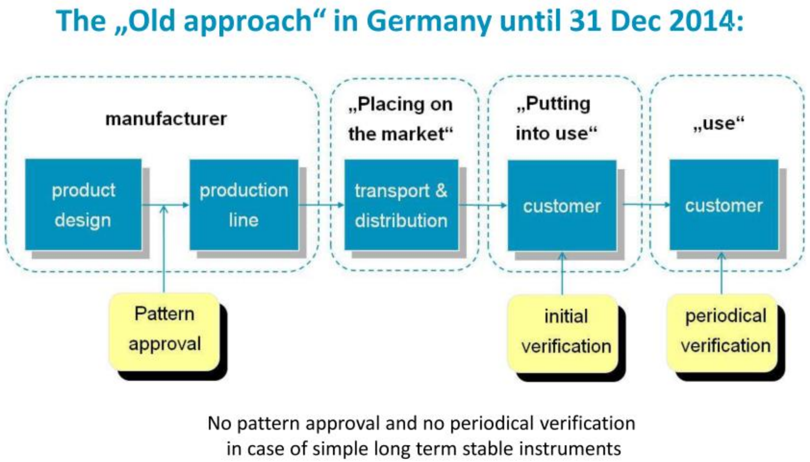
เนื่องจากรอบการพัฒนาและนววัตกรรมการผลิตเครื่องชั่งตวงวัด (ในที่นี้เราตีกรอบเอาเฉพาะเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติน่ะ) จากเดิมๆ ดังในรูปที่ 1 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัดของผู้ผลิตต้องใช้เวลานาน จนกระทั่งในปัจจุบันใช้เวลาน้อยลงเพราะการแข่งขันในตลาดสูงมาก ชิ้นส่วนอุปกรณ์จัดเป็น Module ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนกันได้และเลือกประกอบเสมือน LEGO อีกทั้งเชื่อมถึงกันด้วยระบบเชื่อมตัวสัญญาณและ Internet เป็นต้น สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การประยุกต์งานที่หลากหลายเป็นวงกว้าง ซึ่งเป็นผลมาจากระบบคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เนต

ดังนั้นการดำเนินการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดด้วยวิธีการเก่าๆ อย่างเมื่อวันวาน (ดูรูปที่ 1) จึงไม่สามารถตอบโจทย์และแก้ไขปัญหาชีวิตผู้ประกอบการผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดได้อีกต่อไปต้องคิดนวัตกรรมการบริหารการจัดการให้สอดรับกับชีวิตจริงเพิ่มมากขึ้นจึงต้องปรับปรุงและพัฒนาการตรวจสอบต้นแบบและการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดให้ดำเนินการอย่างรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อยลงและมีประสิทธิภาพประสิทธิผลโดยคาดหวังว่าผลประโยชน์ขั้นสุดท้ายจะตกลงที่ประชาชนที่ได้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่ดีและมีราคาถูกลง เพื่อสนองตอบหลักการค้าที่มีการแข่งขันเสรี



รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องชั่งตวงวัดของผู้ผลิตเมื่อวันวาน...

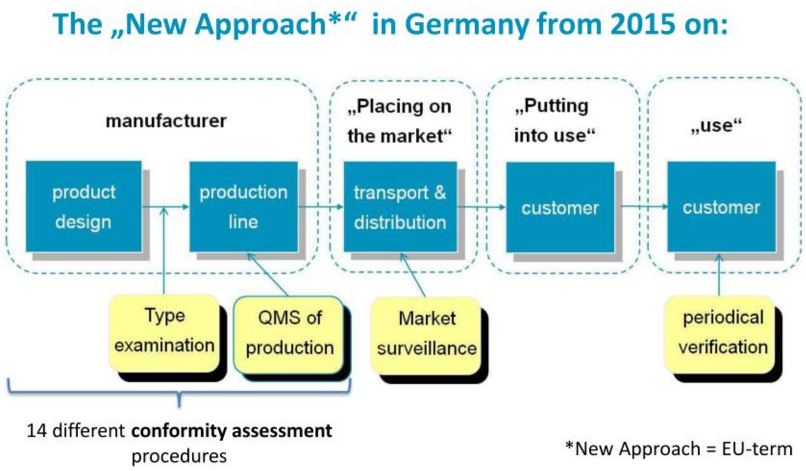
และเป็นธรรม (มันจะจริงหรือไม่จริงตาม Adam Smith หนูก็ไม่อาจรู้) การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติด้วยวิธีการอย่างเช่นเมื่อวันวานซึ่งต้องเริ่มขั้นตอนทดสอบจากต้นจนจบสิ้นกระบวนความ 31 ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบต้องเสียค่าใช้จ่าย ใช้แรงงานและเวลาที่มากมายเป็นการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพจึงไม่ใช่คำตอบของการขยับเขยื้อนเศรษฐกิจของประเทศที่เจริญแล้วเมื่อต้องสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกสูงตลาดเพื่อหารายได้เข้าประเทศ (ดูรูปที่ 2) เพื่อสนองความต้องการและแก้ไขปัญหาในการดำเนินธุรกิจในแต่ละภาคส่วนที่มีความต้องการเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติไม่เหมือนกัน พูดง่ายๆว่าตลาดเสรีนิยมเค้าไม่ปลื้มกับการค้าที่ไม่มีประสิทธิภาพและไม่สามารถสร้างความมั่งคั่งกินดีอยู่ดีของประเทศที่เจริญแล้วว่างั้นเถอะ กรรมเลยมาตกและเกิดกับประเทศที่ปรับตัว พัฒนาตัวเองได้ช้าหรือไม่ทันประเทศที่เจริญแล้วภายใต้ที่เรียกว่า "ตลาดเสรี" และตลาดเสรีเป็นของผู้เข้มแข็งและแข็งแรงตามการคัดสรรตามธรรมชาติหรือ Natural Selection อันมาจากแนวคิดของ Charles Darwin



รูปที่ 2 แนวปฏิบัติการกำกับดูแลงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) เมื่อวันวาน....

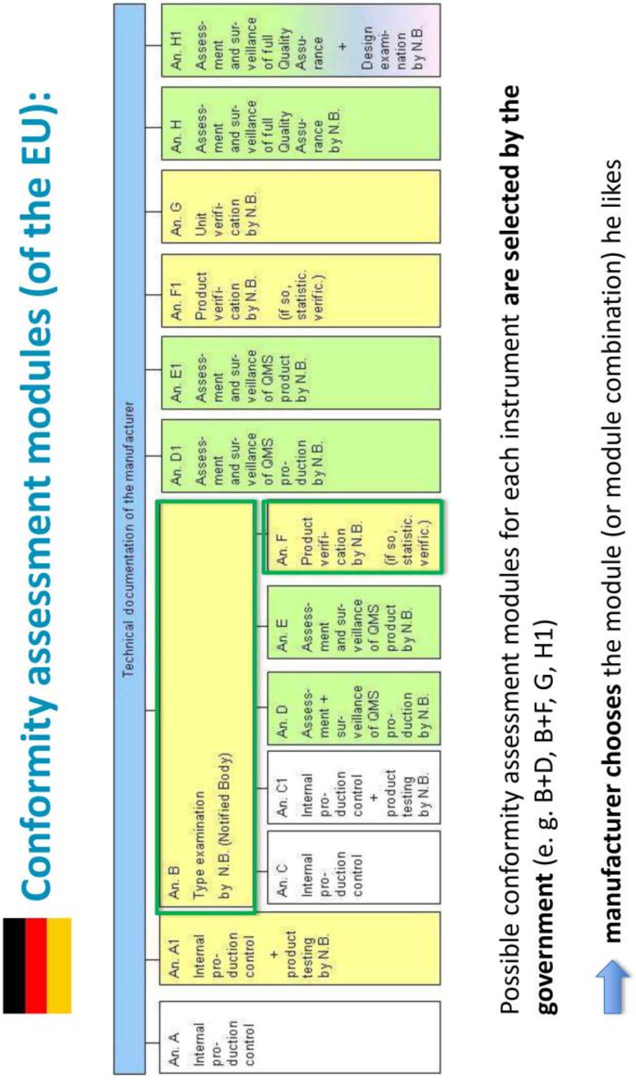
ทางกลุ่มประเทศยุโรป (EU) จึงเปลี่ยนระบบการกำกับงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) จากเดิมซึ่งมีระบบตรวจสอบต้นแบบ (Pattern Approval) ในแต่ละรุ่น (Model) แทรกอยู่ในระบบ ตัวอย่างเช่นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติต้องทำการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัดด้วย 31 ขั้นตอนการตรวจสอบต้นแบบดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เปลี่ยนระบบการกำกับฯไปเป็นให้ผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดเลือก Module การตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัด 14 Conformity Assessment Procedures แทนตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 หรือ พ.ศ. 2558 (ดูรูปที่ 3) ขอย้ำนะว่า กลุ่มประเทศ EU เค้าละทิ้ง “ระบบตรวจสอบต้นแบบ (Pattern Approval)” เพื่อก่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วโดยคิดนวัตกรรมการบริหารงานใหม่ด้วยการใช้**ระบบ Conformity Assessment** เข้ามาจัดการเพื่อให้เป็นที่ยอมรับกันทั้ง EU อีกทั้งเป็นการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐานงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology Infrastructures) ของประเทศสมาชิกกลุ่มประเทศยุโรปซึ่งเป็นความได้เปรียบเชิงเทคนิคเมื่อเทียบกับภูมิภาคอาเซียนของเราซึ่งไปไม่ถึงไหนยัง งง..กับเมื่อไหร่จะเลือกตั้งและระบบราชการต้อง Zero Corruption ตัวอย่างเช่น ผู้ผลิตสามารถเลือก

ระบบตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดเอง เช่นเลือก Module B + Module F หรือ Module B + Module D หรือ Module B + Module H1 โดยในประเทศเยอรมัน PTB ทำตัวเป็น **Notified Body (ISO17065)** ดูแล Module B, D และ H1 ส่วน Verification Officers (พนักงานเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัด) ทำหน้าที่รับผิดชอบ Module F เป็นต้น

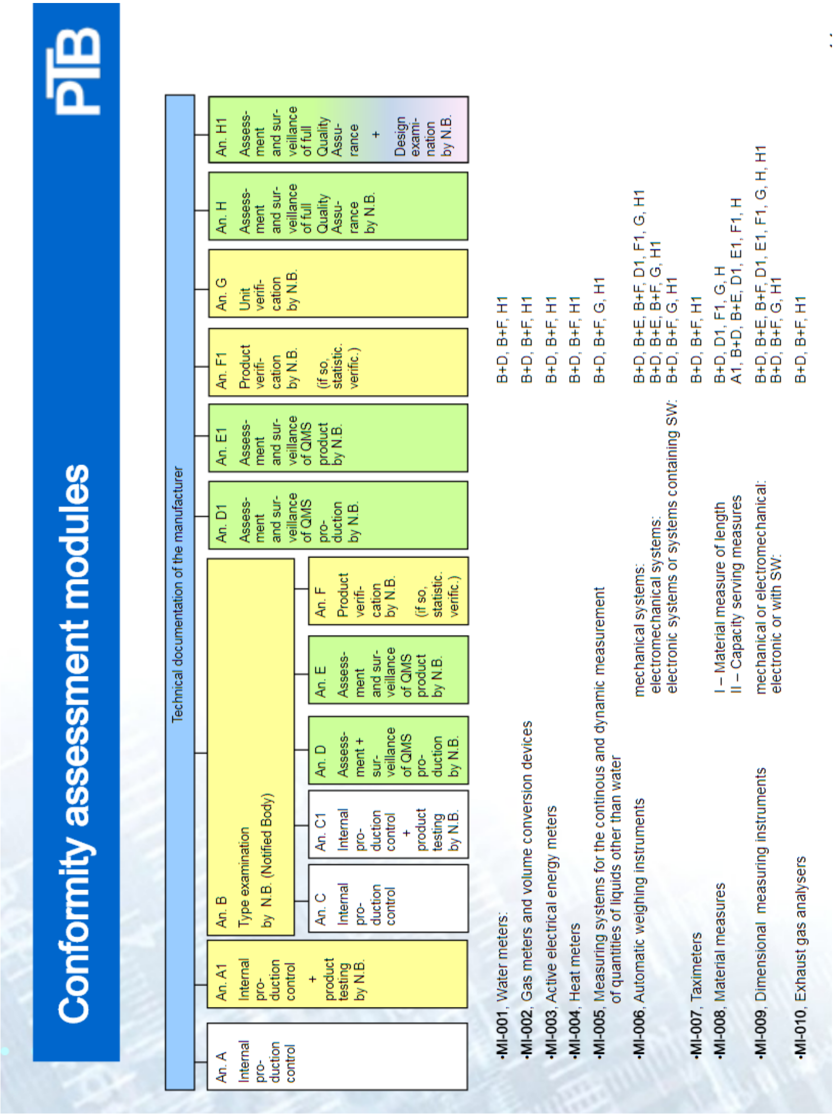


รูปที่ 3 แนวปฏิบัติการกำกับดูแลงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) วันข้างหน้า.....

แต่ดูเหมือนว่าจะมีหน่วยงานภาคเอกชนคนกลาง (Third Party) จะมีความสนใจในระบบ Conformity Assessment ในส่วน Module F เช่นกัน (ผลประโยชน์มันเยอะ....) ซึ่งผลตามมาทำให้เมื่อผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดต้องจัดทำระบบ Conformity Assessment แล้วจึงไม่ต้องมีการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก (Initial Verification) อีกต่อไปตามที่ตลาดการค้าเสรีทางยุโรปพบว่ากิจกรรมการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดมีราคาแพงและใช้เวลามากในการดำเนินการ (เพราะฉะนั้นพี่ไทยทั้งเข้าใจตรงกันน่ะครับมันช้า....ทั่วทั้งโลกแหละครับงานชั่งตวงวัดเนี้ย) แต่...ใช่ว่าเมื่อไม่มีการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกแล้วไม่ต้องทำอะไรเพราะในระบบใหม่ดังกล่าวยังคงมีการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นหลังอยู่ เพราะเครื่องชั่งตวงวัดถูกใช้งานไปมัน



รูปที่ 4 จาก Introduction of German, Legal Metrology Management System, Dr. Peter Ulbig, Head of Division Q, Scientific-technical cross-sectionals tasks



รูปที่ 5 ภาพรวม 14 Conformity Assessment Procedures

ต้องซ่อมแซม หรือปรับแต่ง หรือตรวจสอบความเที่ยงเครื่องชั่งตวงวัดเป็นระยะ เหมือนกับซื้อรถยนต์มาเมื่อใช้งานไปมันก็ต้องบำรุงรักษากันบ้างละน่ะ และยังคงมีเนื้องานที่เรียกว่า **"Market Surveillance"** ซึ่งเป็นงานตรวจสอบว่ามีการนำเครื่องชั่งตวงวัดรุ่น (Model) ใหม่ๆเข้าสู่ตลาดหรือไม่ และเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวเป็นไปตามกฎหมายหรือไม่ ลักษณะงานนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดโดยเฉพาะเพราะถือว่าท่านเป็นผู้นำเครื่องชั่งตวงวัดเข้าระบบเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคงของประเทศ ท่านต้องมีความรับผิดชอบผลการกระทำของท่านด้วยทั้งนี้เพราะท่านได้รับประโยชน์จากสังคม ซึ่งเราอย่าไปสับสนกับคำว่า **"Surveillance of Weighing and Measuring Instruments in Service (User)"** เพราะเป็นงานตรวจสอบมุ่งไปที่ผู้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดว่าดำเนินการติดตั้ง ซ่อมบำรุง ทำการชั่งตวงวัด นำค่าผลการชั่งตวงวัดไปใช้งาน ฯลฯ เป็นไปตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตหรือไม่อย่างไร หรือศัพท์ที่เราคุ้นเคยคืองานตรวจสอบชั่งตวงวัด (Inspection)

ระบบ Conformity Assessment จึงเป็นศัพท์ที่ต้องมาทำความเข้าใจเนื่องจากเราที่ทำงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายอาจไม่คุ้นกับคำนี้ เลยไปค้นหามาเอาแบบภาษาปะกิตก่อนตามนี้

"Conformity assessment", also known as "compliance assessment", is any activity to determine, directly or indirectly, that a process, product or service meets relevant technical standards and fulfills relevant requirements. **Conformity assessment activities** may include: **Testing, Surveillance, Inspection, Auditing, Certification and Accreditation**

ส่วนแบบภาษาไทยก็น่าจะเป็นไปตามนี้

ระบบการรับรอง (Conformity assessment) หมายถึง ระบบที่มีระเบียบปฏิบัติสำหรับกระบวนการและการจัดการสำหรับการดำเนินการตรวจประเมินทั้งทางตรงหรือทางอ้อม ว่ากระบวนการ, ผลิตภัณฑ์ หรืองานบริการนั้นๆ มีคุณสมบัติ

ครบและเป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิคที่วางไว้รวมทั้งมีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่กำหนด และนำไปสู่การพิจารณาตัดสินผลการตรวจประเมินเพื่อให้การรับรองที่เป็นลายลักษณ์อักษรและมีการดูแลรักษาระบบอย่างต่อเนื่องในภายหลัง การตรวจสอบรับรองซึ่งครอบคลุมกิจกรรม คือ การทดสอบ (Testing and inspection), การตรวจ (Verification and assurance of conformity), การรับรองระบบงาน (Accreditation), Surveillance หรือวิธีการอื่นๆ ที่ใช้โดยการปรับใช้มาตรฐานกฎระเบียบหรือการตรวจสอบรับรองที่เป็นมาตรฐานสากล

ดังนั้นเราต้องคิดใหม่เพราะ........มันไม่ใช่วันวาน....ที่หวานอยู่.......อีกต่อไป ลมตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งตวงวัด (Pattern Approval) มันพัดผ่านไปแล้ว.... เป็นวันวานไปแล้ว...... การคิดนวัตกรรมการบริหารงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ในวันข้างหน้าเพื่อตอบสนองต่อตลาดเสรีนิยมที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมทางการค้ามันรุนแรง บอกได้อย่างเดียว ต้องรื้อหลักคิดพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 กันอย่างหน้ามือเป็นหลังมือล่างกันเลย.....ละเจ้านาย (นักร้อง....ลูกชายของเจ เจตติน) ผู้บริหารงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายต้องไม่ใช่มือสมัครเล่นการวางตำแหน่งงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายให้อยู่ภายใต้หน่วยงานที่ทำหน้าที่หลักด้าน Marketing ของประเทศสงสัยเป็นตลกร้ายเสียทีเดียว เพราะงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) เป็นงานโครงสร้างพื้นฐานของประเทศที่สร้างและรักษากฎกติการของตลาดการค้าเสรีเป็นคนดูแลเวทีการค้าให้ดำเนินไปอย่างเป็นธรรม ส่วนเรื่องการค้าเสรีนั้นก็ให้ตลาดเสรีเซ็นเตอร์เป็นผู้ดูแลก็แล้วกันครับ...... ด้วยเหตุนี้ ใครไม่เก่งจริง ก็แย่งกินตำแหน่งรั้งท้ายของกลุ่มประเทศอาเซียนไปแล้วกัน มั่วแต่ OUTSOURCE..... มั่วแต่ Zero Corruption ถามจริงเถอะ Corruption มันคืออะไร ??? สร้างภาพลวงตาที่ไม่มีอยู่จริงในระบบราชการไทย...

ท่านสามารถไปอ่านเพิ่มเติมใน “Modernization of legal metrology in Germany”, Wilfried Schulz, PTB, OIML Bulletin Volume XLVI, November 4-October 2005”

เล่าสู่กันฟัง 3

พบว่ามีเรื่องสิ่งเล็กสิ่งน้อย ไม่สามารถยกมาเขียนให้เป็นบทๆ จบลงเป็นตอนๆ ก็ถือโอสารวบรวมเรื่องราวที่เราอาจได้พบได้เห็นมารวมไว้ในบทนี้ก็แล้วกัน

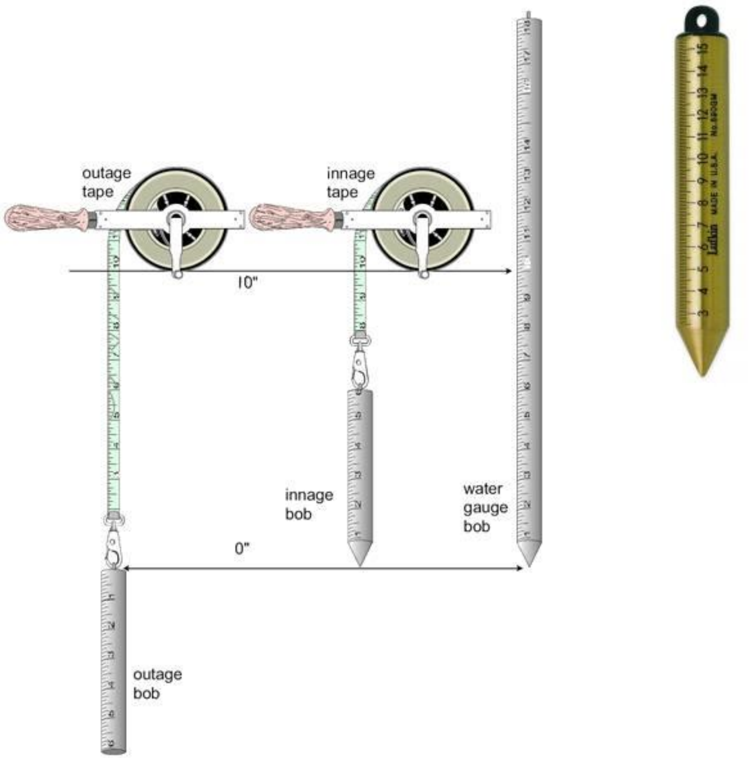
สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งแบบไหนใช้ในงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย

การใช้สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง หรือที่มีชื่อเล่นว่า น้อง “Sounding Tape” ก็คงมาจากสาเหตุเมื่อใช้สายแถบโลหะดังกล่าวหย่อนลงในถังสำรองน้ำมันเพื่อวัดระดับน้ำมันภายในถังสำรอง แล้วจะรู้ได้อย่างไรว่าจุดเริ่มต้นอ้างอิงที่ต้องมีและถูกใช้เป็นระดับอ้างอิงจริงๆ ทุกครั้งของการวัดระดับน้ำมันภายในถังสำรองน้ำมันนั้นอยู่ตรงไหน ในขณะที่เราไม่สามารถมองทะลุชั้นน้ำมันดิบหรือน้ำมันสำเร็จรูปเพื่อสังเกตมองหาตำแหน่งระดับอ้าอิงดังกล่าวภายในถังสำรองได้ เจ้าระดับอ้างอิงภายในถังนี้เค้าก็มีชื่อเล่นว่า “Dip Plate” หรือ “Datum Plate” วิธีการที่เค้าทำกันก็คือเมื่อหย่อยลูกดิ่งที่ทำด้วยทองเหลืองหรือมีชื่อเล่นว่า “Bob” (ลูกดิ่ง) ไปกระแทกกับ Dip plate จนได้ยินเสียงกระทบกระทั่งกันระหว่างลูกดิ่งกับ Dip Plate ประจำถังสำรองน้ำมัน แหละนี่คือสาเหตุที่เรียกว่า Sounding Tape เมื่อลูกดิ่งไปนั่งอยู่บนตำแหน่งอ้างอิงแล้วแต่ต้องแน่ใจว่าลูกดิ่งไม่ใช่นอนบน Dip Plate น่ะครับเพราะเราสามารถตรวจสอบระดับความสูงอ้างอิงจากตำแหน่งอ้างอิง เช่นอยู่บนหน้าแปลนของท่อซึ่งอยู่บนตำแหน่งหลังคาถังสำรอง เป็นต้น (ดูรูปที่ 3) ดังนั้นหากลูกดิ่งนั่งบ้าง นอนบ้างบน Dip plate ผลการวัดจะไม่ได้ค่าผลการวัดซ้ำได้ (Repeatability) ที่ดี การนั่งลงของน้อง Bob บนน้อง Dip Plate ก็อาจมีการกระทบกระทั่งบ้างจนบางครั้งน้อง Bob ก็ด้วนลงในขณะที่น้อง Dip Plate ก็สึกหรอทะลุเป็นรูเลยก็มีเมื่อผ่านการใช้งานเป็นแรมๆๆ ปี (อย่าคิดไปไกลน่ะครับ) แต่นั้นคงต้องใช้เวลาหลาย 10 ปีหรือน้อยกว่านั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของผู้ใช้ Sounding Tape ว่าจะปล่อยลงมาอย่าดุเดือดรุนแรงแค่ไหน

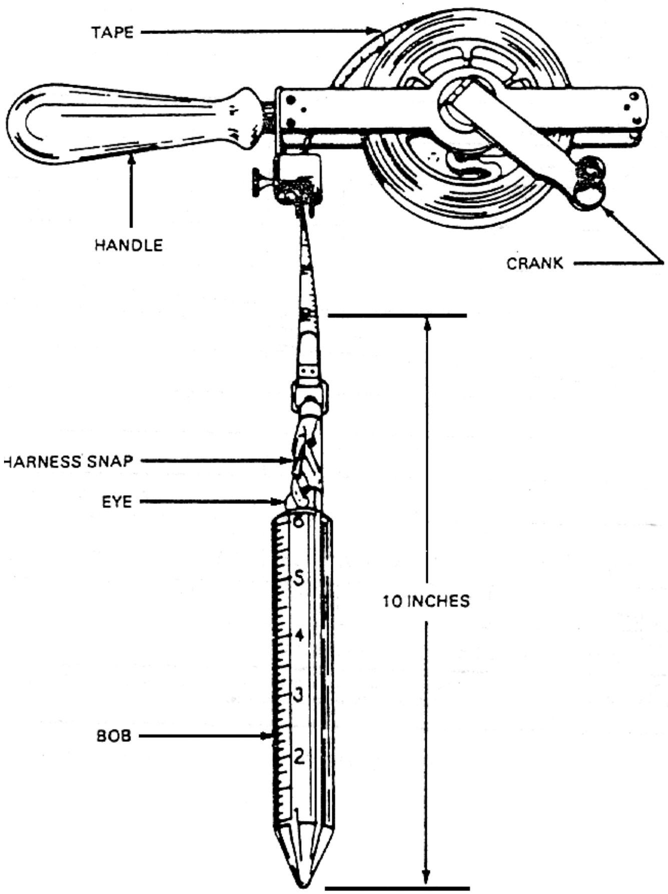
มาพูดถึงน้อง Bob หรือลูกดิ่ง จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. **แบบ Outage Bob** ซึ่งจะมีตำแหน่งที่แสดงค่า “ศูนย์” อยู่ตำแหน่งข้อต่อหรือห่วงข้อต่อระหว่างสายแถบโลหะกับลูกดิ่ง (ดูรูปที่ 1) จากนั้นจะนับจากตำแหน่งศูนย์ลงมาเป็นขีด 1, 2, 3....จนถึงตำแหน่งปลายสุดของ bob หรือลูกดิ่งมีค่าเสมือนค่าติดลบ ทั้งนี้ตำแหน่งปลายสุดจะไม่ใช่ตำแหน่งศูนย์ของสายแถบโลหะ

2. **แบบ Innage Bob** ตำแหน่งที่แสดงค่า “ศูนย์” อยู่บนปลายสุดของลูกดิ่ง ซึ่งลูกดิ่งชนิดเป็นชนิดที่ขอแนะนำให้ใช้สำหรับงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) (ดูรูปที่ 1)



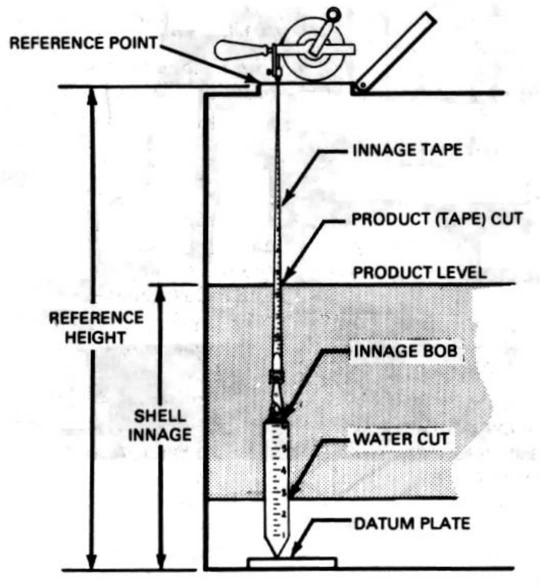
รูปที่ 1 Bob หรือลูกดิ่ง แบบ Outage Bob และแบบ Innage Bob



รูปที่ 2 ชื่อของชิ้นส่วนประจำสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่ง

แต่ในชีวิตความเป็นจริงเราพบว่า ของเหลวภายในถังสำรองน้ำมันไม่ใช่มีแต่น้ำมันเพียงอย่างเดียวหากมีน้ำและขี้โคลน และ ฯลฯ โดยเฉพาะถังสำรองน้ำมันดิบผสมเข้ามาด้วยจากหลายสาเหตุและหลายขั้นตอนในการขนส่ง เช่น ขั้นตอนการ Unload น้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมันซึ่งวิ่งมาจากทะเลเหนือซึ่งอาจดูดน้ำที่อยู่ใน Compartments ของเรือขึ้นมาด้วยโดยน้ำดังกล่าวเดิมอาจถูกสูบเข้ามาใน

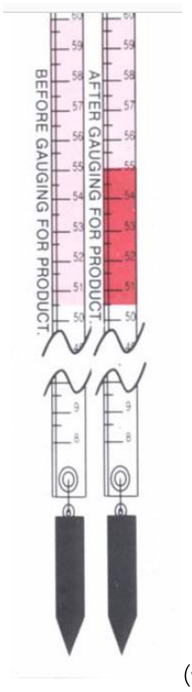
Compartments ของเรือเพื่อบริหารการเอียงหรือถ่วงดุลเรือสำหรับการเดินทางซึ่งเป็น Compartments เดียวกับที่ใช้จัดเก็บน้ำมันเพื่อการขนส่ง หรือในระหว่างการ Load/Unload น้ำมันลงเรือหรือขึ้นจากเรือในระหว่างทางก็อาจเป็นได้ ส่งผลให้ในการหาระดับน้ำมันในถังสำรองเราต้องใจเย็นๆ ต้องรอให้น้ำกับน้ำมันเค้าแยกชั้นกันก่อน น้ำซึ่งมีค่าความหนาแน่นกว่าน้ำมันเค้าก็จะแยกชั้นแบบสำนึกตัวลงไปอยู่ชั้นล่างสุด ส่วนน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงทำตัวลอยอยู่เหนือปัญหาทุกอย่าง ออ! อยู่เหนือน้ำนะ จากนั้นเราก็ทำการวัดระดับน้ำมันบริเวณผิวหน้าบนสุดภายในถังน้ำมันสำรองจากนั้นแปลงเป็นค่าปริมาตร (โดยใช้ Tank Table) ลบด้วยระยะความสูงของน้ำที่อยู่ก้นถังสำรองซึ่งถูกแปลงเป็นปริมาตร (โดยใช้ Tank Table) เช่นกัน เราก็จะได้ปริมาตรน้ำมันภายในถังสำรอง



รูปที่ 3 วิธีการวัดระดับด้วย sounding tape

แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรหรือมีสิ่งบ่งบอกใดว่าเป็นระดับรอยต่อระหว่างน้ำกับน้ำมันเป็นระดับที่ถูกต้องละครับ ฝรั่งเค้าก็แก้ปัญหาโดยผลิตสารเคมี 2 แบบเท่าที่ทราบนั้นคือ สารเคมีจะทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสกับน้ำ (น้ำทะเล น้ำฝน น้ำบาดาล ฯลฯ) และสารเคมีจะทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสกับน้ำมัน ดังนั้นก่อนทำการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองก็จะนำสารเคมีแต่ละชนิดตามที่ต้องการไปทาบนตัวสายแถบโลหะหรือลูกดิ่งแล้วแต่กรณีเพื่อหารอยตัดกันระหว่างน้ำกับน้ำมันเมื่อวัดระดับบริเวณก้นถังสำรอง ดังรูปที่ 4 (ก) และรอยตัดกันระหว่างน้ำมันกับอากาศเมื่อวัดตำแหน่งผิวระดับน้ำมันด้านบนสุดภายในถังสำรองน้ำมัน ดังรูปที่ 4 (ข)

(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ใช้น้ำยาเพื่อแยกแยะ (ก) ระดับน้ำกับน้ำมัน และ (ข) ระดับน้ำมันกับอากาศ

สายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งที่ส่งมาสอบเทียบที่ชั่งตวงวัดส่วนใหญ่จะมีปัญหาในช่วงความยาว 5 เมตรแรก เนื่องจากการใช้งาน และ/หรือใช้งานไม่ทะนุถนอม เช่น สายแถบโลหะจนเกิดการพับหักงอ, ปลายลูกดิ่งสึกหรอ, สายแถบโลหะยืดไม่คืนตัว เป็นต้น

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสายแถบโลหะประกอบลูกดิ่งภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 นั้นจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง Class 2, OIML R 35-1, Edition 2007(E) ถือเป็นความเที่ยงของเครื่องวัดที่ใช้ในทางการค้า การคิดค่าตอบแทน ค่าธรรมเนียม ภาษี อากร เป็นต้น

อะไรคือมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา หรือ Master Flow Meter

อะไรคือมาตรวัดแบบมาตรา หรือ Master Flow Meter เป็นคำถามที่เกิดขึ้นมาทุกครั้งที่มีปัญหา เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำมาตรวัดปริมาตรของเหลวมาใช้ในการควบคุมการทำงานในกระบวนการผลิต ขนส่ง หรือใช้เพื่อการซื้อขายผลิตภัณฑ์ของเหลว ความต้องการหรือบีบบังคับกลายๆผ่านระบบมาตราสากลหรือระหว่างประเทศ เช่น ISO ของคู่ค้า หรือแม้แต่จากข้อปฏิบัติตามกฎหมายของภาครัฐ การมุ่งหาแบบมาตราเพื่อตอบสนองความต้องการและแก้ไขปัญหาชีวิตของผู้ครอบครองมาตรวัดปริมาตรของเหลวจึงเกิดอาชีพที่เค้าเรียกว่า Third Party หรือคนกลาง หรือผู้ให้บริการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งดูเหมือนอยู่ในสภาพการณ์แข่งขันที่รุนแรงดังกับ RED OCEAN มีแต่ปลาฉลามในท้องทะเลเดือด ดังนั้นการลดต้นทุนการทำงาน ความต้องการทำงานที่รวดเร็วได้ปริมาณงานมาก (แต่คุณภาพอาจต้องว่ากล่าวกันต่อไป) จึงพยายามมุ่งหาแบบมาตราที่เรียกว่า Master Flow Meter มาใช้งานไม่ว่าจะจัดหามาใช้เอง เช่าหรือยืมจากบริษัทฯ ที่ให้เช่าหรือยืมก็ว่ากันไป ปัญหาของผู้รับบริการที่ขาดบุคคลากรที่จะกำกับดูแลหรือเท่าทัน Third Party หรือคนกลางหรือผู้ให้บริการสอบเทียบฯ ก็ยังอยู่ในสภาพที่ต้องมีคำถาม ซึ่งนั้นแหละไม่ต้องหันมาถามภาครัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแลเลยเพราะดูจะเหมือนอาการทรุดหนักน่าเป็นห่วงเสียยิ่งกว่า เพราะขาดผู้บริหารที่เข้าใจงาน Legal Metrology ที่สามารถมองงานได้ทะลุ

ปรุโปร่ง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังนับว่าโชคดีที่งานด้านนี้ยังเกี่ยวข้องกับกลุ่มสังคมคนที่มีความรู้พอที่จะเรียนรู้และมีขีดความสามารถป้องกันและรักษาผลประโยชน์ของตนเองได้อย่างดีกว่าเมื่อเทียบกับสังคมอื่นๆที่ใช้เครื่องชั่งตวงวัดและสินค้าหีบห่อ ซึ่งน่าเป็นห่วงและมีอาการร่อแรดังเช่น ชาวไร่ ชาวนา ชาวสวน

เรามาพิจารณามาตรวัดแบบมาตรา หรือ Master Flow Meter ในที่นี้เราตีกรอบให้แคบๆเพื่อป้องกันความสับสน เอาเป็นว่าเราจะพูดยกตัวอย่างเฉพาะ PD Master Flow Meter ดีมั๊ยเมื่อเข้าใจแล้วค่อยนำไปปรับใช้กับมาตรวัดฯ ชนิดTurbine หรือ Coriolis Mass Flow Meter กันต่อไป เอาละเรามาพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลักๆ คือ กรณีแรกมีมาตรวัดแบบมาตราที่ประจำอยู่ในระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่ติดตรึงอยู่กับที่ 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

มาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องมีอุปกรณ์ควบและอุปกรณ์เสริมที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

(1) เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศผ่านเข้าไปในมาตรวัดขณะทำการวัด

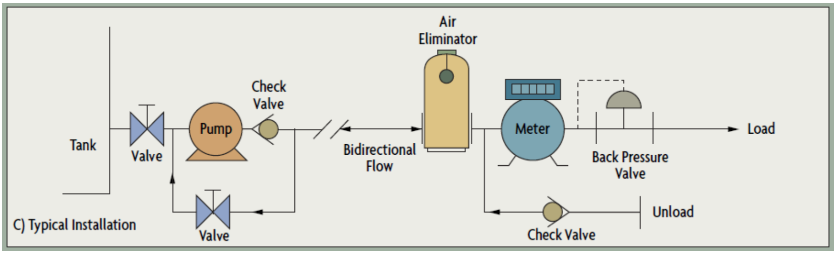
(2) วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับหรือวิธีการป้องกันการไหลย้อนกลับใดๆ ไม่ให้ของเหลวไหลย้อนกลับสู่มาตรวัดอีก

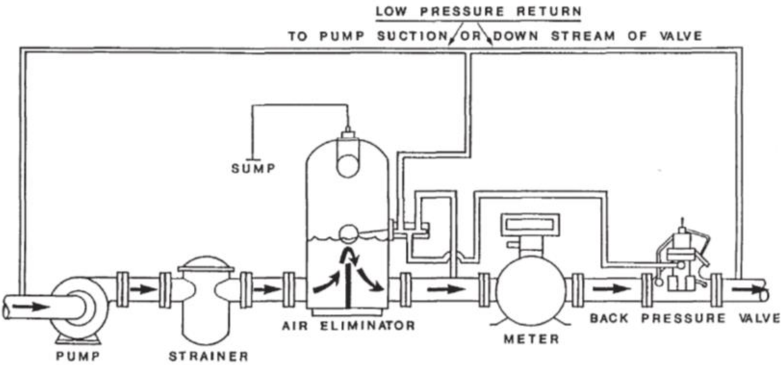
(3) สำหรับมาตรวัดปริมาตรน้ำมันหล่อลื่น เมื่อระดับของแหล่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่นลดระดับต่ำลงจนมีผลต่อความแม่นยำของการวัด มาตรวัดต้องมีอุปกรณ์ที่หยุดทำงานได้โดยอัตโนมัติ หรือมีสัญญาณเตือนที่เห็นได้ชัดเจน

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

ดูๆไปก็คือมาตรวัดปริมาตรของเหลวชนิด Positive Displacement Flow Meter; PD Meter ต้องมีองค์ประกอบดังรูปที่ 5 ข้างล่างนี้แหละ (ให้ดู 2 แบบเพื่อความมันครับ) อย่าลืมนะครับเราใช้คำว่า “ต้องมี” หรือภาษาประกิตเค้าใช้คำว่า “shall” คือบังคับให้มี

พิจารณากรณีที่หนึ่ง มาตรวัดปริมาตรของเหลวที่เป็นมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราประเภทที่ติดตรึงอยู่กับที่จึงต้องมีองค์ประกอบตามรูปที่ 5 เมื่อนำมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราส่งไปสอบเทียบ (Calibration) โดยปกติจะถอดไปเฉพาะตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรตัวเดียวโดดๆไป แล้วไปติดตั้งวางบนส่วนที่เค้าเรียกว่า Test Bench เมื่อทดสอบแล้วผลการทดสอบจึงต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอย่างน้อยสุดต้องเป็น 1/3 ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวทั่วไปที่ต้องการทดสอบต่อไป





รูปที่ 5 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบการวัดปริมาตรของเหลว

รูปที่ 6 มาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราชนิด Turbine Flow Meter ติดตรึงอยู่กับที่โดยต่ออนุกรมกับมาตรวัดฯที่ต้องการทดสอบ (NMI Netherlands)

ยกตัวอย่างเช่น มาตรวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ใช้ในการซื้อขายสินค้าและบริการทั่วไปจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 สามารถอธิบายได้ใน 2 บริบท คือ หากพิจารณาเฉพาะตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวตัวโดดๆ (Stand Alone) จะยอมให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกิน 0.3% ของปริมาตรทดสอบ แต่ถ้าหากนำมาตรวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจัดซึ่งอยู่ในชั้นความเที่ยง 0.5 ชนิดไปติดตั้งในระบบการวัดปริมาตรติดตรึงอยู่กับที่ (System) แล้วจะยอมให้มาตรวัดฯดังกล่าวมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดได้ไม่เกิน 0.5% ของปริมาตรทดสอบ นั้นหมายถึงเรายอมให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่เพิ่มขึ้นมา 0.2% ของปริมาตรทดสอบ เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบขององค์ประกอบของระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่มาตรวัดปริมาตรของถูกไปติดตั้งอยู่ คิดตามผมมาเรื่อยๆน่ะครับ ดังนั้นมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราหรือ Master Meter จึงต้องอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเพื่อเตรียมพร้อมในทุกกรณีทั้งในกรณีแบบตัวเดียวโดดๆ (Stand Alone) คือ 0.1% ของปริมาตรทดสอบ (0.3/3 = 0.1% ของปริมาตรทดสอบ) บวกกับเงื่อนไขอื่นๆ ที่ละไว้ก่อน จากนั้นเมื่อมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราผ่านการสอบเทียบเราก็จะยกกลับมาติดตั้งในระบบการวัดปริมาตรของเหลวซึ่งไม่ว่าจะเป็นระบบติดตึงกับที่หรือแบบเคลื่อนที่ได้ผลที่ตามมาในชีวิตความเป็นจริงพบว่าการวัดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวในระบบการวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราดังกล่าวจะมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 0.1% ของปริมาตรทดสอบเนื่องจากผลกระทบจากปัจจัยหรือสภาวะแวดล้อมเงื่อนไขที่ต่างจากสภาวะขณะทำการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราแต่ MPE ไม่น่าจะถึง 0.167% ของปริมาตรทดสอบ (0.5/3 = 0.166% ของปริมาตรทดสอบ) จึงสามารถรองรับเพื่อใช้เป็นแบบมาตราในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ติดตั้งในระบบ เช่น ระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งติดตั้งบนรถยนต์จ่ายน้ำมันทางเครื่องบิน (ชั้นความเที่ยง 0.5) เป็นต้น หากต้องการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถยนต์จ่ายน้ำมันเครื่องบินก็เพียงขับรถยนต์มาเทียบท่าระบบการวัดปริมาตรของมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรามาต่ออนุกรมกันก็สามารถตรวจสอบความเที่ยงของมาตรวัดปริมาตรของเหลวประจำรถยนต์จ่ายน้ำมันเครื่องบิน

เทียบกับมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา เป็นอันว่าจบพิธีกรรรมไปหนึ่งกรณี

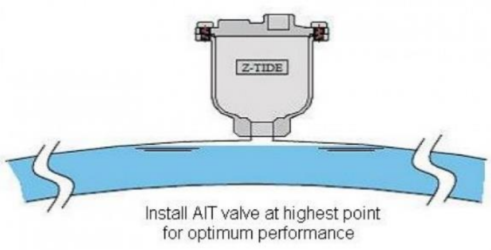
พิจารณากรณีที่สอง เป็นมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unite) เรามาตั้งคำถามว่ามันต้องมีองค์ประกอบทุกสิ่งอันตามในรูปที่ 5 ด้วยหรือไม่ เช่นควรมีปั๊มหรือไม่ ตอบว่าไม่จำเป็นเพราะในหลักการสอบเทียบ (Calibration) หรือตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) เราจะเอาแบบมาตราต่อหลังจากมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง แต่เราต้องมีวาล์วเพื่อตัดระบบการวัดปริมาตรของเหลวของมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราก่อนและหลังมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา ประเด็นต่อมาเรามาพิจารณาว่าควรมีวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวที่ผ่านการวัดปริมาตรไปแล้วไหลย้อนกลับเข้ามาตรวัดอีก ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เช่น หากระบบปลายทางของชุดมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรามี Check Valve อยู่แล้วหรือไม่ อีกทั้งต้องไม่ลืมประเด็นเรื่อง Water Hammer ในระบบท่อนะครับ ถ้าเกิด Water Hammer ในระหว่างการใช้งานมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราหากเรามี Check Valve เรื่องใหญ่จะกลายเป็นเรื่องเล็ก เรื่องเล็กจะกลายเป็นไม่มีเรื่องน่ะครับ

แล้ว Strainer ละ ถ้าหากผู้ครอบครองมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราต้องการรักษาหรือป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา มันก็ควรมี Strainer ก่อนทางเข้ามาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราใช่หรือเปล่า เช่นเดียวกับขี่มอเตอร์ไซด์แล้วสวมหมวกกันน๊อค มันดีกว่ามั๊ยละ เพราะจะมากจะน้อยยังช่วยกรองขี้ลวดเชื่อมหรือเม็ดกรวดทรายหรือเศษชิ้นโลหะในระบบท่อไม่ให้ไหลมากระแทกหรือเข้าไปค้างในระบบซีลหรือชิ้นส่วนเคลื่อนไหวต่างๆภายในตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา แต่ถ้ามั่นใจว่ามี Strainer ด้านต้นน้ำก่อนทางเข้ามาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการตรวจสอบให้คำรับรองหรือสอบเทียบทำงานได้ดีเพียงพอแล้ว เราอาจละ Strainer ไว้ได้ในกรณีที่มั่นใจและเห็นชอบกันทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง (ดูรูปที่ 7 และรูปที่ 8)

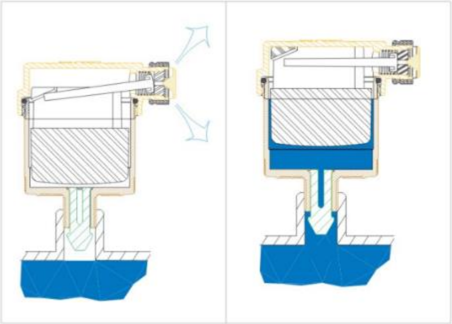
รูปที่ 7 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบการวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile

รูปที่ 8 มาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile ที่ตัด Strainer ออกและไม่มี Air/Gas Eliminator

สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator) ก่อนทางเข้ามาตรวัดฯ ซึ่งทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศที่ปนเข้ามาในระบบ เช่น เกิดการรั่วของอุปกรณ์จนการไหลของเหลวในระบบท่อไปดูดอากาศเข้ามาในระบบผ่านรอยรั่วดังกล่าว หรืออาจเกิดจากการปิดเปิดวาล์วแล้วความดันหลังวาล์วมีค่าต่ำกว่าความดันไอของของเหลวนั้นๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอลอยปนไปของเหลว เป็นต้น ทั้งนี้อย่าสับสนระหว่าง Air/Gas Eliminator กับ Automatic Air Vent Valve เพราะ Automatic Air Vent Valve มีวัตถุประสงค์เพื่อไล่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อซึ่งโดยปกติจะติดตั้งในตำแหน่งสูงสุดของช่วงแนวท่อที่ต้องการดังในรูปที่ 9 แต่โดยทั่วไปแล้ว Automatic Air Vent Valve จะมีหลักการทำงานคล้ายกับ Air/Gas Eliminator เสียเป็นส่วนใหญ่ดังในรูปที่ 10



รูปที่ 9 ตำแหน่งติดตั้ง Automatic Air Vent Valve ในระบบท่อบริเวณตำแหน่งสูงสุดในแต่ละช่วงของระบบท่อ



รูปที่ 10 หลักการทำงานและลักษณะ Automatic Air Vent Valve

รูปที่ 11 Basket Strainer พร้อมติดตั้ง Automatic Air Vent Valve

ในรูปที่ 11 เป็นการประยุกต์ใช้งานร่วมกันระหว่าง Strainer กับ Automatic Air Vent Valve เพื่อทดแทน Air/Gas Eliminator ซึ่งก็พอรับได้ครับ (ชั่วคราวน่ะ แล้วกลับไปปรับปรุงให้เป็นมืออาชีพ) แต่ในขณะปฏิบัติงานหากมีเสียงลมออกมากหรืออาจมีของเหลวออกมาหรือไม่เคยได้ยินเสียงลมออกมาเลยเพราะอัตราการไหลสูงมากจนของเหลวและไอไม่มีเวลาแยกตัวออกจากกัน ให้ยกเลิกรอบการสอบเทียบหรือรอบการตรวจสอบให้คำรับรองรอบนั้นไปเพราะโดยปกติเราต้องติดตั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราด้าน Downstream ของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่เราต้องการทดสอบหรือตรวจสอบทุกครั้ง ด้วยเหตุผลที่ว่าปริมาตรของเหลวที่ผ่านการวัดด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวแล้วต้องไหลผ่านมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา 100% เต็ม ต้องไม่ถูกเบี่ยงเบนทิศทางการไหลแยกออกไปอย่างเด็ดขาด หรือพูดให้ง่ายๆ คือของเหลวที่ผ่านการวัดจากมาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องส่งออกไปยังผู้ซื้อหรือผู้ขายในทิศทางเดียวเท่านั้นต้องไม่มีท่อ bypass นี้นูนนั้นให้วุ่นวายใจ เรื่องนี้จึงต้องระมัดระวังขณะใช้งานด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากมั่นใจว่าของเหลวไหลผ่านทั้งมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรากับมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ต้องการรับการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเป็นของเหลวสถานะเดียวล้วน เราก็อาจละ Air/Gas Eliminator ได้ครับ

ในส่วนของวาล์วควบคุมการไหล (Flow Control Valve) หรือ Back Pressure Control Valve ด้านทางออกมาตรวัดก็ทำหน้าที่รักษาความดันด้านทางออกจากมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา (Back Pressure) ไม่ให้มีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยภาพรวมอุปกรณ์ทั้ง 2 มีบทบาทที่เหมือนกันคือสร้างความมั่นใจว่าระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำงานอยู่นั้นทำหน้าที่วัดของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phase flow) ตามหน้าที่ที่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำงาน ไม่ใช่เป็นการวัดที่มี 2 สถานะ (2-Phase flow) คือของเหลวกับอากาศหรือไอของของเหลวที่ทำการวัด เมื่อรู้อย่างนี้แล้วเราควรมีอุปกรณ์ที่กล่าวมาประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unite) ต่อไปอีกหรือเปล่า ? สิ่งดีๆ ก็ทำไปเถอะครับ แต่ถ้าหาก

มั่นใจว่าความดันของเหลวด้านทางเข้ามาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราสูงเพียงพอรวมทั้งความดันตกคร่อมของระบบการวัดปริมาตรของเหลวมีค่าน้อยจนมั่นใจว่าค่าความดันด้านทางออก (Back Pressure) หลังมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราสูงกว่าความดันไอของของเหลวนั้นก็อาจยอมรับได้ แต่อย่างไรหากมีเหตุผลความจำเป็นเป็นพิเศษในการใช้งานค่อยพิจารณาหรือแยกแยะเหตุแยกแยะผลเป็นรายกรณีไปเพื่อความเหมาะสมและเป็นประโยชน์สุดหรือได้ผลรับที่เหมาะสมกับทุกฝ่าย ส่วนปัญหาว่าชุดเคลื่อนที่จะมีน้ำหนักมากขึ้นคนยกขึ้นลงไม่ไหว เราก็ทำเป็นรถพ่วงมีขาหยั่งปรับระดับได้ครับ หรือ ราคามันแพงเกินไปกว่าจะถึงจุดคุ้มทุนคงอีกนาน เราก็หันมาทำงานที่มีคุณภาพอย่าไปแข่งขันราคาตัดหน้ากันให้มันดุเดือดซิครับ และ ฯลฯ นานาจิตตัง จริงๆเพราะแต่ละคนยืนอยู่ในมุมของตัวเองแต่อย่าลืมครับทุกคนมีหน้าที่ที่ต้องปฏิบัติเพื่อไม่ให้สังคมและประเทศวุ่นวาย ข้าราชการข้าของแผ่นดินก็มีหน้าที่ต้องปฏิบัติเช่นกัน หากไม่ยอมก็โกรธกันไม่ได้นะครับท่าน

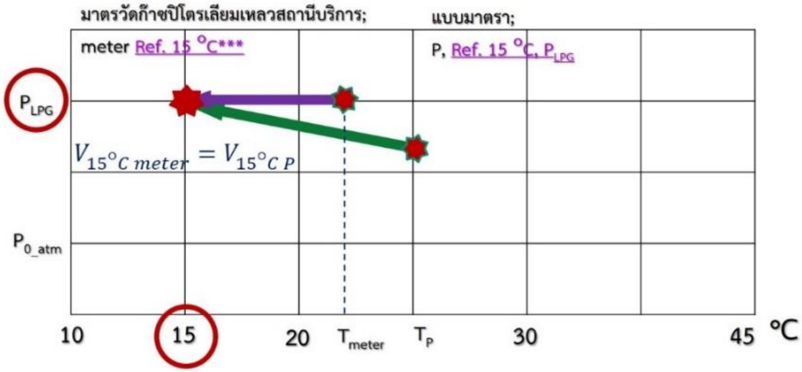
มาถึงจุดสำคัญ นั้นคือไม่ว่ากรณีมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราที่ประจำอยู่ในระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่ติดตรึงอยู่กับที่หรือเป็นมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราที่ใช้เคลื่อนที่ไปให้บริการหรือใช้ในการสอบเทียบ (Mobile Unite) ทุกกรณีต้องติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา เนื่องจากในการคำนวณผลการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเมื่อทำการวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเราต้องปรับค่าปริมาตรของเหลวที่สภาวะวัดได้ด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราและค่าปริมาตรของเหลวที่สภาวะวัดได้ด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ได้รับการทดสอบเพื่อปรับปริมาตรวัดได้ทั้ง 2 ค่าดังกล่าวไปยังปริมาตรของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C ความดันบรรยากาศจึงสามารถเปรียบเทียบหาผลผิดได้เพราะเป็นปริมาตรของเหลวที่สภาวะเงื่อนไขเดียวกันซึ่งเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นโดยเฉพาะของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไม่ใช่เมื่อไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตรา และ/หรือ มาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ได้รับการทดสอบแล้วไปใช้ค่าอุณหภูมิและความดันในตำแหน่งอื่นมาใช้ในการคำนวณเพื่อปรับปริมาตรที่วัดได้ที่สภาวะใด

สภาวะหนึ่งโดยมาตรวัดฯ ไปยังปริมาตรของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C ความดันบรรยากาศ ไอ้อย่างนี้มันมึนครับ มึนจริงๆครับกับสังคมผู้มีความรู้สูงๆๆๆ และในธุรกิจที่ขายของสินค้าที่มีราคาแพง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ....ครับ

ในการสอบเทียบ/ตรวจสอบให้คำรับรองมารตวัดปริมาตรของเหลว ต้องใช้ตัวแปรแก้ไขค่า C_{pl} อีกหรือเปล่า

สิ่งที่เข้ามาใหม่และสร้างความสับสนงุนงง.....แต่ไม่ถึงกับงุ่นง่าน..... เรายังพบว่าในการตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวเทียบกับถังตวงแบบมาตรามีผู้รู้บางท่านได้รับการฝึกอบรมมาว่าในการหาผลผิดมาตรวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าวให้ใช้ค่า C_{pl} = 1.0000 มันส์ละทีนี้เพราะบอกว่าจากการฝึกอบรม APLMF เอกสารเค้าไม่คิดตัวแปรแก้ไขค่า C_{pl} กัน แต่อย่าลืมว่าให้ไปตรวจสอบเอกสาร API ดูเค้าคิดตัวแปรแก้ไขค่า C_{pl} หากของเหลวเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวปิโตรเลียม แล้วถามต่อไปว่าสังคมโลกเค้ายอมรับ APLMF มากกว่า API หรือไม่ สถาบันใดมีผลงานและองค์ความรู้เป็นของตนเองอย่างยาวนาน มีตึกรามบ้านช่องเป็นที่เป็นทางหรือเปล่า? หรือร่อนเร่พเนจร (อ้าวไปกันใหญ่.....ถอยกลับมา) เรื่องนี้จึงสอนให้รู้ว่า ต้องเรียนรู้ให้รอบด้านเข้าใจสังคมโลกและเข้าใจที่ไปที่มา ต้องเข้าใจการทำธุรกิจนั้นๆ ในการทำงานทางด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายนั้นถึงแม้จะยอมให้เครื่องชั่งตวงวัดมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเยอะมากเมื่อเทียบกับงานด้านทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ แต่ในทางอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเขามีมาตรฐานการทำธุรกิจสูงกว่ากันเยอะมาก เวลาคิดตัวแปรแก้ไขค่าปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิและความดัน (C_{tl} , C_{pl}) เค้าใช้ค่าละเอียดกันถึง 20 ทศนิยม เขาต้องการค่า Meter Factor มีค่าละเอียดกันในระดับ 100 จุดทศนิยม (ประชด น่ะ ....) แต่เราชั่งตวงวัดเข้ามาในชีวิตธุรกิจเค้า เราบอกเค้าว่าชีวิตเราต้องการทศนิยมเพียง 2 ตำแหน่ง และใช้ค่า C_{pl} = 1.0000 ไม่ดูประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม มาตรฐานการประกอบธุรกิจของเค้าเลยพับผ้า !! หลักคิดง่ายที่ยังคงต้องมีตัวแปรแก้ไขค่า C_{pl} ก็เพราะในการหาผลผิดระหว่างมาตรวัดปริมาตรของเหลวเทียบกับถังตวงวแบบมาตรานั้นเป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ค่าอุณหภูมิและค่า

ความดันต่างกันจากนั้นทำการปรับปริมาตรดังกล่าวไปยังสภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานอ้างอิงเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลต่างของการวัดปริมาตรดังกล่าว เนื่องจากปริมาตรของเหลวปิโตรเลียมจะวุบวาบและเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันอย่างมีนัยสำคัญ กลับมาใช้ตัวแปรแก้ไขค่า C_{pl} เถอะครับ บทเรียนนี้เค้าเรียกว่า **“รู้จักแต่ Adopted ไม่รู้จัก Adapted”** จบข่าวสั้น อย่าโกรธกันน๊า.......



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาตรของเหลวปิโตรเลียมที่ค่าอุณหภูมิและค่าความดันต่างกันจากนั้นทำการปรับปริมาตรดังกล่าวไปยังสภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานอ้างอิงเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลต่างของการวัดปริมาตร

พิกัดกำลังเครื่องชั่งตวงวัด และมโนสาเร่

“พิกัดกำลัง” หรือ “Capacity” เป็นคำที่คุ้นเคยมากจน เมื่อวันหนึ่งมันเปลี่ยนแปลงไปในนัยที่ต้องปรับเปลี่ยนตามสมัย ในการบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 หากพูดถึงเครื่องชั่ง พิกัดกำลังเครื่องชั่งคือความสามารถของเครื่องชั่งที่ชั่งได้สูงสุด ตัวอย่างเช่นเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกพิกัดกำลัง 50,000 กิโลกรัม คือชั่งได้สูงสุด 50,000 กิโลกรัม หากพูดถึงตู้จ่ายน้ำมันตามสถานีบริการก็จะบอกพิกัด

กำลังเป็น 999 ลิตร พอมาถึงการเปลี่ยนแปลงจาก พระราชบัญญัติตอมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 เป็น พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 การร่างกฎกระทรวงฯ อยู่บนพื้นฐาน 2 หลักการคือ Global และ Local อะไรคือ Global เราร่างกฎกระทรวงฯ เพื่อให้การนำเข้าเครื่องชั่งตวงวัดที่ผลิตเองไม่ได้ภายในประเทศแต่เราต้องการเครื่องชั่งตวงวัดที่มีคุณภาพ มีความมั่นใจว่าสามารถใช้ไปด้วยระยะเวลาอันเหมาะสมและให้ผลการชั่งตวงวัดถูกต้องตามที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดกำหนดไว้ ไม่ใช่ใช้ไป 1 เดือนซ่อมเสียแล้ว ใช้งานไปให้ผลวัดคลาดเคลื่อนแบบเคลื่อนคล้อยไปตามเวลา ไอ้อย่างนี้นอกจากสร้างความเสียหายต่อเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคงของราชอาณาจักรไทยแล้วยังเพิ่มงานให้กับชาวชั่งตวงวัดที่ต้องออกไปตามคำร้องเรียนหรืออาจมีข้อโต้แย้งในผลประโยชน์ไปจนเลยถึงเกิดคดีความ แม้เกษียณอายุราชการไปแล้วยังต้องเดินขึ้นลงศาลจนแก่เฒ่า ไอ้อย่างนี้ก็ไม่ไหว แต่การกำหนดข้อความทางเทคนิคหากมากไปเราก็จะขัด TBT ของ WTO เราจึงต้องมีหลังพิงฝาหน่อย สิ่งนั้นก็คือ OIML Recommendation เป็นตุ๊กตาที่ร่างอยู่บนพื้นฐานมาตรฐานดังกล่าวแล้วโลกเค้ายอมรับ แต่ถ้าร่างให้ครบตาม OIML ทั้งหมดเราก็คงต้องไล่ข้าราชการชั่งตวงวัดเดิมออกไปไม่น้อยกว่าครึ่งแล้วรับใหม่เข้ามาเพิ่มเติมอีกหลายเท่าตัว ทั้งนี้เพราะเนื้อหาการดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองมันทั้งใช้เงิน ทั้งกำลังคนและทั้งระยะเวลาอย่างมาก เราก็เอาแค่หอมปากหอมคอพอทำงานได้ก็เท่านั้น

แล้ว “Local” ละมันคืออะไร การร่างกฎกระทรวงฯ ในส่วนนี้เพื่อบังคับใช้กับเครื่องชั่งตวงวัดที่ผลิตได้เองภายในประเทศ ต้องเขียนแล้วกระตุ้นให้ผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดตระหนักถึงความรับผิดชอบสังคม และยกระดับมาตรฐาน อีกทั้งสรรสร้างให้มีนวัตกรรมใหม่ๆ เพื่อสร้างมูลค่าให้สังคม ใช้งานได้ง่ายรวดเร็ว ผลการวัดถูกต้องน่าเชื่อถือ คงทน หลายรายก็ดำเนินการพัฒนาสิ่งดีๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาชีวิตประชานไม่หยุดหย่อนแต่บางรายไม่สรรสร้างให้มีนวัตกรรมใหม่ๆแต่สรรสร้างปัญหาใหม่ๆ แต่อ้างว่าเป็นนวัตกรรมใหม่เข้ามาให้กับสังคม ให้สังคมสับสน เอาเรื่องนั้นมาปนเรื่องนี้เอารูปแบบบริการนั้นมาปนกับบริการนี้ เช่นเอาตู้บัตรเติมเงินโทรศัพท์เข้ามารวมกับตู้น้ำมันหยอดเหรียญแล้วมาบอกว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ มันจะใหม่ที่ไหนมันก็ขายยกันมา

นานทั้ง 2 ตู้แต่คนรู้ว่าอะไรควรอะไรไม่ควรเค้าก็ไม่ทำกันก็แค่นั้นเพราะมันไม่ได้แก้ไขปัญหาชีวิตประชาชนแต่ยิ่งทำให้คนใช้งานเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวแล้วเกิดความสับสนในการใช้งาน ส่วนชั่งตวงวัดเองก็พิจารณาเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวก็ไม่เข้าลักษณะเครื่องชั่งตวงวัดตามกฎกระทรวงฯ และ/หรือประกาศกระทรวงฯ ดังนั้นหากปล่อยให้ประชาชนใช้เครื่องชั่งตวงวัดไปร้องเรียนไป วุ่นวานสับสนไปมันจะเกิดความสงบสุขภายในสังคมหรือท่าน นอกจากนี้กฎกระทรวงฯหรือประกาศกระทรวงฯยังมุ่งหวังรักษาและคุ้มครองวงการอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องชั่งตวงวัดของประเทศอีกนัยหนึ่ง เช่น พวกเครื่องชั่งสปริง เป็นต้น แต่ดูเหมือนยิ่งคุ้มครองดูแลมากไปจนรู้สึกมั่นคงไม่มีการแข่งขันพัฒนาเครื่องชั่งสปริงให้มีคุณภาพสูงขึ้น ถ้าอย่างนี้ก็ออกประกาศกระทรวงฯให้เครื่องชั่งสปริงมีได้ทั้งหน้าปัดเดียวหรือ 2 หน้าปัดก็ได้ ถ้าอย่างนี้เราอาจได้เครื่องชั่งสปริงที่มีคุณภาพสูงในราคาที่ถูกลงดีมั๊ย เพราะเครื่องชั่งสปริงจากต่างประเทศจะได้เข้ามาแข่งขันเสรีไปเลย

ในกรณีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่เราเอา OIML R76 มาใช้เป็นฐานในการร่างกฎหมาย พิกัดกำลังจะมี 2 ค่าคือ Maximum Capacity (Max.) และ Minimum Capacity (Min.) นั้นหมายถึงช่วงพิกัดกำลังที่สามารถใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติแล้วให้ผลผิดอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตั้งแต่ Max. ถึง Min ส่วนการกำหนดค่า Min ตัวอย่างเช่น Min เท่ากับ 20e เพื่อบอกว่าหากชั่งน้ำหนักน้อยกว่า 20e แล้วสัดส่วนผลผิดต่อค่าน้ำหนักที่ชั่งมีค่าสูงจนไม่น่าใช้หรือ มี Relative Error สูงนั้นเอง แต่สำหรับมาตรวัดปริมาตรของเหลวก็เช่นเดียวกัน พิกัดกำลังจะไม่ใช่อยู่รูป 999 ลิตรอีกต่อไป แต่หากจะอยู่เป็นช่วงเช่นกันคือ Minimum Flowrate (Q_{min}) จนถึง Maximum Flowrate (Q_{max}) เพื่อบ่งบอกขีดความสามารถของมาตรวัดนั้นว่าเมื่อใช้งานวัดปริมาตรที่อัตราการไหลภายในช่วงดังกล่าวแล้วจะให้ผลผิดอยู่ในอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ส่งผลตามมาในการเก็บค่าธรรมเนียมจึงบอกเป็นค่าน้ำหนักหรืออัตราการไหล สำหรับเครื่องชั่งตวงวัดที่มีขีดความสามารถชั่งน้ำหนักได้มากหรือใช้กับการวัดปริมาตรที่อัตราการไหลสูงมากก็จ่ายค่าธรรมเนียมในการตรวจสอบให้คำรับรองมาก เพราะต้องใช้กำลังคนคุณภาพคนและกำลังเครื่องมือมากกว่า อีกทั้งเป็นการทำธุรกิจที่ได้ผลประโยชน์จาก

สังคมในมูลค่าสูงกว่าจึงควรรับผิดชอบสังคมในสัดส่วนที่เหมาะสมด้วยก็เท่านั้นเอง แต่เมื่อทำงานไปนานๆ เข้า....ตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดไปนาน....เก็บค่าธรรมเนียมตรวจสอบให้คำรับรองไปนานๆ.....ไปจนนานวันเข้า... คนก็อุปทานยึดติดคิดว่าพิกัดกำลังเครื่องชั่งตวงวัดคือค่า Max. ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ หรือ Maximum Flowrate (Q_{max}) ของมาตรวัดปริมาตรของเหลว

ต้องแยกระหว่างขีดความสามารถของเครื่องชั่งตวงวัดซึ่งจะเป็นช่วงขีดความสามารถในการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดตามที่ออกแบบมากับขีดความสามารถสูงสุดเพื่อประเมินค่าธรรมเนียมเพื่อรักษาประโยชน์ให้กับทางราชการ ถึงแม้ผู้ครอบครองบางคนตลอด 30 ปี ที่ครอบครองเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์ 50 ตัน ก็ไม่เคยใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่ 50 ตันแต่คุณครอบครองเครื่องชั่ง 50 ตันคุณต้องเสียค่าธรรมเนียมในการตรวจสอบให้คำรับรองสูง 50 ตัน เนื่องจากคุณอยู่ในสังคมที่คุณสามารถตักตวงผลประโยชน์หรือมีโอกาสทำผลประโยชน์ให้กับตัวเองจากการใช้เครื่องชั่งสูงกว่าผู้อื่นๆ ..

เรื่องเกร็ดเล็กน้อยๆ เรื่องค่าความดันในการทำงานทางด้านชั่งตวงวัดในเรื่องความดันเพื่อไม่ให้สับสน นั้น “ความดัน”

ค่าความดัน 1 บรรยากาศ หรือ 1 atm = 14.69595 psi.

แต่ค่าความดันของเหลวในระบบปิดนั้น หากใช้ค่า 1 bar จะมีค่า

1 bar = 100 kPa. = 14.503774 psi.

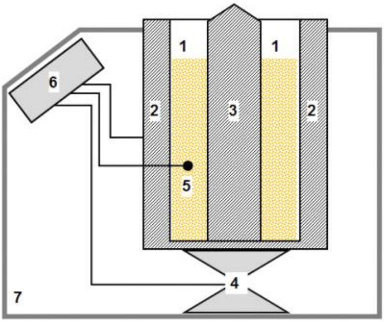
เพราะเช่นนั้นในการทำงานอย่าสับสน 1 atm กับ 1 bar หวังว่าเข้าใจตรงกันน่ะ

ตรวจสอบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ แต่มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราหนักไม่ถึงพิกัดกำลังเครื่องฯ (Substitution of Standard Weights)

หลายครั้งหลายคราวที่ได้ยินชาวชั่งตวงวัดเมื่อมีปัญหาในการเตรียมระบบสอบตรวจให้คำรับรองหรือระบบสอบเทียบแบบมาตราแล้วมีปัญหาไม่สามารถจัดหาแบบมาตราได้จนมีขีดความสามารถตรวจสอบเครื่องชั่งตวงวัดให้ครอบคลุมผลการชั่งตวงวัดได้ตั้งแต่ค่าต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด พูดง่ายๆ ก็คือไม่สามารถจัดตั้งขีดความสามารถระบบสอบเทียบหรือระบบตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดนั้น ๆ ได้ครบสมบูรณ์ ก็มักจะยกตัวอย่างให้ "เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งแท่นชั่งรถยนต์บรรทุก" เป็นพระเอกและเป็นตัวอย่างเพื่อใช้เป็นหลักยึดถือเป็นสาระเพื่อเป็น Safe Harbor ให้หัวใจอบอุ่นขึ้นมา ยกตัวอย่างเช่นเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกที่สามารถแสดงผลการวัดค่าความชื้นได้จนถึง 35% แรกเริ่มก็จัดทำตัวอย่างแบบมาตรา หรือ Certified Reference Material (CRM) ตามวิธีการเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ISO 712, International Standard, Cereals and cereal products -- Determination of moisture content -- Routine reference method, 1998 ได้เพียงช่วง 15% -19% แล้วให้คำรับรองเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกจนถึง 35% เคยถามว่าทำไมทำอย่างนั้นได้รับคำตอบกลับมาว่า อ้าวที "เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งแท่นชั่งรถยนต์บรรทุก" ก็ตรวจไม่ถึง 50 ตัน ตรวจได้แค่ 20 ตันตามที่ชั่งตวงวัดมีรถยนต์บรรทุก 10 ล้อพร้อมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอีก 10 ตัน รวมแล้วประมาณ 21 ตัน ตูล่ะเบื่อยึดเอาการตรวจรับรอง "เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งแท่นชั่งรถยนต์บรรทุก" เป็นตัวประกัน ก็เลยให้เพิ่มขีดความสามารถให้ทำการเตรียม CRM ให้ถึง 35% ปรากฏว่าพบเรื่องราวที่น่าตื่นเต้นหัวใจบีบอัดแทบหัวใจวาย ต้องนอนลงไปชักกระเด่๋วๆๆ บนพื้น 92 ที (เพราะเรามี พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 กะเอาให้ครบอายุชั่ง

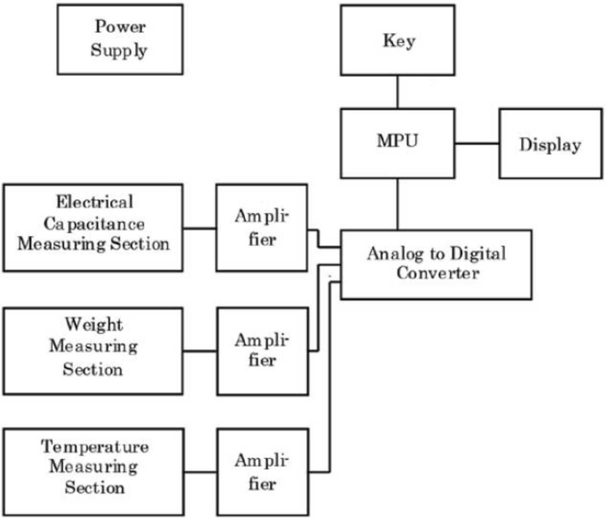
ตวงวัด แต่กลัวลุกไม่ขึ้นภายหลังชักไป) แล้วค่อยลุกขึ้นมาคิดต่อว่าโดยปกติแล้ววิญญูชนที่จัดเก็บข้าวเปลือกเพื่อนำมาสีข้าวให้เป็นข้าวสารนั้นตั้งแต่โบราณกาลไม่เคยมีข้าวเปลือกอื่นใดมีค่าความชื้นถึง 30% ขอย้ำคำว่า “วิญญูชน” ชั่งตวงวัดเดินทางออกต่างจังหวัดในแถบทุ่งกุลาร้องไห้และลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อไปเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกก็วัดค่าความชื้นข้าวเปลือกไม่เคยถึง 35% ยกเว้นข้าวเปลือกจมน้ำ!!!! อ้าวคราวนี้ก็สงสัยว่าบริษัทผลิตเครื่องวัดความชื้นข้าวใช้อะไรเป็นแบบมาตราเพื่อให้สามารถวัดได้ถึง 35% ก็ให้ชั่งตวงวัดเราเนี้ยแหละครับไปสอบถามคนในบริษัทฯ ผู้ผลิตอย่างไม่เป็นทางการ คำตอบที่ได้เขาบอกว่าใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) (ตัวแปรที่สำคัญ เช่น ค่าน้ำหนักข้าวเปลือก, ค่าความหนาแน่นข้าวเปลือกระหว่างแผ่นโลหะ, ค่าอุณหภูมิข้าวเปลือก, ค่า Dielectric ของข้าวเปลือก และค่า Capacitance มาตรฐานที่อยู่ภายในตัวเครื่อง เป็นต้น) (ดูรูปที่ 1) บริษัทฯ ยอมรับว่าไม่สามารถทำแบบมาตรา CRM ให้ได้ความชื้นข้าวเปลือกได้ถึง 35% เช่นกัน บรรลัยเสถียรสิครับ แต่การที่เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกต้องแสดงให้ได้ถึง 35% ก็เพราะตลาดต้องการงั๊ย แล้วคุณรู้ได้อย่างไรว่าตลาดต้องการเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกให้สามารถวัดค่าความชื้นได้ถึง 35% ก็เพราะหลวงออกตารางจำนำข้าวเปลือก (แต่ในบางยุคก็เป็นประกันราคาข้าว) ที่มีค่าความชื้นข้าวเปลือกจนถึง 35% มันล่ะครับมันทุกเม็ด แต่อย่าไปไล่เรื่องราวเลยครับว่าใครเอาข้อมูลมาจากไหนหรือใครเป็นผู้กำหนดตารางจำนำข้าวเปลือก ต้นตอมาจากไหน กลัวครับ กลัวเจอแต่เทียนพรรษา (จุดกันทั้งปีนั่งเทียนกันทั้งชาติ) แต่ให้คิดง่ายๆว่า ค่าความชื้นข้าวเปลือกนั้นเป็นค่าสัดส่วนน้ำหนักของน้ำในข้าวเปลือกเทียบกับน้ำหนักเนื้อข้าวเปลือก โดยน้ำหนักเนื้อข้าวเปลือกคิดจากน้ำหนักข้าวเปลือกที่เหลือเมื่ออบไล่ความชื้นออกจากข้าวเปลือกตามวิธีการขั้นตอนในมาตรฐาน ISO ส่วนน้ำหนักของน้ำในข้าวเปลือกได้จากน้ำหนักข้าวเปลือกลบด้วยน้ำหนักเนื้อข้าวเปลือก ดังนั้นหากค่าความชื้นข้าวเปลือก 35% นั้นหมายว่า 1 เมล็ดข้าวเปลือก 35% ของข้าวเปลือกเป็นน้ำ (H_2O) ครับและ 65% ของข้าวเปลือกเป็นเนื้อข้าวเปลือก เอ๋....ข้าวต้ม... โจ๊ก..... หรือเปล่าน๊า.....?

Figure 14: A schematic diagram of an electrical capacitance type moisture meter and its outside view



1: sample chamber (annular shape), 2: outer electrode, 3: center electrode, 4: weighing instrument (load cell), 5: temperature sensor, 6: electric circuit (including a processing unit and a display unit), and 7: housing

Figure 15: A block diagram of a capacitance (dielectric) grain moisture meter



รูปที่ 1 เครื่องวัดความชื้นข้าวแบบ Capacitance (Dielectric) เป็นเครื่องวัดที่มีหลักการวัดให้ความถูกต้องในช่วงค่า**ความชื้นข้าวเปลือก**ของไทย และ**แนะนำ**ให้ใช้สำหรับการซื้อขายข้าวเปลือก

Figure 12: A cross-sectional view of an electrical resistance type grain moisture meter and its outside view

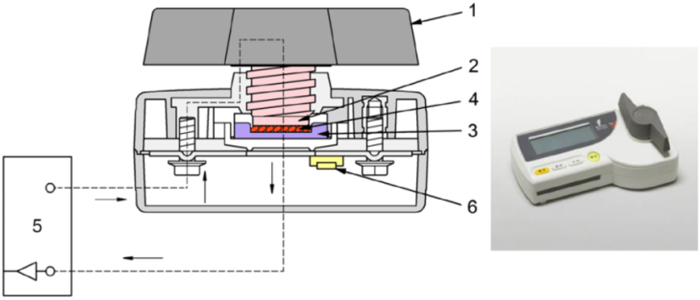
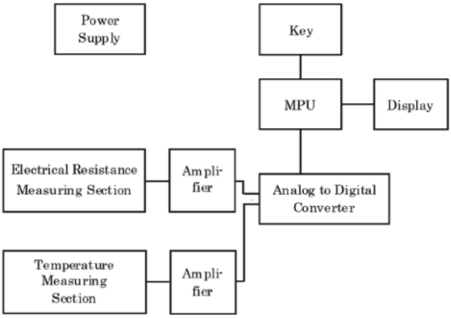


Figure 13: A block diagram of an electrical resistance grain moisture meter



รูปที่ 2 เครื่องวัดความชื้นข้าวแบบ Resistance เป็นเครื่องวัดที่มีหลักการวัดให้ความถูกต้องในช่วงค่า**ความชื้นข้าวสาร**ไม่เกิน 20%ของไทย **ไม่แนะนำ**ให้ใช้สำหรับการซื้อขายข้าวเปลือก

ยกตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่งที่ได้รับฟังมา กรณีเมื่อตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำประปาต้องดำเนินการตรวจสมรรถนะมาตรวัดปริมาตรน้ำที่อัตราการไหลที่กำหนดหนึ่งในอัตราการไหลที่กำหนดคือที่อัตราการไหลสูงสุด Q3 แต่พบว่าหน่วยงานนั้นไม่สามารถสร้างอัตราการไหลทดสอบได้ถึง Q3 ก็ยกตัวอย่างเอา "เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งแท่นชั่งรถยนต์บรรทุก" เป็นพระเอกและเป็นตัวอย่างอ้างอิงอีกแล้วว่าที่เครื่องชั่งรถบรรทุกก็ยังตรวจสอบไม่ถึงพิกัดกำลังสูงสุด 50 ตันยังทำกันได้ ดังนั้นจึงไม่

จำเป็นต้องทดสอบที่อัตราการไหลสูงสุด Q3 เช่นกัน ครับ.. เจอเรื่องเดิมๆ ต่างคน... ต่างเวลา...ต่างสถานที่... แต่ทุกคนเป็นชั่งตวงวัดนี้สิ......เลยนั่งไม่ติดอีกแล้วเลยต้องยกบทความนี้มาลงซ้ำ ๆๆ เพราะเนื้อหานี้ก็มีอยู่ใน E book “คู่มือการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก, คำรับรองชั้นหลัง และการสำรวจตรวจสอบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ” และ “นานาสาระชั่งตวงวัด เล่ม 2” ใน www.cbwmthai.org แต่ขอลงซ้ำอีกเถอะเพราะต้องให้บทความนี้ปรากฏในหลายๆ ที่

ด้วยเหตุนี้จึงขอสรุปว่า ชั่งตวงวัดหากต้องการเจริญก้าวหน้าและทำประโยชน์ให้ประชาชนคนไทยได้ เราต้องมีนวัตกรรมชั่งตวงวัด ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นนวัตกรรมชนิดพลิกโลกพลิกประเทศหรอกครับแค่นวัตกรรมเล็กๆน้อยๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้ชั่งตวงวัดทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล และมีประสิทธิภาพ เช่น มีรถยนต์บรรทุก 10 ล้อบรรทุกแบบมาตรา 10 ตันรวมน้ำหนักทดสอบได้ประมาณ 21 ตันจึงมีน้ำหนักทดสอบไม่พอนำไปตรวจเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุก 50 ตัน ก็ขยับออกแบบตั้งงบประมาณฯ จัดให้มีรถยนต์บรรทุกแบบมาตราไปเป็นรถพ่วงหรือ ส่งเสริมให้ผู้ผลิตเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์ให้สามารถตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งที่ตนเองผลิตตามมาตรา 41 พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ไป หรือหากงบประมาณฯไม่พอก็เอาเทคนิคการทำงานเข้าช่วยซึ่งจะเป็นเนื้อหาในบทความนี้ หากเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกเราสร้างแบบมาตราที่เรียกว่า CRM ไม่ถึง 35% ซึ่งแม้แต่ผู้ผลิตเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกเองก็ทำไม่ได้ เราก็ต้องลดให้เครื่องวัดความชื้นลดลงตามขีดความสามารถจริง ๆที่ทำได้ เช่นเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกควรวัดค่าได้ไม่เกิน 30% เพราะผู้ผลิตสามารถเตรียมแบบมาตราความชื้นได้ถึงเพียง 30% (แต่....ระวังตัวให้ดีน่ะท่าน.....เจ้าที่แรง....กลุ่มผลประโยชน์ลงและเข้าจองพื้นที่...555) หากระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรน้ำขนาด 2 นิ้ว ระบบฯไม่สามารถสร้างอัตราการไหลได้ถึง Q3 ก็ให้ไปออกแบบระบบแล้วลงทุนเพิ่มเติม หากไม่ลงทุนเพิ่มเติมก็ต้องยอมรับสภาพถึงขีดความสามารถขององค์กรตนเอง หรือเพิ่มขีดความสามารถด้วยการคิดค้นนวัตกรรมให้สามารถทำงานได้ เราต้องอยู่กับพื้นฐานความเป็นจริง สุดท้ายผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัดใดที่รับผิดชอบสังคม ผู้ผลิตนั้นต้องมีขีด

ความสามารถตรวจสอบความถูกต้องเครื่องชั่งตวงวัดที่ตนเองผลิตหรือซ่อมนั้นได้ตลอดช่วงการวัดผลการชั่งตวงวัดของเครื่องชั่งตวงวัดนั้นได้ง่ายๆ ......ธรรม (ธรรมชาติ) เถอะโยม..... แต่อย่าสวนกลับมาว่ามันเป็นหน้าที่ของชั่งตวงวัด อย่างนั้นก็จบข่าว กลับบ้านเถอะโยน..... ภาครัฐและภาคเอกชนต้องร่วมมือกันเพราะนี้มันประเทศของเรา

ต่อคำถามว่า ตรวจสอบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติแต่มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีค่าน้ำหนักไม่ถึงพิกัดกำลังเครื่องฯ เราสามารถตรวจสอบได้มั๊ย ตอบว่าได้ครับและเราเรียกเทคนิคการทำงานดังกล่าวว่า **"การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing test using substitution of standard weights)"** ซึ่งเนื้อหาดังต่อไปนี้อ้างอิงตาม OIML R76 ฉบับเก่าคือ OIML R 76, Non-Automatic weighing instruments, Edition 1992(E) ซึ่งในปัจจุบันได้มีฉบับใหม่ คือ OIML R 76, Non-Automatic weighing instruments, Edition 2006 ให้ไปเทียบเคียงดูเพื่อความแน่ใจอีกทีน่ะครับ ถือว่าขยันหน่อยน่ะ ออแนะนำให้ไป Download E-Book "การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ" ใน www.cbwmthai.org อ่านประกอบร่วมด้วยกับบทความนี้ยิ่งดี

การพัฒนาขีดความสามารถ ความรู้ของตนเองอย่าไปคาดหวังให้หน่วยงาน เช่น หน่วยงานการเจ้าหน้าที่หรือ Human Resources ขององค์กรมาพัฒนาตัวท่านหรือจัดฝึกอบรมให้ท่านเลยครับ ยากส์....... ท่าน........ต้องขวนขวายเอาเอง ต้องกระหายใคร่รู้เอาเอง.....ครับ

การทดสอบการชั่งที่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing test using substitution of standard weights)

การตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก

จากข้อกำหนดใน OIML R76-1, 8.3 การตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก (Initial verification) นั้นได้กำหนดแนวทางการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกไว้ซึ่งจะมีเนื้อหาสาระแนวทางการทดสอบตาม 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 (ปัจจุบันเป็นประกาศกระทรวงฯ)

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) ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าสามารถครอบคลุมน้ำหนักทดสอบที่ค่าครึ่งหนึ่งของพิกัดกำลังสูงสุด (Max) ด้วย

8. การรวมเอาการทดสอบการชั่งเข้ากับการทดสอบดิสคริมิเนชั่น (Discrimination Test) เข้าด้วยกัน โดยดำเนินการทดสอบการชั่งหลังจากที่ได้กำหนดน้ำหนักทดสอบ ทั้งนี้ให้เลือกค่าน้ำหนักทดสอบค่าหนึ่งในค่าทั้งหมดที่กำหนดน้ำหนักทดสอบเพื่อทำการทดสอบดิสคริมิเนชั่น 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)
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 จะสังเกตุได้ว่าหากเครื่องชั่งฯให้ผลผิดของการทำซ้ำได้น้อยแสดงว่าเครื่องชั่งมีสมรรถนะดสามารถลดปริมาณตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจริงๆ น้อยลงเมื่อเทียบกับเครื่องชั่งที่ให้ค่าผลผิดของการทำซ้ำได้สูงกว่า

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.
$\leq$ 0.3e	35% Max.
$\leq$ 0.2e	20% Max.

ก. การทดสอบการชั่งที่ไม่ใช้น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Weighing Test Without Using Substitution of Standard Weights)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 5 ช่วงการทดสอบ, L นั้นคือน้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกันเพื่อทดสอบอย่างน้อย 5 ค่า โดยขอบเขตในการเลือกค่าน้ำหนักทดสอบให้ครอบคลุมถึงน้ำหนักทดสอบต่อไปนี้

- น้ำหนักทดสอบต้องครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนถึงพิกัดกำลัง

สูงสุดของเครื่องชั่ง 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) หรือทำการหาตำแหน่งค่าน้ำหนักจริงของการวาง

น้ำหนักทดสอบด้วยการหาตำแหน่งเปลี่ยนจุด (Changeover Point) ตำแหน่งถัดไปโดย

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 10**e** ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนักทุกครั้งเมื่อเอาตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนักเพื่อเอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

วิธีการตรวจสอบว่าเครื่องชั่งมีส่วนรักษาศูนย์หรือไม่ กระทำโดยวางน้ำหนักทดสอบคราวละน้อยๆ ประมาณเท่ากับ 0.2 **d** จากนั้นเว้นระยะเวลาทิ้งห่างกันสักพักหนึ่งเพื่อให้ส่วนรักษาศูนย์ทำงานเป็นช่วงระยะเวลาประมาณ 2 วินาทีหรืออาจจะนาน

กว่านั้นตามความเหมาะสม 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
- ต้องไม่เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่เป็นจุดที่ค่าขั้นหมายมาตราเปลี่ยน ให้เลือกตำแหน่งที่น้อยกว่าจุดดังกล่าว 5e แทน
- ค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งวิธีการเข้าสู่สมดุลของเครื่องชั่งเปลี่ยนไป
- ต้องไม่เลือกจุดน้ำหนักที่เท่ากับพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งหากเมื่อทำการชั่งน้ำหนักมากกว่าค่าพิกัดกำลังของเครื่องชั่งแล้วส่วนแสดงค่าไม่แสดงผลการชั่งใดๆ 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 0.1**e** 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. เมื่อค่าน้ำหนักทดสอบที่ตรงกับน้ำหนักสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มี จากนั้นทำการคำนวณหาผลผิดการชั่ง (E) สำหรับเครื่องชั่งที่มีส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล

และไม่มีส่วนแสดงค่าได้ละเอียดกว่าปกติซึ่งมีค่าขั้นหมายมาตราน้อยกว่าขั้นหมายมาตราของส่วนแสดงค่าหลัก (ต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของ e) ให้ใช้ตำแหน่งเปลี่ยนจุด (Changeover Point) ในการหาค่าผลการแสดงค่าของเครื่องชั่งก่อนจะมีการปัดเศษ หรือตำแหน่งค่าน้ำหนักจริงของการวางน้ำหนักทดสอบ P วิธีการเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 6

8. เอาน้ำหนักทดสอบซึ่งเป็นน้ำหนักสูงสุดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนัก แต่ต้องมั่นใจว่าได้วางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนักก่อนเอาตุ้มน้ำหนักทดสอบออกไปทั้งหมด 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) ก่อนที่มีการปัดค่าไปแสดง

ค่า (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. ตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้น ๆ ตามขั้นตอนที่ 6

13. หากค่าน้ำหนักที่กำหนดค่าน้ำหนักทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอน 2 นั้นสูงมากกว่าผลรวมของน้ำหนักทดสอบแบบมาตรา กับน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ก็ต้องหาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้มีค่ามากกว่าน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในขั้นตอนที่ 9 จากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 7 จนถึง ขั้นตอนที่ 12 ซ้ำ

14. เอาน้ำหนักทดสอบออกจากส่วนรับน้ำหนักในลักษณะที่มีการลดลงอย่าง

ต่อเนื่องสม่ำเสมอจาก พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องโดยให้มีค่าเท่ากับเมื่อครั้งที่เพิ่มน้ำหนัก

15. ในแต่ละค่าน้ำหนักทดสอบที่คงเหลือไว้บนส่วนรับน้ำหนักนั้น ให้ทำการตรวจสอบหาค่าผลผิดที่ค่าน้ำหนักทดสอบค่านั้นๆ

16. ตรวจสอบผลผิดที่แต่ละค่าน้ำหนักทดสอบทั้งในขั้นตอนเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักว่ายังคงอยู่ในขอบเขตของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่ ถ้าอยู่ภายในขอบเขต ถือว่าผ่านการทดสอบการชั่ง

<u>**ตัวอย่าง**</u> 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
$\pm$ 0.5e	ตั้งแต่ 0 ถึง 500 ($0 \leq m \leq 500$)	0 kg - 10,000 kg
$\pm$ 1.0e	มากกว่า 500 ถึง 2000 ($500 < m \leq 2000$)	10,000 kg – 40,000 kg
$\pm$ 1.5e	มากกว่า 2000 ถึง 10000 ($2000 < m \leq 10000$)	40,000 kg – 60,000 kg

2) กำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 5 น้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกันโดยครอบคลุม

- น้ำหนักทดสอบที่พิกัดกำลังต่ำสุด Min. = 400 kg
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 1 เท่ากับ 10,000 kg
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลงช่วงที่ 2 เท่ากับ 40,000 kg
- น้ำหนักทดสอบที่พิกัดกำลังสูงสุด Max. = 60,000 kg
- ค่าน้ำหนักทดสอบเพื่อให้ค่าการเพิ่มน้ำหนักทดสอบเพิ่มขึ้นในอัตราเพิ่มที่สม่ำเสมอตลอดช่วงตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดถึงพิกัดกำลังสูงสุดและน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีจึงกำหนดให้มีน้ำหนักทดสอบประมาณเท่ากับ 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

$$E = P – L = 408 – 400 = 8 \text{ kg} < MPE$$

7) เอาน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราออกจากส่วนรับน้ำหนัก แต่ต้องมั่นใจว่าได้วางตุ้มน้ำหนักเท่ากับ 10e ค้างไว้อยู่บนส่วนรับน้ำหนัก ก่อนเอาตุ้มน้ำหนักทดสอบออกไปทั้งหมด หรือวางตุ้มน้ำหนักเพิ่มลงไปจนกระทั่งได้ค่าน้ำหนักทดสอบที่ต้องการ

8) ทำการทดสอบในขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 7 อีกครั้งด้วยน้ำหนักทดสอบแบบมาตราเท่ากับ 10,000 kg และ 16,000 kg

9) เอาน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ซึ่งในที่นี้จะเป็นรถยนต์บรรทุกดินหนักประมาณ 15,000 kg (น้ำหนักเลขสวย..อย่าคิดมาก) ลงบนส่วนรับน้ำหนักของเครื่องชั่ง

10) คำนวณหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงหรือน้ำหนักที่เครื่องชั่งชั่งได้ของน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งวางไว้บนส่วนรับน้ำหนัก

- อ่านค่า เครื่องชั่งแสดงค่า I_{sub_1} = 15,580 kg

- จากนั้นทำการเติมน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1 ใน 10 เท่าของ e ลงบนเครื่องชั่งในแต่ละครั้งไปเรื่อยๆ 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

$$E = P - L = 31{,}584 - 31{,}570 = 14 \text{ kg} < \text{MPE}$$

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
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 $E > MPE$

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

$$L_{sub_2} = P_{sub_2} - E_{sub_2} \qquad = I_{sub_2} + 1/2\ e - E_{sub_2}$$

ทั้งนี้ให้ผลผิดที่น้ำหนักทดสอบ 31,570 kg มีค่าเท่ากับที่น้ำหนักทดสอบด้วยน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

$$L_{sub_2} = P_{sub_2} - E_{sub_2} \qquad = 30980 + 10 - 14 = 30,976 \text{ kg}$$

16) วางน้ำหนักทดสอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีอยู่ 16,000 kg โดยใส่ลงเพียง 9,000 kg ลงบนส่วนรับน้ำหนักเพิ่มเติมต่อจาก น้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Substitution Load) ชุดที่ 2 จะได้น้ำหนัก

ทดสอบเท่ากับ 30,976 + 9,000 = 39,976 kg

17) คำนวณหาผลผิดเหมือนขั้นตอนที่ 6

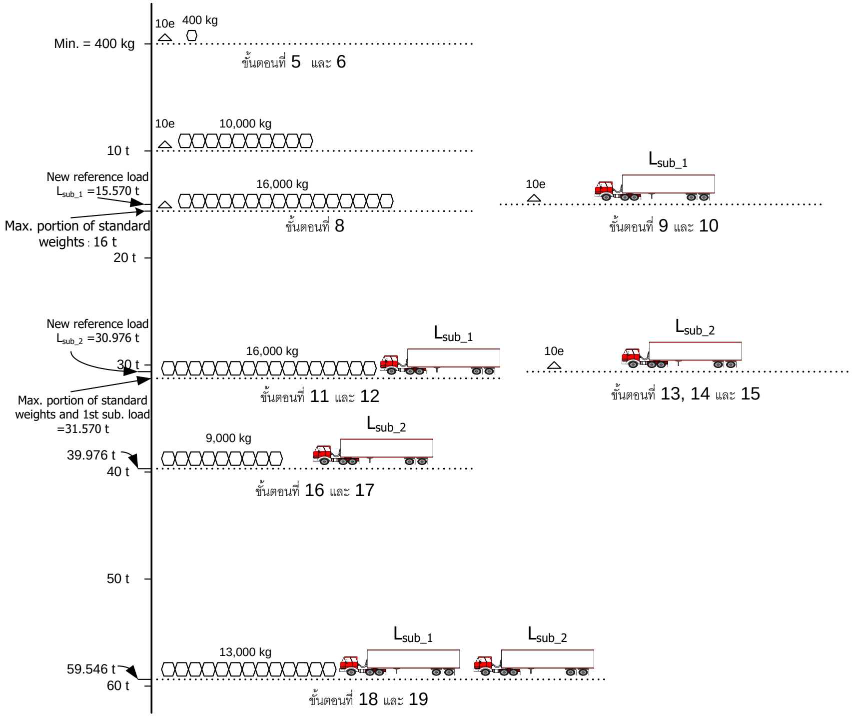
18) เพิ่มน้ำหนักทดสอบอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (substitution load) ชุดที่ 1ลงไป และเพิ่มตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอีก 4,000 kg จะได้น้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 39,976 + 15,570+4,000 = 59,546 kg

19) คำนวณหาผลผิดเหมือนขั้นตอนที่ 6

20) เอาน้ำหนักทดสอบออกจากส่วนรับน้ำหนักในลักษณะที่มีการลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอจาก พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องโดยให้มีค่าเท่ากับเมื่อครั้งที่เพิ่มน้ำหนัก ย้อนวิธีการเดิมกลับไป และหาผลผิดเครื่องชั่งตามที่ได้กล่าวมา

21) ตรวจสอบผลผิดที่แต่ละค่าน้ำหนักทดสอบทั้งในขั้นตอนเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักว่ายังคงอยู่ในขอบเขตของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดหรือไม่ ถ้าอยู่ภายในขอบเขต ถือว่าผ่านการทดสอบการชั่ง

Ans



ภาพแสดงตัวอย่าง
การชั่งที่ใช้น้ำหนักอื่นแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

รูปที่ 3 ขั้นตอนการใช้ Substitution of Standard Weights

เราวัดปริมาตรของไหล (ของเหลว) สถานะเดียว (Single Phase flow) เท่านั้น

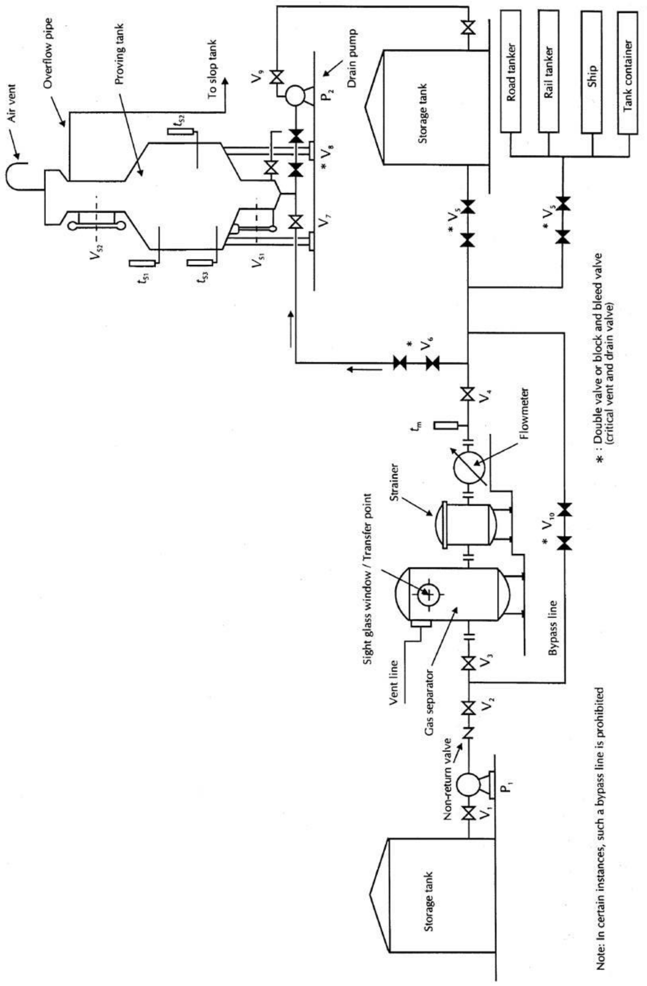
ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาหลังจากได้จัดทำ กฎกระทรวง กำหนดเครื่องวัดที่อยู่ในบังคับแห่งพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ชนิด ลักษณะ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และเครื่องรับรองของเครื่องชั่งตวงวัด และหลักเกณฑ์และวิธีการจดทะเบียนเครื่องหมายเฉพาะตัว พ.ศ.2546 ฉบับแรกที่กำหนดรายละเอียดเครื่องชั่งตวงวัดภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ซึ่งได้ออกมาทดแทนพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 เดิมนั้น ได้สร้างการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกฎกระทรวงฯ ลักษณะเดียวกันซึ่งออกมาภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 แม้ได้มีการบังคับใช้มานานหลายปีเกือบจะ 20 ปี แล้วก็ตาม พบว่ายังมีหลายส่วน หลายหน่วยงาน หลายบุคคล ที่มีอยู่เดิมและที่ได้เข้ามาเสริมทัพเพิ่มเติมงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ของราชอาณาจักรไทยอยู่สม่ำเสมอ อาจมีความเข้าใจไม่ตรงกันหลายเรื่อง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสื่อสารเข้าใจตรงกันก็จะพยายามอธิบายในช่องทางที่พอพูดคุยกันได้ โดยไม่ต้องพูดซ้ำมาก แต่สามารถอ่านซ้ำได้มากเท่าที่ต้องการเป็นเรื่องๆ ไป คราวละเรื่องๆ ไป ... จึงได้เขียนบทความนี้...

เนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดแต่ละชนิดมีเรื่อง มีคำถาม มีข้อไม่เข้าใจ (เลยไม่รู้จะถามอะไร) และฯลฯ จนคนที่คิดจะตอบก็นึกไม่ออกว่าจะสื่อสารประเด็นใด จนกระทั่งมีคนเข้ามาถามนั้นแหละจึงพึ่งรู้ว่ามีความไม่เข้าใจตรงกันในประเด็นใด เพื่อตีกรอบการพูดคุยสื่อสารด้วยบทความนี้ให้ชัดเจนในที่นี้เราจึงขอตีกรอบเฉพาะมาตรวัดปริมาตรของเหลว แน่ละรวมถึงมาตรวัดปริมาตรน้ำด้วยเช่นกัน เพราะน้ำเป็นของเหลว... เข้าใจตรงกันน่ะ....

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปอยู่แล้วว่าสถานะวัตถุโดยพื้นฐานแล้วจะมี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ (แก๊ส) ในกรณีมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งเป็นการ

วัดปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านระบบท่อซึ่งเป็นระบบปิด ขีดความสามารถของมาตรวัดปริมาตรของเหลวจะให้ผลการวัดที่ถูกต้องเที่ยงตรง น่าเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อภายในระบบท่อต้องเป็นของเหลวตลอดเวลาที่มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำการวัด งานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นเราดูแลมาตรวัดปริมาตรของไหล (Fluid) ซึ่งคำว่าของไหล (Fluid) นี้สามารถเป็นได้ทั้งของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas) แต่ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ของเหลวและก๊าซดังกล่าวต้องเป็น**ของไหลเพียงสถานะเดียวเท่านั้น** นั้นคือหากเป็นของเหลวก็ต้องเป็นของเหลวล้วนต้องไม่มีก๊าซหรืออากาศเข้าไปแจมอยู่ในระบบวัดปริมาตรของเหลวอย่างเด็ดขาด และเช่นเดียวกันหากระบบการวัดเป็นการวัดมวลหรือปริมาตรของก๊าซ ก๊าซดังกล่าวก็ต้องเป็นก๊าซเพียงสถานะเดียวเท่านั้นต้องไม่มีน้ำหรือเม็ดทรายหรือฝุ่นโคลนเข้าไปในระบบมาตรวัดก๊าซอย่างเด็ดขาดเช่นเดียวกัน หากระบบใดประกอบด้วยของเหลวกับก๊าซไอระเหย หรือของเหลวกับของแข็ง หรือก๊าซกับของแข็ง เราจะรียกของไหลในระบบนั้นว่า **“ของไหล 2 สถานะ (2-Phase Fluid)”** แต่หากเพิ่มอีกสถานะหนึ่งคือของแข็ง เช่น เม็ดทราย ฝุ่นขี้โคลน หรือก๊าซ หรือของเหลว ตามลำดับนั้น เราก็เรียกเพิ่มขึ้นไปอีกเป็น **“ของไหล 3 สถานะ (3-Phase Fluid)”** ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นของไหล 2 สถานะ หรือของไหล 3 สถานะล้วนแล้วแต่สร้างปัญหาและมีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือของการทำงานของมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นๆ ประกอบกับในทางวิศวกรรมศาสตร์ในปัจจุบันยังไม่ได้มีเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมใหม่ที่จะสามารถผลิตมาตรวัดปริมาตรของเหลวให้สามารถวัดของเหลวทั้งที่เป็น ของไหล 2 สถานะ หรือของไหล 3 สถานะให้ได้ผลถูกต้องแม่นยำในระดับที่ต้องการตลอดช่วงเวลาการวัดเมื่อเทียบเท่ากับมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ทำการวัดของเหลวสถานะเพียงสถานะเดียว (เท่าที่ทราบ) แน่ละประเทศที่เจริญแล้วก็กำลังศึกษาว่าจะวัดของไหล 2 สถานะ หรือ 3 สถานะอย่างไรให้มีถูกต้องเที่ยงตรงแม่นยำน่าเชื่อถือ แต่เราชั่งตวงวัดก็คงเอาแค่...... ของไหลสถานะเดียวให้เข้าใจก่อนแล้วกัน ส่วนเรื่องอื่นๆ ค่อยเดินกันไปเถอะน่ะ ด้วยเหตุนี้งานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายจึงกำหนดมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงฯ ฉบับล่าสุดปี พ.ศ. 2562 ได้กำหนดชนิดและลักษณะ

ตลอดจนขีดความสามารถในการชั่งตวงวัดได้เฉพาะสินค้าที่เป็น **“ของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phase flow)”** เท่านั้น



รูปที่ 1 ระบบการวัดปริมาตรของเหลวจ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมทางรถยนต์ รถไฟ เรือ (OIML R120)

อะไรคือระบบการวัดปริมาตรของเหลว เรามาดูกันว่าจากประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรของเหลว รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และอายุคำรับรอง ลงวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ให้นิยามไว้ว่า

"ระบบการวัดปริมาตรของเหลว" หมายความว่า ระบบที่ประกอบด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลว อุปกรณ์ควบ และอุปกรณ์เสริม

"อุปกรณ์ควบ" หมายความว่า อุปกรณ์ใช้งานพิเศษเฉพาะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของการวัด เช่น ส่วนตั้งศูนย์ ส่วนพิมพ์ค่า ส่วนแสดงราคา ส่วนแสดงผลรวม ส่วนแปลงค่า หรือส่วนตั้งปริมาณจ่ายล่วงหน้า

"อุปกรณ์เสริม" หมายความว่า ส่วนหรืออุปกรณ์ที่นอกเหนือจากอุปกรณ์ควบที่จำเป็นต้องใช้เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในผลการวัดอย่างถูกต้อง หรือมุ่งใช้เพื่อช่วยให้การดำเนินการในการวัดสะดวกยิ่งขึ้น หรือเป็นอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัด เช่น เครื่องกำจัดไอ ไส้กรอง ปั๊ม วาล์ว หรือท่อ

......

ข้อ 15 มาตรวัดปริมาตรของเหลวต้องมีอุปกรณ์ควบและอุปกรณ์เสริมที่มีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) เครื่องกำจัดไอหรืออากาศ หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศผ่านเข้าไปในมาตรวัดขณะทำการวัด ยกเว้นของเหลวมีความหนืดพลศาสตร์มากกว่า ๒๐ mPa.s ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส

(ก) ต้องไม่ให้ผลกระทบเนื่องจากไอหรืออากาศมีผลต่อผลการวัดเกินกว่า

1) ๑% ของปริมาณที่วัด สำหรับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวมีความหนืดพลศาสตร์มากกว่า ๑ mPa.s ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส และน้ำนม

๒) ๐.๕% ของปริมาณที่วัด สำหรับระบบมาตรวัดปริมาตรของเหลวนอกเหนือจาก ๑)

(ข) ต้องออกแบบให้สอดคล้องกับสภาวะขณะวัด และอัตราการไหลสูงสุดและอัตราการไหลต่ำสุดของระบบการวัดปริมาตรของเหลว

(2) วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับหรือวิธีการป้องกันการไหลย้อนกลับใดๆ ไม่ให้ของเหลวไหลย้อนกลับสู่มาตรวัดอีก

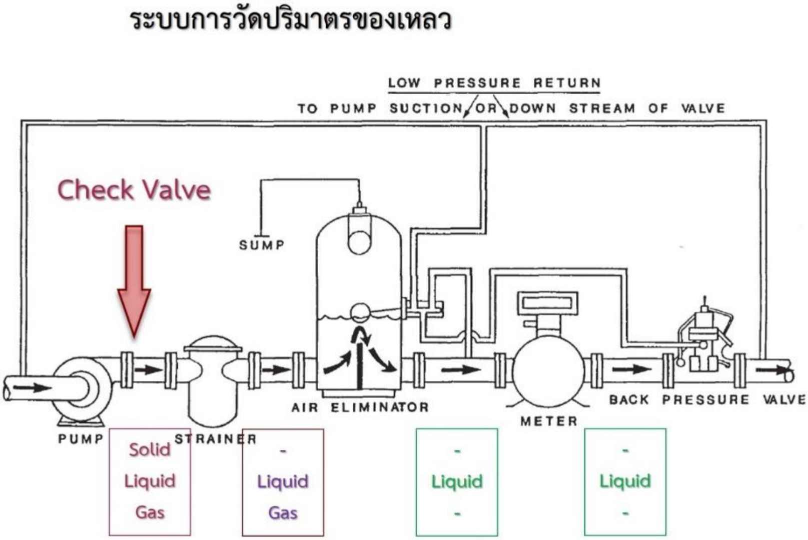
(3) สำหรับมาตรวัดปริมาตรน้ำมันหล่อลื่น เมื่อระดับของแหล่งจ่ายน้ำมันหล่อลื่นลดระดับต่ำลงจนมีผลต่อความแม่นยำของการวัด มาตรวัดต้องมีอุปกรณ์ที่หยุดทำงานได้โดยอัตโนมัติ หรือมีสัญญาณเตือนที่เห็นได้ชัดเจน

(4) สำหรับมาตรวัดมวลโดยตรง หากต้องการแสดงค่าเป็นปริมาตร มาตรวัดมวลโดยตรงต้องมีวิธีการอัตโนมัติที่สามารถวัดค่าและแก้ไขค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำการวัด เมื่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นมีผลต่อความแม่นยำของการวัด

รูปที่ 2 ตัวอย่างชุดระบบการวัดปริมาตรของเหลวจ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

จากข้อกำหนดของ**ระบบการวัดปริมาตรของเหลว** ดังนั้นมาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบมาตราชนิด Positive Displacement Flow Meter; PD Meter, Turbine Flow Meter หรือ Coriolis Mass Flow Meter จึงต้องมี

องค์ประกอบให้ครบตามที่กำหนดไว้ดังข้อความข้างบนดังกล่าว (ดูรูปที่ 3) การที่ต้องกำหนดเช่นนั้นเพื่อประกันว่าของเหลวในระบบท่อยังคงเป็นของเหลวสถานะเดียวตลอดช่วงระยะเวลาทำการวัด



รูปที่ 3 องค์ประกอบที่สำคัญหลักๆของระบบการวัดปริมาตรของเหลว

เริ่มพิจารณารูปที่ 3 เริ่มจากเมื่อปั๊มดูดของเหลวจากถังสำรองหรือจากแหล่งเก็บของเหลวเพื่อสูบอัดเข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลวต้องติดตั้งวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) ด้านทางออกของปั๊มทันทีหรือวิธีการป้องกันการไหลย้อนกลับใดๆ ไม่ให้ของเหลวที่ผ่านการวัดปริมาตรด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวไปแล้วไหลย้อนกลับเข้ามาตรวัดฯอีก ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เช่น ปลายทางด้านท้ายน้ำของระบบการวัดปริมาตรของเหลวมี Check Valve อยู่แล้วหรือไม่ ระวังประเด็นเรื่อง Water Hammer ในระบบท่อเนื่องจากการปิด-เปิดวาล์วด้านท้ายน้ำอย่างทันทีทันใดจะทำให้ให้เกิดคลื่นกระแทกกลับไปกลับมาภายในระบบท่อเพราะถ้าหากเกิด Water Hammer ในระหว่างการใช้งานมาตรวัดปริมาตรของเหลวและหากเรามี Check Valve เรื่องใหญ่จะกลายเป็นเรื่องเล็ก เรื่องเล็กจะกลายเป็นไม่มีเรื่องน่ะ

ครับ แต่แน่นอนว่ามีผลกระทบต่อการทำงานของระบบการวัดปริมาตรของเหลวแน่นอน

เราตั้งสมมุตฐานให้ของเหลวที่ไหลผ่านปั๊ม (ดูรูปที่ 3) เป็นของไหล 3 สถานะ คือประกอบด้วย ของแข็ง (Solid) + ของเหลว (Liquid) + ก๊าซ (Gas) ซึ่งแหล่งที่มาของแข็ง หรือก๊าซ ในที่นี้เป็นเรื่องทางเทคนิคซึ่งโดยปกติแล้วเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในชีวิตการทำงานจริง สำหรับกระบวนการผลิตของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การจัดเก็บ และการขนส่ง ในแต่ละขั้นตอนล้วนแล้วแต่อาจก่อให้เกิดการไหลในระบบท่อที่เป็นของไหล 2 -3 สถานะได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการไหลภายในท่อไม่ให้เกิด 2 - 3 สถานะจึงต้องจัดการใน 2 ลักษณะคือ ขั้นตอนป้องกัน และหากเมื่อป้องกันแล้วยังคงมีการไหล 2 - 3 สถานะในระบบท่ออยู่อีกก็ต้องหาวิธีกำจัดสถานะของของไหลที่ไม่ต้องการออกไป แน่ละต้องมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น ซึ่งในที่นี้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจแล้วนำไปปรับใช้กับของเหลวชนิดอื่นๆ เราจะขอตีกรอบเบื้องต้นพิจารณาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมโดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งเบนซินแก๊สโซฮอล์ ดีเซล น้ำมันสำหรับเครื่องบิน (Jet A1) หรือน้ำมันก๊าด ซึ่งล้วนมีแนวโน้มของการเกิดฟองได้ง่ายขณะไหลผ่านท่อจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ดังนั้นแหล่งที่มาหรือสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดก๊าซ และ/หรือของแข็งเข้าไปผสมในของเหลวในระบบท่อจึงอาจมีด้วยกันหลายสาเหตุ และเราควรสืบหาให้ทราบสาเหตุนั้นๆเพื่อจะได้ป้องกัน ลด หรือบรรเทาปัญหาจากสาเหตุนั้นได้ เช่น

1. เราใช้ระบบท่อเส้นเดียวกันให้ทำหน้าที่ Load (เอาสิ่งของลงไป) และ Unload (เอาสิ่งของออกจาก) เข้าสู่ถังน้ำมันสำรองด้วยระบบปั๊ม เช่น ใช้ระบบท่อเส้นเดียวกันในการ Load น้ำมันลงรถยนต์บรรทุกถังน้ำมันเมื่อทำงานเสร็จก็ใช้ระบบท่อเดิมดังกล่าวทำการ Unload น้ำมันจากรถไฟเข้าไปเก็บในถังน้ำมันสำรองเดิม
2. การใช้ระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมหลายชนิดทางท่อร่วมกันด้วยระบบท่อเดียวกัน ดังนั้นอากาศมักจะถูกดูดหรืออัดเข้าไปในช่วงเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อการขนส่งทางท่อ

3. การเกิดสภาพการไหลวน (Vortex Flow) เมื่อระดับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีสถานะของเหลวภายในถังสำรองหรือถังบนรถยนต์บรรทุกต่ำกว่าระดับที่กำหนด จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “Vortex” ทำให้ปั๊มดูดอากาศเข้าไปในระบบท่อพร้อมของเหลว คล้ายกับการเกิดน้ำวนสะดือทะเล

4. ในกรณีที่เลือกใช้ปั๊มที่มีกำลังแรงม้าสูงๆ หรือปั๊มมีสภาพการทำงานไม่สมบูรณ์ เมื่อปั๊มทำงานดูดของเหลวจากถังสำรองเพื่อส่งจ่ายไปยังที่ใดที่หนึ่งอาจดูดอากาศผ่านเข้าทางประเก็น และ/หรือ ซีลไม่ว่าจะเป็น Mechanical Seal หรือ Packing Glands. หรืออาจสร้างสภาวะสุญญากาศ (Vacuum) สูงมากเกินไปสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีค่าความดันไอสูงจนทำให้ของเหลวกลายเป็นไอที่ความดันต่ำกว่าความดันไอของเหลวนั้นๆ

5. การเดินระบบท่ออยู่เหนือพื้นดิน เมื่อระบบท่อโดนแสงแดดในตอนกลางวันความร้อนจะถูกส่งผ่านจากผิวท่อโลหะไปยังของเหลวภายในระบบท่อทำให้มีการระเหยตัวกลายเป็นไอหากความดันในระบบท่อไม่สูงเพียงพอ เพราะถ้าความดันของเหลวในระบบท่อสูง ต้องใช้ความร้อนจากแสงแดดมากกว่าในการทำให้ของเหลวในระบบท่อกลายเป็นไอ

6. การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบท่อที่มีความดันตกคร่อมสูง (Pressure Drop) เมื่อของเหลวไหลผ่านด้วยอัตราการไหลสูงหรือความเร็วของเหลวสูงจะเกิดสภาวะความดันตกคร่อมจนค่าความดันลดต่ำลงกว่าความดันไอของเหลวนั้น ๆ ส่งผลให้ของเหลวดังกล่าวแปลงสภาวะกลายเป็นไอ

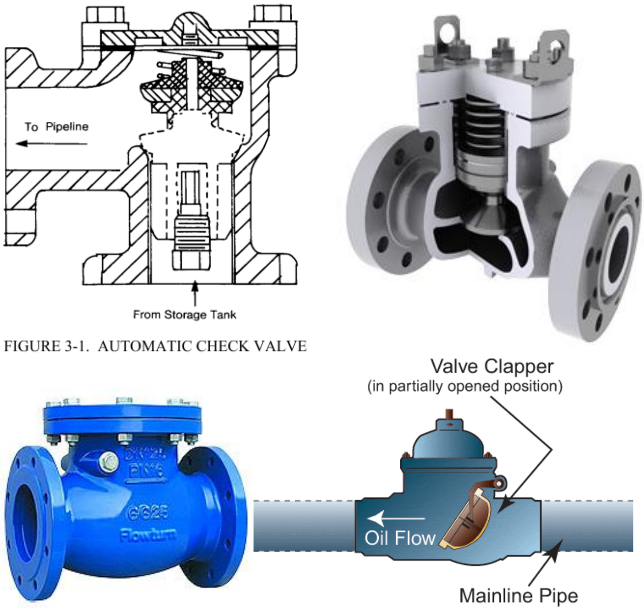
7. ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) ในตำแหน่งที่ผิด ทำให้เกิดการรั่วไหลผ่านวาล์วกันกลับในช่วงที่ระบบของไหลภายในท่อไม่มีการไหล

8. บริหารจัดการใช้ถังสำรองน้ำมันอยู่ในระดับต่ำเกินกว่าที่กำหนด หรือถังแห้งสนิทเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาด

9. ระบบปั๊มที่ต้องดูดของเหลวจากถังสำรองน้ำมันที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าปั๊ม เช่น ถังสำรองน้ำมันใต้ดิน

10. การขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในระบบท่อมีค่าความหนืดสูง

11. และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งจะเกิดจากธรรมชาติของระบบ หรือเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดไปของผู้ปฏิบัติงาน

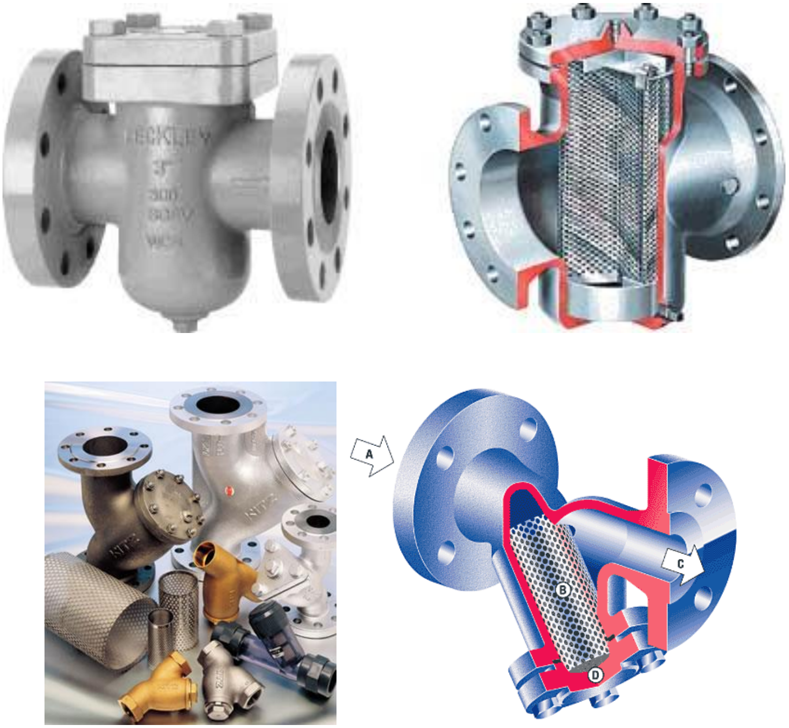


รูปที่ 4 วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) ด้านทางออกของปั๊ม

พิจารณารูปที่ 3 ต่อไป เราตั้งสมมุตฐานให้ของเหลวที่ไหลผ่านปั๊มเป็นของไหล 3 สถานะ คือประกอบด้วย ของแข็ง (Solid) + ของเหลว (Liquid) + ก๊าซ (Gas) ระบบการวัดปริมาตรของเหลวจึงต้องติดตั้งตัวกรองของแข็งออกจากของไหล อาจเรียกว่า Filter หรือ Strainer (ดูรูปที่ 5) เมื่อของไหล 3 สถานะไหลผ่าน Strainer หรือตัวกรองของแข็ง (เราสมมุติให้กรองของแข็งออกได้หมด) ก็จะกลายเป็นของไหล 2 สถานะ คือ ของเหลว + ก๊าซ เท่านั้น

การติดตั้ง Filter หรือ Strainer ในอีกมุมมองหนึ่งแล้ว Filter หรือ Strainer ยังช่วยรักษาและป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลว เพราะจะมากจะน้อยยังช่วยกรองขี้ลวดเชื่อมหรือเม็ดกรวดทรายหรือเศษชิ้นโลหะลวด

เชื่อมตกค้างในระบบท่อ ไม่ให้ไหลมากระแทกหรือเข้าไปค้างในระบบซีลหรือชิ้นส่วนเคลื่อนไหวต่างๆภายในตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลว นั้นเอง ถือว่าเป็นการป้องกันดูแลรักษามาตรวัดปริมาตรของเหลวให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่องยาวนาน



รูปที่ 5 Strainers ในหลายรูปแบบการออกแบบตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

ดูรูปที่ 3 ต่อน่ะ จากนั้นเราก็ต้องออกแบบระบบเพื่อดึงก๊าซออกไปจากการไหลในระบบท่อด้วยการติดตั้งเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator หรือ Gas Separator) หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศผ่านไปได้ เพื่อให้มั่นใจว่ามีแต่ของเหลว (Liquid) ออกไปเท่านั้นและมีเพียงแต่สถานะของเหลวสถานะเดียวเท่านั้นที่ไหลเข้ามาตรวัดปริมาตรของเหลวตลอดช่วงระยะทำการวัด ใน

ความเห็นส่วนตัวควรติดตั้งเครื่องกำจัดไอหรืออากาศต่อถัดจาก Filter หรือ Strainer หรืออยู่ทางด้านท้ายน้ำของ Filter หรือ Strainer เพราะในขณะที่ของเหลวไหลผ่าน Filter หรือ Strainer ก็อาจก่อให้เกิดฟองอากาศเกิดขึ้นได้

เครื่องกำจัดไอหรืออากาศที่มีใช้ในภาคอุตสาหกรรมอาจถูกเรียกชื่อกันหลากหลายชื่อ เช่นเรียกว่า "Suction Traps", "Knock-out Drums", "Low Pressure Receivers", "Accumulators", "Recirculators" ขึ้นอยู่กับการใช้งานและขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การออกแบบ เช่นออกแบบเพื่อต้องการแยกของเหลวออกจากก๊าซหรือต้องการแยกก๊าซออกจากของเหลว เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวอาจทำหน้าที่อื่นๆร่วมกันไปด้วย (คือทำหลายหน้าที่น่ะแต่เงินเดือนไม่เพิ่ม) เช่น ใช้รักษาระดับและปริมาณการส่งจ่ายของเหลวไปยังปั๊มให้เพียงพอตลอดเวลา หรือยังใช้เป็นแก้มลิงรองรับการสะสมของปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างทันทีทันใดของระบบที่มันถูกติดตั้งอยู่ เป็นต้น

ของไหล 2 สถานะ (2-Phase Fluid) ที่เราจะเกี่ยวข้องและมุ่งเน้นเป็นประเด็นหลักๆ (ดูรูปที่ 6) แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

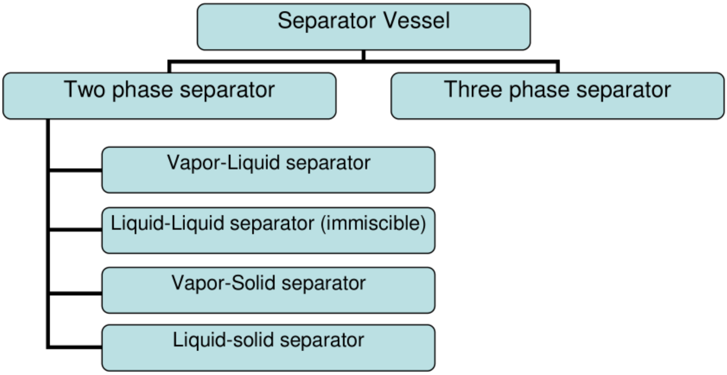
1. **ของเหลว-ก๊าซ** : ระบบของไหลในท่อเป็นของเหลวเป็นหลัก มีความประสงค์แยกเอาก๊าซออกไปจากของเหลว เช่น **ระบบการวัดปริมาตรของเหลว**ที่ใช้วัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงต้องการแยกอากาศที่ไหลเล็ดรอดเข้าระบบออกไป ซึ่งเป็นหัวข้อหลักที่เราคุยกันในบทความนี้

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

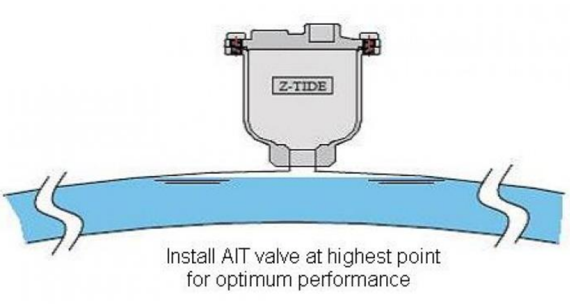
นอกจากนี้ยังมีการแยกของแข็งออกจากของเหลวหรือของแข็งออกจากก๊าซอีกด้วย

สำหรับเครื่องกำจัดไอหรืออากาศ (Air/Gas Eliminator) ซึ่งถูกติดตั้งไว้ก่อนทางเข้ามาตรวัดฯ ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศหรือก๊าซที่ปนเข้ามาในระบบ เช่น เกิดการ

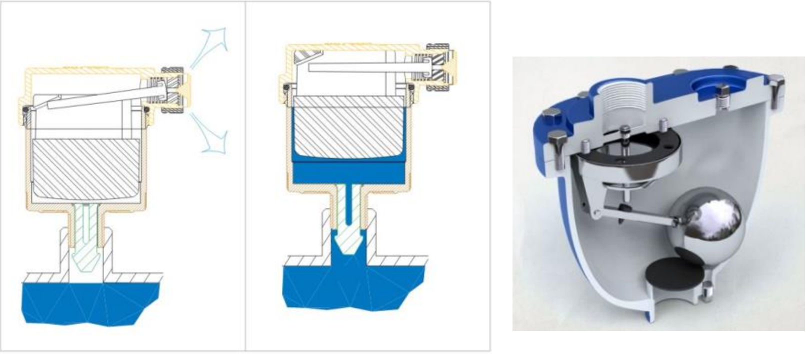
รั่วของอุปกรณ์จนการไหลของเหลวในระบบท่อไปดูดอากาศเข้ามาในระบบฯ ผ่านรอยรั่วดังกล่าว หรืออาจเกิดจากการปิด-เปิดวาล์วแล้วความดันทางด้านหลังวาล์วมีค่าต่ำกว่าความดันไอของของเหลวนั้นๆ แล้วจะก่อให้ของเหลวเกิดการระเหยกลายเป็นไอลอยปนไปของเหลว เป็นต้น ทั้งนี้อย่าสับสนระหว่าง Air/Gas Eliminator กับ Automatic Air Vent Valve เพราะ Automatic Air Vent Valve มีวัตถุประสงค์เพื่อไล่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบท่อซึ่งโดยปกติจะติดตั้งในตำแหน่งสูงสุดของช่วงแนวท่อที่ต้องการช่วงใดช่วงหนึ่งดังในรูปที่ 7 - รูปที่ 8 แต่โดยทั่วไปแล้ว Automatic Air Vent Valve จะมีหลักการทำงานคล้ายกับ Air/Gas Eliminator เสียเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 6 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศของไหล 2 สถานะ และของไหล 3 สถานะ

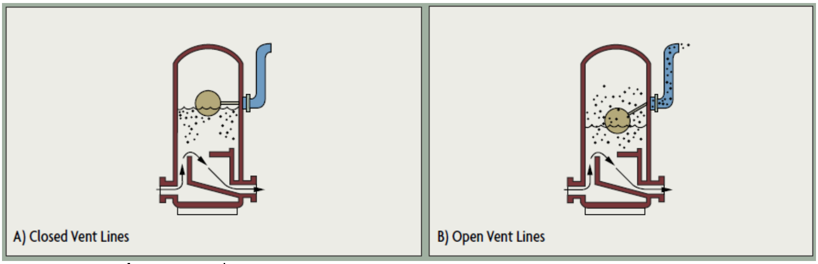


รูปที่ 7 ตำแหน่งติดตั้ง Automatic Air Vent Valve ในระบบท่อ

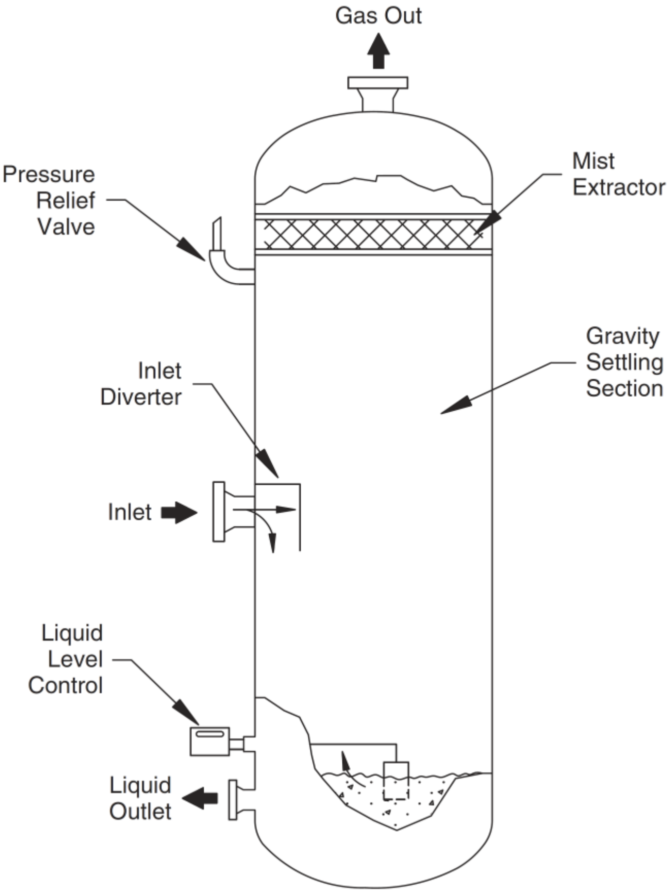


รูปที่ 8 หลักการทำงานและลักษณะ Automatic Air Vent Valve

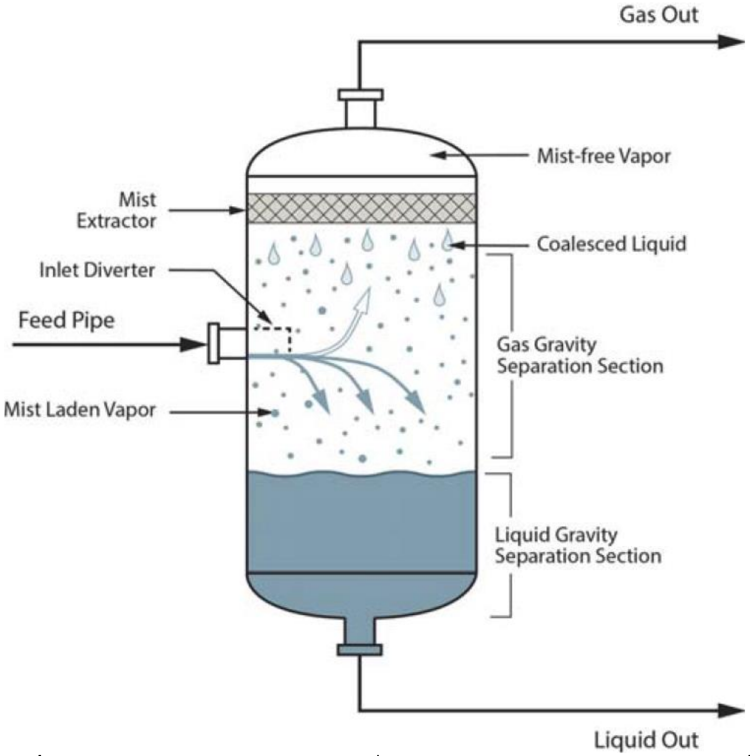
รูปที่ 9 Basket Strainer พร้อมติดตั้ง Automatic Air Vent Valve



รูปที่ 10 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศสำหรับอัตราการไหลไม่สูงมาก



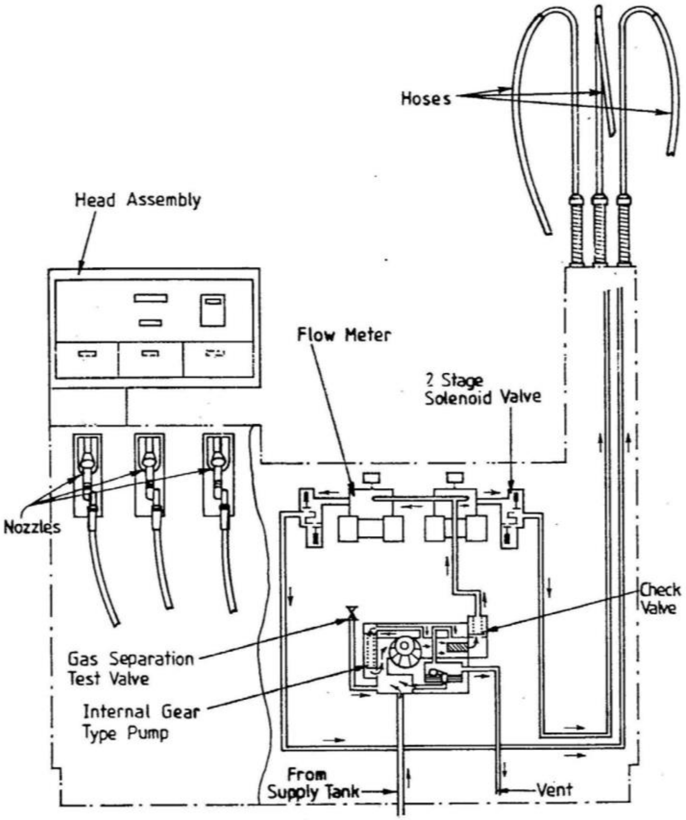
รูปที่ 11 เครื่องกำจัดไอหรืออากาศแบบแนวตั้ง ก๊าซมีระยะเวลาเพียงพอที่จะแยกตัวออกจากของเหลวก่อนลอยตัวขึ้นออกไปทางด้านบน ส่วนของเหลวจะรวมตัวกันเป็นหยดใหญ่ขึ้นแล้วตกลงมายังด้านล่าง



รูปที่ 12 หยดของเหลว (Droplets) ที่ผสมอยู่ในของไหล 2 สถานะในส่วนที่เหนือระดับของเหลวภายในเครื่องกำจัดไอหรืออากาศนอกจากมีระยะเวลาแยกตัวตกลงมา ด้านบนก็ยังติดตั้ง Mist Extractor อีกส่วนหนึ่งเพื่อดักหยดน้ำที่เล็กและไม่ได้รวมตัวกันเป็นหยดใหญ่จนมีน้ำหนักเพียงพอแล้วตกลงมา ดังนั้นเมื่อละอองของเหลวถูกดักไว้ในส่วนดังกล่าวจนละอองของเหลวรวมตัวเป็นหยดใหญ่เพียงพอก็จะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง

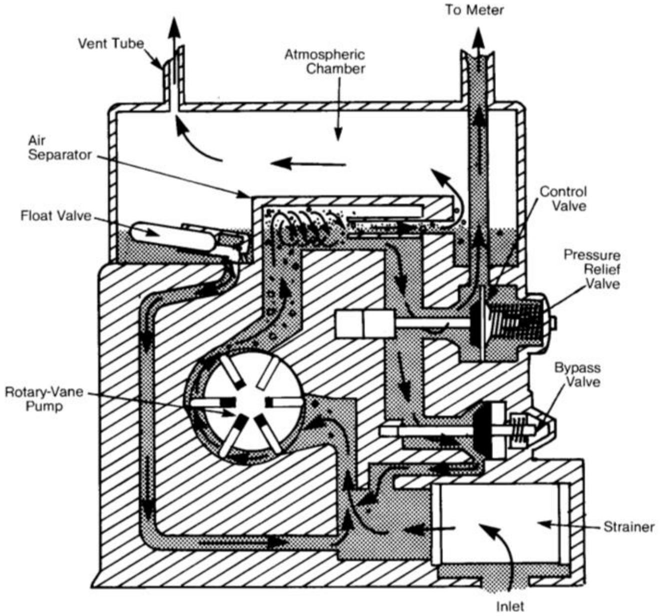
ในรูปที่ 9 เป็นการประยุกต์ใช้งานร่วมกันระหว่าง Strainer กับ Automatic Air Vent Valve เพื่อทดแทน Air/Gas Eliminator ซึ่งก็พอรับได้ครับแต่ได้เพียงชั่วคราวหรือช่วงอัตราการไหลช่วงหนึ่งน่ะเพราะหากของไหลมีอัตราการไหลสูงเกินค่าหนึ่งจะ

เกินขีดความสามารถการกำจัดไอของ Automatic Air Vent Valve ดังนั้นขณะปฏิบัติงานหากมีเสียงลมออกมากหรืออาจมีของเหลวออกมาหรือไม่เคยได้ยินเสียงลมออกมาเลยเพราะอัตราการไหลสูงมากจนของเหลวและไอไม่มีเวลาแยกตัวออกจากกัน ให้พิจารณายกเลิกการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วเลือกอุปกรณ์ที่ถูกตองเหมาะสมตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงฯ กำหนดไว้ หากสงสัยว่าจะตรวจสอบได้อย่างไรก็ไปอ่านใน OIML R 117-2 ดูน่ะครับ เดี๋ยวเนื้อหาจะยาวไป.......



รูปที่ 13 ตัวอย่างระบบการวัดปริมาตรของเหลวตู้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการซึ่งรวมเอาปั๊มและเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมารวมอยู่ด้วยกัน

รูปที่ 13 (-ต่อ-) ตัวอย่างระบบการวัดปริมาตรของเหลวตู้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการซึ่งรวมเอาปั๊มและเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมารวมอยู่ด้วยกัน



4. CUTAWAY OF TYPICAL SELF-CONTAINED PUMPING UNIT

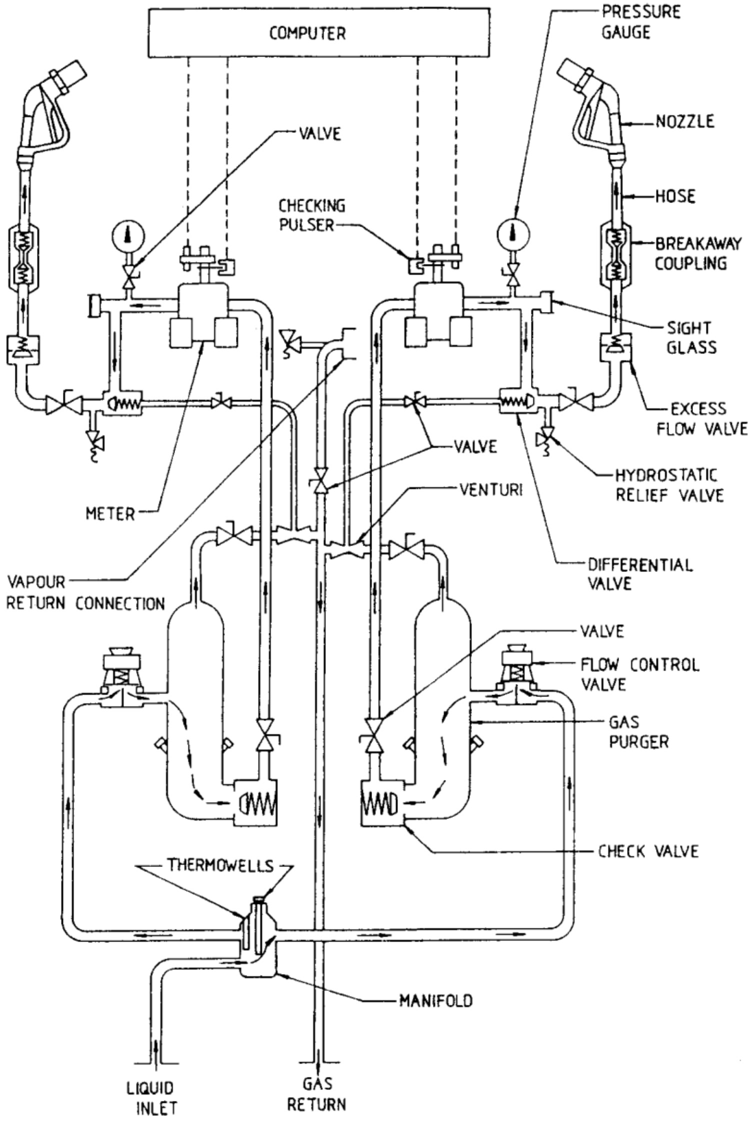
รูปที่ 14 ปั๊มและเครื่องกำจัดไอหรืออากาศมารวมอยู่ด้วยกันในตู้จ่ายมาตรวัดปริมาตรของเหลวในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อของเหลวไหลผ่านมาตรวัดปริมาตรของเหลวจะเกิดความดันสูญเสียตกคร่อมมาตรวัดปริมาตรของเหลว ส่วนจะมีค่าความดันสูญเสียตกคร่อมสูงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดและการออกแบบมาตรวัดฯ รุ่นนั้นๆ ส่งผลให้ความดันของเหลวด้านทางออกมาตรวัดฯ ซึ่งเราจะเรียกว่า “Back Pressure” มีความดันลดต่ำลงเมื่อเทียบกับความดันด้านทางเข้ามาตรวัดฯ หากความดันของเหลวด้านทางออกมาตรวัดฯ ลดต่ำจนมีค่าความดันต่ำกว่าความดันไอของของเหลวจะทำให้ของเหลวดังกล่าวกลายเป็นไอ (Cavitation) บริเวณด้านทางออกมาตรวัดฯ หรืออาจจะลามเข้าไปในตัวมาตรวัดฯ ก็ล้วนสร้างความเสียหายต่อตัวมาตรวัดและทำให้มาตรวัดฯให้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนมากยิ่งขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวในทางปฏิบัติมักจะดำเนินการแก้ไขปัญหา 3 รูปแบบ (เท่าที่ทราบ) คือ ประการแรก รักษาความดันทางเข้าให้สูงมากเพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าความดันด้านทางออกมาตรวัดปริมาตรของเหลวสูงกว่าความดันไอของของเหลว เช่นในกรณีของเหลวเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจะกำหนดให้ความดันด้านทางเข้าไม่ควรต่ำกว่า 3 barg เป็นต้น หรืออีกวิธีการหนึ่งกระทำโดยติดตั้ง Back Pressure Valve (ดูรูปที่ 15) อย่าสับสนกับ Control Valve น่ะเพราะ Control Valve ถูกออกแบบด้วยวัตถุประสงค์หลักที่ต่างกันแต่ผลพลอยได้ในบางมุมก็เสมือนทำหน้าที่เป็น Back Pressure Valve ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเป็นรายกรณีไป) ด้านทางออกมาตรวัดฯก็ทำหน้าที่รักษาความดันด้านทางออกจากมาตรวัดปริมาตรของเหลว (Back Pressure) ไม่ให้มีค่าต่ำกว่าความดันไอของเหลว นั้นคือจะยอมให้ของเหลวไหลผ่านไปได้ก็ต่อเมื่อมีความดันสูงกว่าค่าความดันที่ตั้งค่าไว้ เช่นในกรณีระบบการวัดปริมาตรของเหลว LPG (ดูรูปที่ 16 - รูปที่ 17) ค่าความดันของ Back Pressure Valve หรือ Differential Valve จะตั้งไว้ประมาณ 7 – 7.5 barg เป็นต้น เพื่อสร้างความมั่นใจว่าระบบการวัดปริมาตรของเหลวที่มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำงานอยู่นั้นทำหน้าที่วัดของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phase flow) ตามหน้าที่ที่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำงาน ไม่ใช่เป็นการวัดที่มี 2 สถานะ (2-Phase flow) คือของเหลวกับอากาศหรือไอของของเหลวที่ทำการวัด สำหรับรูปแบบการแก้ไขปัญหารูปแบบสุดท้ายคือทำทั้งวิธีการแรกและวิธีการที่สองรวมกันไปเลย ฮ่าๆๆๆๆ....

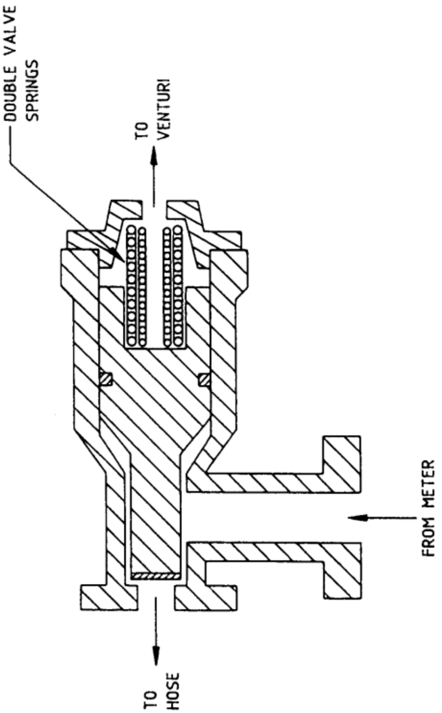
รูปที่ 15 Back Pressure Valve ด้านทางออกมาตรวัดฯเพื่อรักษาความดันด้านทางออกจากมาตรวัดปริมาตรของเหลว

หลักวิธีคิดเช่นนี้ก็สามารถนำไปใช้กับมาตรวัดปริมาตรน้ำได้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ในกรณีมาตรวัดก๊าซก็ใช้หลักวิธีคิดเช่นเดียวกันเพียงแต่ต้องออกแบบให้ในระบบการวัดนั้นให้ดึงของแข็งและของเหลวออกจากระบบการวัดฯแทนที่เอาของแข็งและก๊าซออกไปเช่นในกรณีรับบการวัดปริมาตรของเหลว เพราะฉนั้นงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) จึงกำหนดมาตรวัดปริมาตรของเหลวซึ่งกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงฯ ฉบับล่าสุดปี พ.ศ. 2562 ได้กำหนดชนิดและลักษณะ ตลอดจนขีดความสามารถในการชั่งตวงวัดได้เฉพาะสินค้าที่เป็น **“ของเหลวเพียงสถานะเดียว (Single Phase flow)”** เท่านั้น

มาถึงจุดสำคัญที่พลาดไม่ได้อย่างเด็ดขาดหากเราต้องเกี่ยวดองกับผลิตภัณฑ์ของเหลวปิโตรเลียมนั้นคือ ทุกกรณีต้องติดตั้ง**เครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลว**เสมอ (ดูรูปที่ 18) เนื่องจากในการคำนวณผลการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเมื่อทำการวัดปริมาตรของเหลวโดยเฉพาะของเหลว

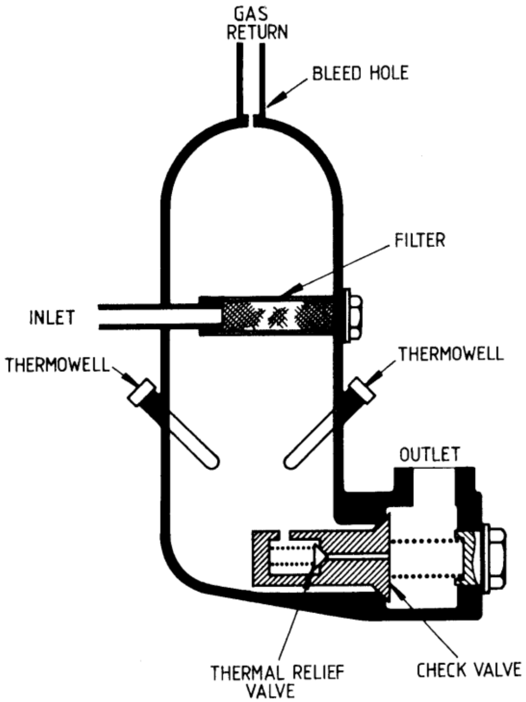


รูปที่ 16 ตัวอย่างระบบการวัดปริมาตรของเหลว LPG ที่มี Differential Valve ด้านทางออกมาตรวัดฯ

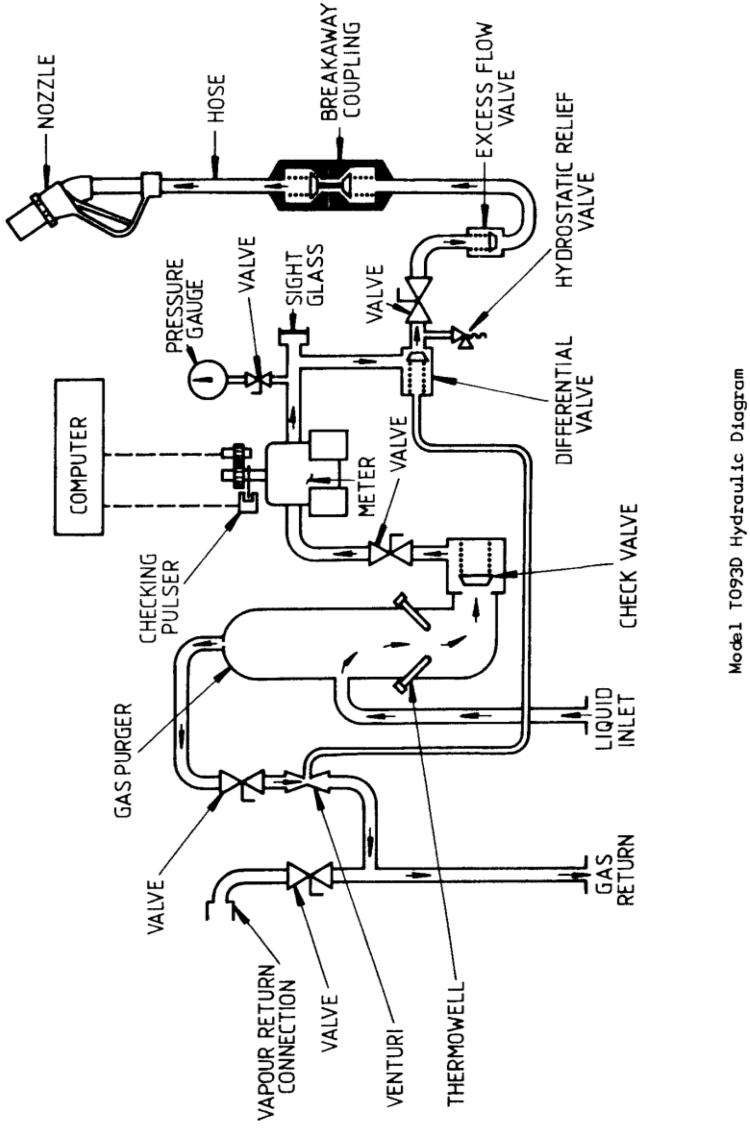


รูปที่ 17 Back Pressure Valve หรือ Differential Valve ด้านทางออกมาตรวัดก๊าซ LPG (สถานะของเหลว)

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเราต้องปรับค่าปริมาตรของเหลวที่วัดได้ด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่สภาวะประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลวไปยังปริมาตรของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C ความดันบรรยากาศ เป็นต้น ไม่ใช่ไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิและความดันประจำมาตรวัดปริมาตรของเหลวแล้วดันอุตตริไปใช้ค่าอุณหภูมิและความดันในตำแหน่งอื่นมาใช้ในการคำนวณเพื่อปรับปริมาตรที่วัดได้โดยมาตรวัดปริมาตรของเหลวไปยังค่าปริมาตรของของเหลวที่สภาวะอ้างอิง เช่น ที่ 30 °C และความดันบรรยากาศแทน ไอ้อย่างนี้มันมีนครับ มีนจริงๆครับกับสังคมผู้มีความรู้สูงๆๆๆ และในธุรกิจที่ขายของสินค้าที่มีราคาแพง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ....ครับ อย่าทำเลย....... หนูขอร้อง........



รูปที่ 18 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของเหลวในอุปกรณ์ Gas Eliminator ของระบบการวัดปริมาตรของเหลว LPG ใกล้กับมาตรวัดปริมาตรของเหลว LPG



รูปที่ 19 ตัวอย่างระบบการวัดปริมาตรของเหลว LPG ที่ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันบริเวณใกล้มาตรวัดฯ

รูปที่ 20 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบการวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile

รูปที่ 21 มาตรวัดปริมาตรของเหลวแบบ Mobile ที่ตัด Strainer ออกและไม่มี Air/Gas Eliminator

คุณภาพน้ำประปา... คุณภาพชีวิต...
คุณภาพวัสดุมาตรวัดปริมาตรน้ำ

จากเกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำประปาการประปานครหลวงและมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2011 เมื่อได้อ่านแล้วยอมรับเลยครับว่าสร้างความสบายใจ และยินดีต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนคนไทยในราชอาณาจักรไทย ดังนั้นสำนักงานกลางชั่งตวงวัดก็ไม่ละเลยเรื่องดังกล่าวด้วยเช่นกันโดยได้ระบุประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดชนิดและลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561 ใน

ข้อ 13 มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) มาตรวัดปริมาตรน้ำ............

(2) ....

(3) มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องทำจากวัสดุคงทนถาวรต่อการใช้งาน ไม่เกิดสนิมได้ง่าย ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเจือปนกับน้ำ และทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

(4) ....

เรากำหนดคุณภาพทางกายภาพของมาตรวัดปริมาตรน้ำได้ระดับหนึ่งเท่านี้เนื่องจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัดนั้นดูแลงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) เราไม่ได้ดูแลระดับอุตสาหกรรมการผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำแต่เราก็ตระหนักถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคประชาชนชาวไทยเราเลยกำหนดไว้ในแบบของเรา แบบที่เปิดโอกาสให้ผู้มีความรู้ความสามารถผู้เชี่ยวชาญเข้ามาทำหน้าที่มาชี้ว่าหรือผู้ผลิต ผู้นำเข้าเครื่องชั่งตวงวัดชนิดมาตรวัดปริมาตรน้ำทำการพิสูจน์เพราะเราถือว่าท่านรู้เรื่องดีที่สุดในสิ่งที่ท่านผลิต นำเข้าและขายเครื่องชั่งตวงวัดของท่าน โดยต้องสามารถพิสูจน์ได้ว่า

- มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องทำจากวัสดุคงทนและถาวรต่อการใช้งาน ไม่ใช่เอานิ้วสะกิดนิดสะกิดหน่อยแล้วตัวเรือนมาตรวัดปริมาตรน้ำ (Housing) ก็หลุดหลุยเป็นผงวัสดุตกลงมา อย่างนี้ไม่เอาน่ะ (ขอเวอร์นิดๆๆ) ในเทอมของความดันน้ำที่มาตรวัดปริมาตรน้ำทนทานได้เราก็มีการกำหนดในประกาศกระทรวงพาณิชย์ฉบับนี้ฯ เช่นกัน นอกจากนี้ในเทอมความคงทนถาวรอื่นๆที่ผู้บริโภคควรได้รับก็ว่ากันมาเถอะครับแล้วดูว่าผู้มีส่วนได้เสียเค้าจะว่ากันอย่างไร ประชาธิปไตย....
- มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องทำจากวัสดุที่ไม่เกิดสนิมได้ง่าย เพราะโดยทั่วไปแล้วมาตรวัดปริมาตรน้ำจะทำจากวัสดุที่เป็นจำพวกโลหะ ดังนั้นเมื่อครบองค์ประกอบ โลหะ น้ำ และออกซิเจน กระบวนการเกิดสนิมก็เริ่มก่อตัวสิครับ แต่ในกรณีที่ตัวเรือนมาตรวัดปริมาตรน้ำที่ทำจากวัสดุโพลิเมอร์พลาสติกนั้นอันที่จริงไม่ควรนำมาใช้งานในงานนี้ (เฉพาะในความเห็นผู้เขียนน่า...) แต่...ได้รับคำชี้แจงไม่แน่ใจว่ามันน่าเชื่อถือหรือมีน้ำหนักหรือเปล่าน่ะครับว่าการที่ต้องมีมาตรวัดปริมาตรน้ำที่เป็นตัวเรือนโพลิเมอร์พลาสติกเพราะนำไปใช้ทดแทนในพื้นที่ที่มีการขโมยมาตรวัดปริมาตรน้ำชุกชุมเพื่อเอาตัวเรือนไปขายเป็นเศษเหล็ก ทำไมถึงไม่เชื่อฝีมือโปลิสไทยแลนด์
- มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องทำจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเจือปนกับน้ำ เรื่องนี้มีผลต่อคุณภาพของน้ำประปาหรือคุณภาพน้ำที่ถูกเครื่องชั่งตวงวัดชนิดมาตรวัดปริมาตรน้ำนำไปวัดปริมาตรน้ำเพื่อทำการซื้อขาย แลกเปลี่ยน หรือคิดค่าธรรมเนียมภาษีอากร หรือในภาครวมคือการค้า (Trading) ซึ่งครอบคลุมการค้าสินค้า และการค้าบริการ ดังนั้นหากนำไปใช้วัดปริมาตรน้ำประปามาตรวัดปริมาตรน้ำต้องไม่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำประปาตามเกณฑ์ที่การประปานครหลวง (กปน.) และการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ประกาศไว้ผิดเพี้ยนเบี่ยงเบนไปจากมาตรฐานฯ แต่หากคุณภาพน้ำประปามีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ที่ประกาศ ก็ต้องพิสูจน์ว่าไม่ใช่สาเหตุมาจากมาตรวัดน้ำประปา...น่ะครับ ทั้งนี้ก็เพราะมาตรวัดปริมาตรน้ำซึ่งติดตั้งในระบบท่อน้ำประปาตัวมาตรวัดฯ เองสัมผัสกับน้ำประปาตลอดเวลาสิครับ
- มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องทำจากวัสดุทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตาม

ประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ ฉบับนี้....ครับข้อความมีนัยมันถูกแฝงนัยอยู่ในข้อที่ 18 ของประกาศกระทรวงพาณิชย์เรื่องกำหนดชนิดและลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561 ว่าอย่างน้อยต้องสามารถใช้งานกับน้ำได้ในช่วงอุณหภูมิน้ำ 0.1 °C – 50 °C หากมีอุณหภูมินอกเหนือไปจากขอบเขตอุณหภูมิที่ระบุอันนี้ไม่ใช่เรา (มาตรวัดปริมาตรน้ำเป็นเครื่องชั่งตวงวัดและอยู่ภายใต้บังคับใช้ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม)

ประเด็นที่เราจะพูดคุยในบทความนี้จึงขอตีกรอบไว้ที่**วัสดุที่ใช้ผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำ** ส่วนจะลงลึกแค่ไหนก็ค่อยๆ คลานกันไปครับเพราะงานนี้เป็นเรื่อง Material Science ครับ ตัวเองก็อ่านมาและรู้ไม่เยอะแต่จะพยายามส่งสารความรู้เท่าที่ทำได้น่ะ ถ้าใครอ่านมาหลายๆบทความท่านจะรู้ว่างานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายเป็นเรื่องของสหวิชาชีพจริงๆ ครับ

เนื่องจากสังคมโลกของประเทศที่พัฒนาแล้วสนใจในคุณภาพของชีวิตประชากรของตนเองให้สามารถเข้าถึงน้ำกินน้ำใช้ที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะน้ำดื่มได้กำหนดคุณภาพสูงมากขึ้น ให้สารปนเปื้อนต้องมีค่าน้อยลงโดยเฉพาะตะกั่ว (Lead) ที่เป็นโลหะที่มีผลต่อสุขภาพต่อคนอย่างชัดเจน ถ้าใครนึกย้อนเวลากลับไปในเรื่องน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ก็อาจจะนึกได้ว่าเดิมทีน้ำมันเบนซิลจะผสมสารตะกั่วเพื่อประโยชน์ในการหล่อลื่นและรักษาลิ้นวาล์วของเครื่องยนต์ จากนั้นมีการรณรงค์ให้ใช้น้ำมันเบนซิลปลอดสารตะกั่วซึ่งใช้กันมาพักหนึ่งจากนั้นก็ประสบปัญหาเรื่องราคาน้ำมันเชื้อเพลิงยังสูงอยู่เลยต้องมีการล้ำเส้นมาทางด้านอาหารโดยเอาแอลกอฮอล์มาผสมกับน้ำมันเบนซิลเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังนับไม่รวมผลงานวิชาการทางการแพทย์ที่ชี้มายังตะกั่ว (Lead) ว่ามีผลต่อสุขภาพอีกหลายๆมิติ....สรุปตะกั่ว (Lead) คือผู้ร้ายครับ ดังนั้นเราต้องไม่ยอมหรือยอมให้สารตะกั่วปริมาณน้อยสุดเท่าที่ทำได้เข้าสู่ร่างกายเรา หน่วยงานระดับโลกอย่าง World Health Organization (WHO) จึงกำหนดให้คุณภาพน้ำประปามีตะกั่วไม่เกิน 0.01 mg/l (ดูรูป

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค
ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2011

รายการ (Parameter)	หน่วย (Units)	มาตรฐาน คุณภาพน้ำประปา
1. คุณลักษณะทางกายภาพ		
สีปรากฏ (Apperancecolour)	Pt-Co Unit	15
รสและกลิ่น(Taste and odour)	-	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	4
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5 - 8.5
2.คุณลักษณะทางเคมี		
ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	600
เหล็ก (Iron)	mg/l	0.3
แมงกานีส(Manganese)	mg/l	0.3
ทองแดง (Copper)	mg/l	2.0
สังกะสี (Zinc)	mg/l	3.0
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as $CaCO_3$)	mg/l	300
ซัลเฟต(Sulfate)	mg/l	250
คลอไรด์(Chloride)	mg/l	250
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	0.7
ไนเตรทในรูปไนเตรท(Nitrate as NO_3)	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์(Nitrite as NO_2)	mg/l	3
3.คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา		
โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด(Total Coliform bacteria)	ต่อ100ml	ไม่พบ
อีโคไล (*E.coli*)	ต่อ100ml	ไม่พบ
สแตฟฟิลโลค็อกคัส ออเรียส(*Staphylococcusaureus*)	ต่อ100ml	ไม่พบ
แซลโมเนลลา (*Salmonella*spp.)	ต่อ100ml	ไม่พบ
คลอสทริเดียมเพอร์ฟริงเจนส์(*Clostridium perfringens*)	ต่อ100ml	ไม่พบ
4.สารเป็นพิษ		
ปรอท (Inorganic mercury)	mg/l	0.001
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
ซีลีเนียม(Selenium)	mg/l	0.01
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
แบเรียม (Barium)	mg/l	0.7
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.07

รูปที่ 1 คุณภาพน้ำประปาของการกระปาส่วนภูมิภาค (กปค.)

ตารางที่ 2 สารที่เป็นพิษ
(ข้อ 4.4)

ลำดับที่	รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	วิธีวิเคราะห์*
1	ปรอท	0.001	ข้อ 3112B
2	ตะกั่ว	0.01	ข้อ 3113B
3	สารหนู	0.01	ข้อ 3113B
4	ซีลีเนียม	0.01	ข้อ 3113B
5	โครเมียม	0.05	ข้อ 3113B
6	ไซยาไนด์	0.07	ข้อ 4500-CN^- F
7	แคดเมียม	0.003	ข้อ 3113B
8	แบเรียม	0.7	ข้อ 3113B

หมายเหตุ ** หมายถึง Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998*

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำประปาของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มอก. 257-2549

ที่ 1) รวมทั้งกำหนดจำกัดปริมาณสารพิษต่อร่างกายมนุษย์อีกหลายรายการ นอกจากนี้เรายังมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มอก. 257-2549 กำหนดคุณภาพน้ำบริโภคด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะตะกั่ว (ดูตารางที่ 1)

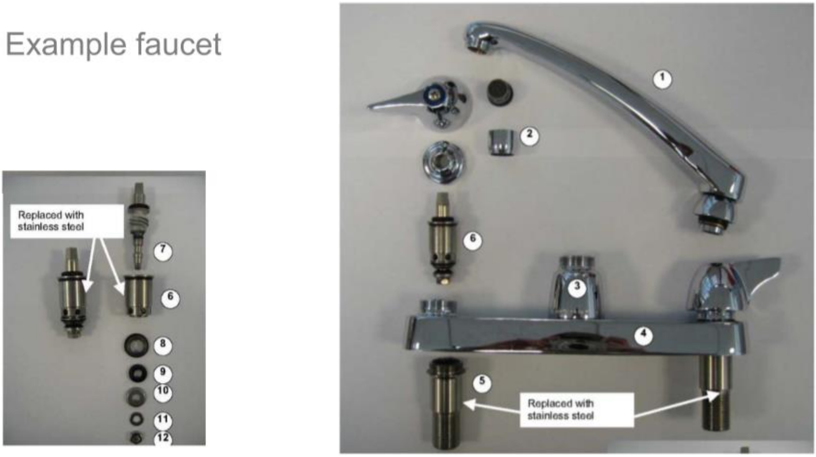
จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดใบพัด มอก. 1021-2534 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดลูกสูบ มอก. 1271-2538 ได้กำหนดให้ใช้วัสดุ **ทองบอรนซ์ ทองเหลืองแท่งตีขึ้นรูป เหล็กกล้าไร้สนิม** และ**วัสดุสังเคราะห์**ซึ่งเข้าใจว่าเป็นพวกโพลีเมอร์พลาสติก ดังนั้นรายละเอียดการกำหนดชนิดวัสดุในวันดังกล่าวซึ่งทันสมัยในวันนั้น แต่ในวันนี้มีความรู้สะสมมีการพัฒนาการทางเทคโนโลยี คุณภาพชีวิตสูงขึ้น มีนวัตกรรมทางวัสดุศาสตร์เพิ่มมากขึ้น เราก็จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงปรับปรุงและปรับใช้ความรู้ให้เหมาะสมกับประชาชนของเราซึ่งนั้นก็ต้องคำนึงในหลายมิติ การมองพลวัตรภายนอกประเทศจึงละเลยไม่ได้

ในประเทศที่เจริญแล้ว ไม่ทราบจะเป็นเหตุผลที่ต้องการประกันและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนของตนเองหรือจะเป็นเทคนิคการกีดกันทางการค้าเพื่อไม่ให้ผิดกฎ WTO หรือจะด้วยเหตุผลใดสุดจะคาดเดา แต่ที่แน่ๆ สหรัฐอเมริกาและประเทศแคนนาดาได้ออกกฎระเบียบโดยได้กำหนดให้วัสดุอุปกรณ์ที่สัมผัสหรือใช้กับน้ำดื่มนั้นต้องได้รับการผ่านมาตรฐาน **NSF/ANSI 61-2016 Drinking Water System Components-Health Effects** เพื่อทดสอบการปนเปื้อนของสารตะกั่วที่หลุดเข้าไปในระบบน้ำดื่มว่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ได้ และผ่านมาตรฐาน **NSF 372-2016 Drinking Water System Components - Lead Content** เพื่อแสดงให้เห็นถึงวัสดุอุปกรณ์ดังกล่าวเมื่อสัมผัสกับน้ำดื่มแล้วต้องไม่มีสารปนเปื้อนตะกั่วเกิน 0.25% เป็นต้น ข้อมูลประดับหัวว่า "NFS International Standard" เดิมชื่อ "National Sanitation Foundation"

รูปที่ 2 วิเคราะห์สารปนเปื้อนที่ออกมาจากวัสดุอุปกรณ์ในน้ำ; NSF/ANSI 61-2016

รูปที่ 3 Material dissolution and lead content by ICP-MS; NSF 372-2016

รูปที่ 4 ให้วัสดุอุปกรณ์สัมผัสกับน้ำโดยตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดจากนั้นค่อยนำน้ำดังกล่าวไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนที่ออกมาจากวัสดุอุปกรณ์ดังกล่าว; NSF/ANSI 61-2016



Component No.	Wetted surface area[1] (total = 61.94 in^2)	% wetted surface area (total = 100%)	% lead content	Contributing % lead
1	17.31	27.95	0.05	0.01
2	1.15	1.85	2.86	0.05
3	4.99	8.05	0.23	0.02
4	18.25	29.46	0.05	0.01
5	11.14	17.98	0	0.00
6	4.02	6.49	0	0.00
7	1.09	1.75	1.30	0.02
8	0.54	0.87	0	0.00
9	0.91	1.48	2.54	0.04
10	0.76	1.23	0	0.00
11	1.02	1.64	2.54	0.04
12	0.35	0.56	2.54	0.01
13	0.43	0.69	2.54	0.02
		Weighted average lead content =		**0.23%** (in compliance)

รูปที่ 5 การวิเคราะห์น้ำหนักของสารปนเปื้อนที่ออกมาจากวัสดุอุปกรณ์เมื่อสัมผัสกับน้ำดื่มแล้วต้องไม่มีสารปนเปื้อนตะกั่วเกิน 0.25%; NSF 372-2016

หากมองไปยังทางด้านกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (European Union; E.U.) ได้มีกฎหมายตัวหนึ่งเพื่อดูแลคุณภาพของน้ำดื่มของกลุ่มประเทศทั้งหมดเรียกว่า European Drinking Water Directive (DWD) ซึ่งครอบคลุมในหลายมิติของสารปนเปื้อนในน้ำดื่มคือทั้งเรื่อง Microorganisms (จุลินทรีย์ คือ สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมากๆ เช่น แบคทีเรีย รา ยีสต์ โปรโตซัว เป็นต้น) , Chemicals (สารปนเปื้อนเคมี) และ Metallic Elements (สารปนเปื้อนโลหะ) เป็นต้น แต่การดำเนินการดังกล่าวภายใน EU เองยังมีปัญหาอุสรรค ดังนั้นในปี ค.ศ. 2006 มี 4 ประเทศบอกว่าผมไม่รอท่านแล้ว เราขอเป็นหน่วยล่วงหน้า หน่วยแมวเซา จึงได้จับมือเพื่อนำร่องการดำเนินการยกระดับคุณภาพน้ำดื่มทั้งระบบเรียกตัวเองว่า **"4MS"** ประกอบด้วยประเทศ France, Germany, Netherlands และ United Kingdom ในปี ค.ศ. 2018 ประเทศ Denmark ได้เข้าร่วมด้วยอีกประเทศหนึ่ง จากนั้นแบ่งงานกันทำโดยแยกตามชนิดวัสดุที่ใช้ในระบบน้ำดื่ม โดย France รับผิดชอบวัสดุพวก Cementitious

"US" = United States; "USA" = United States of America; "C" = Canada; "CA" = Canada

Certification Body	Certification Mark(s)	Remarks & Required Identifier Text
CSA Group	LLC; Low Lead Content; NSF/ANSI 372; Drinking Water NSF/ANSI 61-G	**(1)** Based on the intended product market, the marks may be accompanied by a "C" & "US" or just a "US". **(2)** Text indicating certification to at least one of the lead-free certification identifiers (listed in blue below table) must accompany the marks.
ICC Evaluation Services (ICC-ES), LLC	ICC ES PMG LOW LEAD	Text indicating certification to a lead-free certification identifier (listed in blue below table) may be included next to the mark, but is not required.
International Association of Plumbing and Mechanical Officials Research & Testing (IAPMO R&T)	UPC®; IAPMO R&T™; UPC®	**(1)** Based on the intended product market, the UPC shield and logo marks may be accompanied by a "C". **(2)** Text indicating certification to at least one of the lead-free certification identifiers (listed in blue below table) or the term "Low-Lead" must accompany the marks.
Intertek Testing Services NA, Inc.	Intertek; Intertek	**(1)** Marks can be black or reversed in white. **(2)** Based on the intended product market, the marks may be accompanied by a "C"or a "US" or both. **(3)** Text indicating certification to at least one of the lead-free certification identifiers (listed in blue below table) must accompany the marks.
NSF International (NSF)	NSF; NSF-61-G; NSF-372; NSF pw-G	**(1)** Marks can be blue, white, or black. **(2)** Based on the intended product market, the marks may be accompanied by a "C" & "US" or just a "C". **(3)** Text indicating certification to an NSF/ANSI Standard (listed in blue below table) must accompany circular marks. **(4)** Standard 61 circular and text marks may alternately include "**61/9-G**".
Truesdail Laboratories, LLC		Text indicating certification to at least one of the lead-free certification identifiers (listed in blue below table) must accompany the mark.
Underwriters Laboratories (UL), LLC	UL CERTIFIED HEALTH EFFECTS US-CA File No.; UL; UND. LAB. CLASSIFIED; UND. LAB. CLFD	**(1)** Based on the intended product market, the marks may be accompanied by a "C", "CA", "US", "C" & US", or "CA" & "US". **(2)** Text indicating certification to an NSF/ANSI Standard (listed in blue below table) must accompany all the marks. **(3)** The File No. is a unique identification for a product used to search the UL online certification directory.
Water Quality Association (WQA)	WQA; NSF/ANSI 372 by WQA	**(1)** The marks can be either gold or black and white. **(2)** Based on the intended product market, the Marks may be accompanied by a "C" & "USA" or just a "C". **(3)** Text indicating certification to an NSF/ANSI Standard (listed in blue below the table) must accompany the marks.

Lead-Free Certification Identifiers *(Varies between certification bodies. See the remarks column of table for clarification)*

รูปที่ 6 หน่วยงานที่เป็น ANSI-accredited third-party

Material, Germany รับผิดชอบวัสดุพวก Metallic Material, Netherlands รับผิดชอบในด้านพวก Organic และสุดท้าย United Kingdom รับผิดชอบวัสดุอื่นๆที่นอกเหนือจากที่ได้แบ่งงานไป ประเทศอังกฤษคงบอกว่าผมเจ๋ง รับได้ทุกเรื่อง (แต่ยังไม่เห็นมีเอกสารแสดงผลงานเลยในวันนี้...) ทั้งนี้เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำดื่มที่ต้องการตามรูปที่ 9 สำหรับหน่วยงานของแต่ละประเทศใน 4MS ที่เกี่ยวข้องได้แก่

- Department for Environment, Food and Rural Affairs (United Kingdom)

- Bundesministerium fùr Gesundheit (Germany)
- Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé (France)
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Netherlands)

EU Member State	4MSI Full Member: joining date	4MSI Candidate Member
France	2011 (Initiator)	
Germany	2011 (Initiator)	
Netherlands	2011 (Initiator)	
United Kingdom	2011 (Initiator)	
Denmark	2018	
Portugal		X

ตารางที่ 2 การรวมกลุ่มของ 4MS

หลังจากแบ่งงานกันดำเนินการผลงานที่ออกมาของประเทศสหพันธ์รัฐเยอรมัน (Germany) ซึ่งรับผิดชอบวัสดุพวก Metallic Material ได้ออกรายงาน

1. 'Procedure for the acceptance of metallic materials for products in contact with drinking water', **Part A, 'Procedure for the acceptance'**, 4MS Joint Management Committee, 2nd Revision, March 7, 2016.
2. 'Procedure for the acceptance of metallic materials for products in contact with drinking water', **Part B, '4MS Common Composition List'**, 4MS Joint Management Committee, 11th Revision, March 5, 2019.

ผลงานที่ออกมาของประเทศ France ซึ่งรับผิดชอบวัสดุพวก Cementitious Material ได้ออกรายงาน

1. Assessment of Cementitious Products in Contact with Drinking Water, Draft Sep 2018
2. Cementitious Products in Contact with Drinking Water, Admixture Positive list, 4MS Common Approach: 1st Revision:, 24th November 2016

Part 1 –Transitional Admixture Constituents

Part 2 – Admixture Constituents under consideration

ผลงานที่ออกมาของประเทศ Netherlands ซึ่งรับผิดชอบวัสดุพวก Organic Materials ได้ออกรายงาน

1. Positive List for Organic Materials, 4MS Common Approach

Part A – Compilation and management of the Positive List (PL) for organic materials

Part B – Assessment of products for compliance with Positive List requirements

Adopted by the 4MS Joint Management Committee, 1st Revision:,02.03.2016

2. POSITIVE LISTS for ORGANIC MATERIALS Used in Products in contact with Drinking Water, Original: 9 May 2017, Rev 2 (lists only): 13 September 2019

3. TON and TOC requirements, 4MS Common Approach:, Tests of products made of organic materials, 23rd May 2018

ในกรณีของวัสดุพวกโลหะ (Metallic Material) ที่ใช้กับอุปกรณ์ที่สัมผัสน้ำดื่มโดยตรงเพื่อป้องกันสารปนเปื้อนจากโลหะที่ใช้ทำเครื่องมืออุปกรณ์ในระบบน้ำกลุ่มประเทศ 4MS จึงกำหนดแนวปฏิบัติเพื่อจะได้ทำเป็นกฎระเบียบต่อไปแต่ก่อนจะไปถึงตรงนี้นเราจึงขอปูพื้นคอนกรีตเล็กๆ น้อยๆ เพื่อจะเข้าใจต่อไปถึงกลุ่มพวกโลหะโดยจะให้ความสนใจโลหะทองแดง (Copper) และโลหะทองแดงเจือ (Copper Alloy) เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วมักเป็นโลหะที่ใช้ในมาตรวัดปริมาตรน้ำนั้นจะอยู่ในกลุ่มโลหะพวกนี้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนโลหะ Stainless Steel นั้นกลุ่ม 4MS ยอมให้ใช้อยู่แล้วเลยเว้นไว้ก่อนในวันนี้

เมื่อเราพูดคุยถึงโลหะโดยเฉพาะโลหะที่ใช้กับระบบน้ำดื่มนั้นคือโลหะทองแดงและโลหะทองแดงเจือ เราก็ควรมาทำความรู้จักเล็กๆน้อยๆ ถึงคุณสมบัติ

Table 2: Acceptable contributions and reference concentrations for acceptance of metallic constituents of metallic PDW

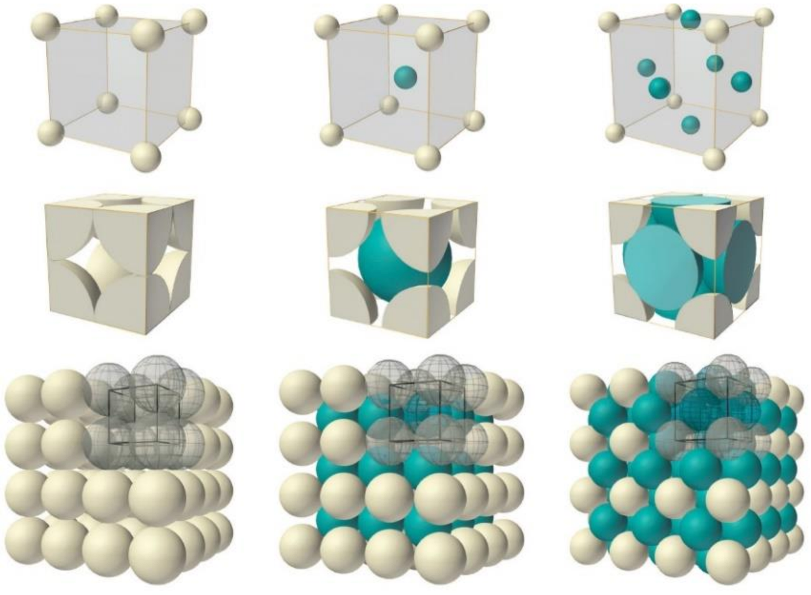
Parameter	Acceptable contribution from metallic PDW	DWD parametric value or reference value in DW (μg/l)	Reference concentration "RC" for Acceptance Scheme (μg/l)
Part B: Chemical parameters			
Antimony	50%	5	2.5
Arsenic	50%	10	5
Chromium	50%	50	25
Cadmium	50%	5	2.5
Copper	90%	2000	1800
Lead	50%	10	5
Nickel	50%	20	10
Selenium	50%	10	5
Part C: Indicator parameters			
Aluminium	50%	200	100
Iron	50%	200	100
Manganese	50%	50	25
Others: not listed in DWD			
Bismuth	90%	10	9
Molybdenum	50%	20	10
Tin	50%	6000	3000
Titanium	50%	15	7.5
Zinc	90%	3000	2700

ตารางที่ 3 เกณฑ์ยอมรับโลหะปนเปื้อนน้ำดื่มจากวัสดุที่ใช้ในระบบน้ำดื่มของ 4MS

ของมัน มาตรฐานการเรียกขาน องค์ประกอบทางเคมี หรือเท่าที่ควรรู้ระดับหนึ่งและหากไม่สมดั่งใจก็ให้ไปศึกษาหาเพิ่มเติมต่อยอดกันต่อไป

ทองแดง (Copper) เป็นโลหะที่ถูกค้นพบและนำมาใช้ประโยชน์มากในยุคสมัยหนึ่งจนถึงปัจจุบัน ถือว่าใช้กันมานานน่ะจ๊ะ จิกตังเมีย โป้ง... โลหะทองแดงมีคุณสมบัติเด่นหลายประการโดยเฉพาะ

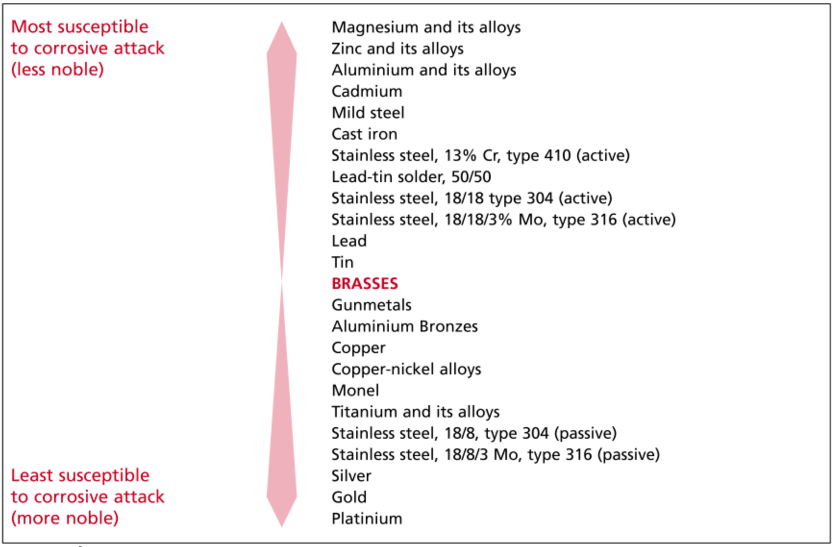
- ทองแดงที่มีสีเหลือง-แดงเป็นสุดยอดวัสดุที่มีความเหนียว (Extremely Ductile) ที่มีโครงสร้างผลึก (Crystal Structure) รู้จักในนาม ลูกบาศก์แบบเฟซเซ็นเตอร์ (Face-Center-Cubic หรือ FCC) (ดูรูปที่ 7)
- คุณสมบัติการนำไฟฟ้า ทองแดงมีค่าสื่อนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ที่ 97% ดีที่สุดเป็นอันดับสองรองจากโลหะเงิน (Silver) เราจึงมักพบในวงจรไฟฟ้าและสายไฟ ตอนเด็กๆหลายคนอาจหารายได้พิเศษจากการเผาสายไฟฟ้าเก่าๆ เพื่อเอาทองแดงไปขายแลกกับเงินเพื่อไว้ซื้อของตามอัธยาศัย
- คุณสมบัติการนำความร้อนที่สูง ทองแดงมีค่าสื่อนำความร้อน (Thermal Conductivity) ที่สูงมากใกล้เคียง เงิน และทองคำ (Gold) เราจึงเห็นเครื่องครัวที่ทำจากทองแดงในปราสาทราชวังในภูมิประเทศต่างๆภายในโลกใบนี้ในยุคสมัยหนึ่ง



รูปที่ 7 โครงสร้างผลึกลูกบาศก์แบบเฟซเซ็นเตอร์ (Face-Center-Cubic หรือ FCC)

นอกจากนี้ทองแดงยังมีความต้านทานการกัดกร่อนและการสึกกร่อน มีความสามารถในการขึ้นรูปและความเหนียวสูงจึงสามารถแปรรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ง่ายไม่เสี่ยงต่อการแตกหักเสียหายอีกทั้งยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทองแดงให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานในแต่ละความต้องได้โดยการเติมธาตุโลหะอื่นๆผสมเข้าไป เช่น สังกะสี นิกเกิล เบอร์รีเลียม เป็นต้น ก็จะทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมีความต้านทานต่อความล้าสูงขึ้น สามารถนำไปใช้งานประเภทต่างๆได้กว้างขวางมากขึ้น โลหะทองแดงและโลหะทองแดงเจือจึงเป็นวัสดุทางวิศวกรรมและมีคุณสมบัติที่ทำให้ทองแดงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้หลากหลายประเภท คือ ความแข็งแกร่ง, สภาพการเป็นตัวนำ, ความต้านทานการกัดกร่อน, การแปรรูป และความอ่อน เป็นต้น

Corrosion Susceptibility of Metals



รูปที่ 8 เปรียบเทียบขีดความสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของระหว่างโลหะชนิดต่างๆ

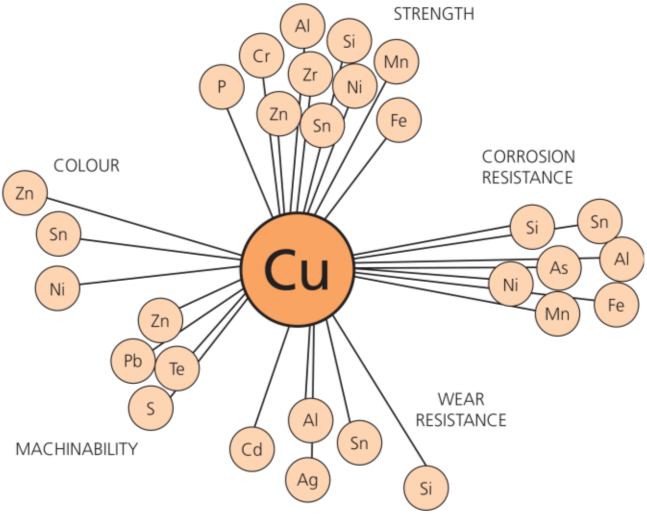
ปัจจุบันมีทองแดงเจือ หรือทองแดงผสมอัลลอยเกือบ 400 ชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น เส้น (Rods), แผ่นหนา/บาง/เส้น (Plates/Sheets/Strips),

ท่อหนา/บาง (Tubes/Pipes), ชนิดที่ผ่านกระบวนการรีดอัด (Extrusions) แผ่นฟอยล์ (Foils) ชนิดที่ผ่านกระบวนการทุบขณะร้อน (Forgings) แบบเส้นลวด (Wires) และการหล่อ (Casting) จากโรงงานหล่อโลหะต่างๆ

TABLE 3: Physical Properties of Copper

PROPERTY	ENGLISH VALUE	ENGLISH UNITS	METRIC VALUE	METRIC UNITS
Atomic Number			29	
Atomic Weight			63.54	
Density	0.322	lb/in³	8.92	g/cm³
Melting Point	1981	°F	1083	°C
Boiling Point	4703	°F	2595	°C
Latent Heat of Fusion	88	Btu/lb	205	J/g
Linear Coefficient of Thermal Expansion at: 77°F - 212°F (25°C - 100°C)	9.33×10^{-6}	in/in°F	16.8×10^{-6}	cm/cm°C
Specific Heat (Thermal Capacity) at: 68°F (20°C) 212°F (100°C)	0.0921 0.0939	Btu/lb °F Btu/lb °F	0.386 0.393	J/g°C J/g°C
Thermal Conductivity at: 68°F (20°C) 212°F (100°C)	227 223	Btu ft/ft²hr °F Btu ft/ft²hr °F	3.94 3.85	Wcm/cm² °C Wcm/cm² °C
Electrical Conductivity (Volume) at: 68°F (20°C) Annealed 68°F (20°C) Fully Cold Worked	100 - 101.5 97.0	%IACS %IACS	58.0 - 58.9 56.3	MS/m(mΩmm2) MS/m(mΩmm2)
Electrical Resistivity (Volume) at: 68°F (20°C) Annealed 68°F (20°C) Fully Cold Worked	0.6788 - 0.669 0.700	µΩ·in µΩ·in	1.7241 - 1.70 1.78	µΩ·cm µΩ·cm
Modulus of Elasticity (Tension) at: 68°F (20°C) Annealed	17×10^{3}	Ksi	118,000	MPa
Modulus of Rigidity (Torsion) at: 20°C: 68°F (20°C) Annealed	6.4×10^{3}	Ksi	44,000	MPa

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทองแดง

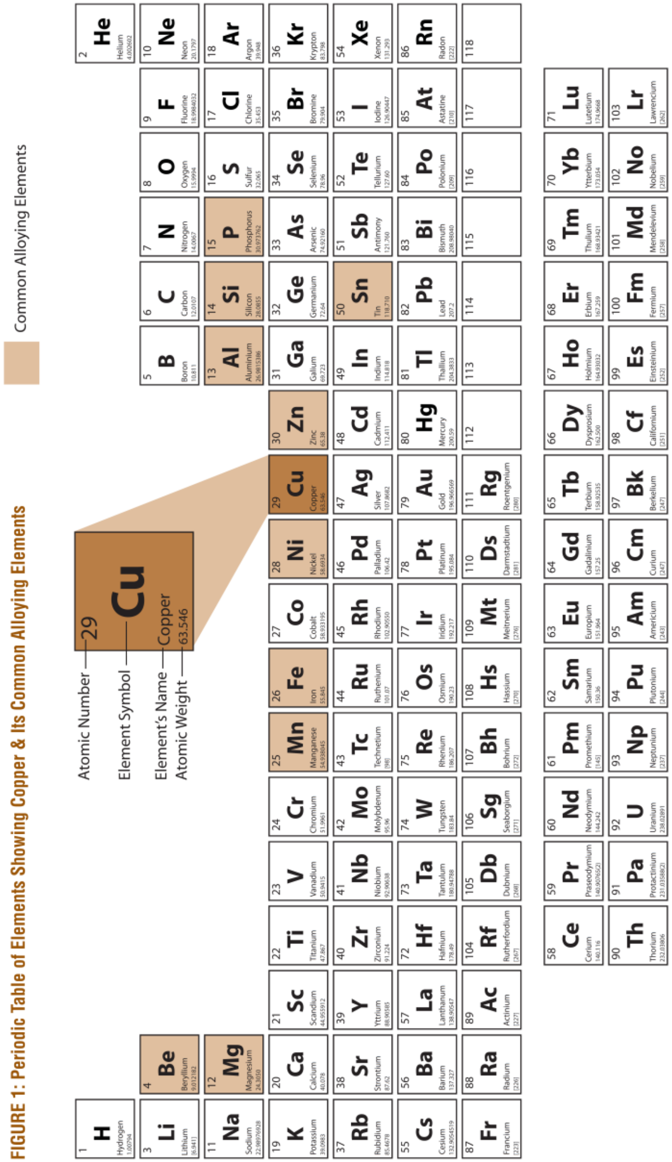


รูปที่ 9 ทองแดงเจือโลหะ/สารอื่นๆ เช่น Zn, Al, Ni, Si, Pb เป็นต้น

โลหะทองแดงและทองแดงเจือ (Coppers and Copper Alloys) เมื่อดูเอกสารจากหลายแหล่งตัวเองเริ่มสับสนว่าจะเรียกชื่ออย่างไรดีระหว่าง “อัลลอย” กับ “โลหะเจือ” เพราะในส่วนตัวชอบทั้ง 2 ชื่อ ตัวอย่างเช่น “Copper-Zinc-Lead Alloys” ถ้าแปลก็อยากแปลว่า “ทองแดงผสมอัลลอยสังกะสีและตะกั่ว” หรือ “ทองแดงเจือสังกะสีและตะกั่ว” แต่พิจารณาดูแล้วคำหลังน่าจะเท่ห์กว่า “เจือ”

นอกจากนี้โลหะทองแดงและทองแดงเจือ (Coppers and Copper Alloys) เองก็แบ่งตามประเภทการจัดสร้างถ้าเป็น “การขึ้นรูป” หรือ “Wrought” ก็สร้างขึ้นรูปจากการ “ตีขึ้นรูป (Forging)”, “รีดอัดขึ้นรูป (Extrusion)”, ม้วนขึ้นรูป (Rolling)” อีกประเภทคือ “การหล่อ” หรือ “Cast” ดังนั้นหากเจอศัพท์คำใดก็ให้นำมาผสมกันให้ครบก็แล้วกันเพื่อสื่อความหมายให้ได้ ส่วนจะถูกจะผิดก็รอข้อมูลใหม่จากผู้รู้จริงๆ ท่านเมตตามาสอนก็แล้วกัน

เนื่องจากศาสตร์ทางด้านโลหะวิทยาได้ก้าวหน้าทำให้การผสมเล่นแร่แปรธาตุหรือคิดค้นโลหะใหม่ๆให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการเพื่อไปแก้โจทย์ปัญหาชีวิต



รูปที่ 10 ทองแดงเจือโลหะ/สารอื่นๆ ที่พบบ่อยในตารางธาตุ

ของแต่ละบริษัทฯ หน่วยงาน หรือ ฯลฯ ทำให้การสื่อสารหรือการสั่งให้ผลิตโลหะเจือในแต่ละชนิดแต่ละประเภทถูกต้องตามที่ต้องการก็กำเนิดมาตรฐานการเรียกชื่อโลหะเจือหรือ Alloys แต่ละประเภทเช่นในสหรัฐอเมริการมีมาตรฐาน UNS แน่ละในแต่ละประเทศอื่นเค้าก็มีมาตรฐานในการเรียกขานชื่อและก็อาจมีรหัสเรียกขานโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกันไป แต่ในที่นี้เราใช้ UNS ไปพลางก่อนแล้วค่อนหามาตรฐานเทียบเบอร์รหัสกันต่อไป การเรียกขานโลหะทองแดงและทองแดงเจือ (Coppers and Copper Alloys) มีรหัสครอบคลุมตั้งแต่ UNS C1XXXX -C9XXXX (ดูตารางที่ 5) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ **ทองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought Copper Alloys) กับ ทองแดงเจือหล่อ (Cast Copper Alloys)**

รูปที่ 11 การแบ่งประเภทโลหะทองแดงและทองแดงเจือหรือทองแดงอัลลอยตาม Copper Development Association; CDA

Table 1 Generic classification of coppers and copper alloys

Generic name	UNS No.	Composition
Wrought alloys		
Coppers(a)	C10100–C15815	>99% Cu
High-copper alloys(b)	C16200–C19900	>96% Cu
Brasses	C20100–C28000	Cu-Zn
Leaded brasses	C31200–C38500	Cu-Zn-Pb
Tin brasses	C40400–C48600	Cu-Zn-Sn-Pb
Phosphor bronzes	C50100–C52480	Cu-Sn-P
Leaded phosphor bronzes	C53400–C54400	Cu-Sn-Pb-P
Copper-phosphorus and copper-silver-phosphorus alloys(c)	C55180–C55284	Cu-P-Ag
Aluminum bronzes	C60800–C64210	Cu-Al-Ni-Fe-Si-Sn
Silicon bronzes	C64700–C66100	Cu-Si-Sn
Other copper-zinc alloys	C66300–C69710	Cu-Zn-Mn-Fe-Sn-Al-Si-Co
Copper nickels	C70100–C72950	Cu-Ni-Fe
Nickel silvers	C73500–C79830	Cu-Ni-Zn
Cast alloys		
Coppers(a)	C80100–C81200	>99% Cu
High-copper alloys(d)	C81400–C82800	>94% Cu
Red and leaded red brasses	C83300–C83810	Cu-Sn-Zn-Pb (82–94% Cu)
Semi-red and leaded semi-red brasses	C84200–C84800	Cu-Sn-Zn-Pb (75–82% Cu)
Yellow and leaded yellow brasses	C85200–C85800	Cu-Zn-Pb
Manganese bronzes and leaded manganese bronzes(e)	C86100–C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
Silicon brasses/bronzes	C87300–C87800	Cu-Zn-Si
Copper-bismuth and copper-bismuth-selenium alloys	C89320–C89940	Cu-Sn-Zn-Bi-Se
Tin bronzes	C90200–C91700	Cu-Sn-Zn
Leaded tin bronzes	C92200–C94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Nickel-tin bronzes	C94700–C94900	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb
Aluminum bronzes	C95200–C95900	Cu-Al-Fe-Ni
Copper nickels	C96200–C96950	Cu-Ni-Fe
Nickel silvers	C97300–C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
Leaded coppers	C98200–C98840	Cu-Pb
Special alloys	C99300–C99750	Cu-Zn-Mn-Al-Fe-Co-Sn-Pb

(a) Metals that have a designated Cu content of 99.3% or higher. (b) For wrought products, those alloys with designated Cu contents less than 99.3%, but more than 96% that do not fall into any other copper alloy group. (c) Brazing filler metal alloys. (d) Cast high-copper alloys have designated Cu contents in excess of 94%, to which Ag may be added for special properties. (e) Also referred to as high-strength and leaded high-strength yellow brasses

ตารางที่ 5 โลหะทองแดงและทองแดงเจือ (Coppers and Copper Alloys) ประเภททองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought Alloys) และทองแดงเจือหล่อ (Cast Alloys)

1. **ทองแดงผสมอัลลอยขึ้นรูป หรือ ทองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought Copper Alloys)** มีรหัส UNS C10000 ถึง C79999 โดยจัดกลุ่มได้ 5 กลุ่มหลักดังแสดงในตารางที่ 6 ทองแดงเจือขึ้นรูป หรือสามารถผลิตด้วยกรรมวิธีที่หลากหลาย เช่น การอบอ่อน (Annealed), การขึ้นรูปเย็น (Cold Worked), การชุบแข็งด้วยการอบคืนไฟ (Hardened by Heat Treatments), การคลายความเค้น (Stress Relieved)

2. **ทองแดงหล่อผสมอัลลอย หรือ ทองแดงเจือหล่อ (Cast Copper Alloys)** มีรหัส UNS C80000 ถึง C99999 ปรกติจะมีส่วนผสมของธาตุต่างๆ มากกว่า

ดูรูปที่ 10

ทองแดงเจือหล่อ (Cast Copper Alloys Designation)

- ทองเหลืองหล่อประกอบด้วยโลหะผสมทองแดง-สังกะสี-ดีบุก (สีแดง, สีกึ่งแดง และสีเหลือง)
- สัมฤทธิ์หล่อประกอบด้วยแมงกานีสผสมสัมฤทธิ์ (ทองเหลือง สีเหลืองที่มีความแข็งแรงสูง)
- โลหะผสมทองแดงแมงกานีส**ตะกั่ว** (ทองเหลืองผสมตะกั่วที่มีความแข็งแรงสูง) และ
- โลหะผสมทองแดงสังกะสี-ซิลิกอน

มี 4 กลุ่มหลักในประเภทสัมฤทธิ์หล่อ คือ

- ทองแดง-ดีบุก-ตะกั่ว,
- ทองแดง-ดีบุก-นิกเกิ้ล,
- ทองแดง-ดีบุก และ
- โลหะผสมทองแดง-อลูมิเนียม

กลุ่ม (Family)	**ส่วนผสมธาตุหลัก (Principal Alloying Element)**	**UNS Numbers**
Copper Alloys, Brass	Zinc (Zn)	C1xxxx, C4xxxx, C66400, C69800
Phosphor Bronzes	Tin (Sn)	C5xxxx
Aluminium Bronzes	Aluminium (Al)	C60600, C64200
Silicon Bronzes	Silicon (Si)	C64700, C66100
Copper Nickel, Nickel Silvers	Nickel (Ni)	C7xxxx

ตารางที่ 6 การจัดกลุ่มประเภทของโลหะทองแดงและทองแดงเจือ (ทองแดงอัลลอย) (Coppers and Copper Alloys)

องค์ประกอบทางเคมีของโลหะทองแดงและทองแดงเจือ (Copper and Copper Alloys Composition) มีส่วนผสมดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 7 และตารางที่ 8)

1. **ทองแดงบริสุทธิ์ (Coppers)** เป็นโลหะที่มีธาตุทองแดงผสมอยู่อย่างน้อย 99.3% หรือมากกว่า

2. **ทองแดงเจือที่มีปริมาณทองแดงสูง (High-Copper Alloys)** ปรกติทองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought-Copper Alloys) จะมีปริมาณธาตุทองแดงผสมอยู่ระหว่าง 99.3 - 96% ในขณะที่ทองแดงเจือหล่อ (Cast-Copper Alloys) มีปริมาณทองแดงผสมอยู่เกิน 94% และผสมธาตุเงินเข้าไป ใช้รหัส C1xx ตามส่วนผสมทางเคมี

3. **ทองแดงเจือสังกะสี หรือ ทองเหลือง (Copper-zinc Alloys or Brasses)** ทองเหลืองเป็นอัลลอยหรือทองแดงเจือที่มี Zinc เป็นส่วนผสมหลัก ทั้งนี้ไม่ว่าจะมี Iron, Aluminum, Nickel หรือ Silicon ผสมหรือไม่ก็ตาม บ้านเราใช้โลหะชนิดนี้ทำมาตรวัดปริมาตรน้ำกันมาก ค่อยๆดูกันต่อไป

3.1. ทองเหลืองขึ้นรูป (Wrought Alloys) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

3.1.1. ทองแดงเจือสังกะสี หรือ ทองเหลือง (Copper-Zinc Alloys or Brasses) ใช้รหัส C2xx ตามส่วนผสมทางเคมี

3.1.2. ทองแดงเจือสังกะสีและตะกั่ว (Copper-Zinc-Lead Alloys) หรือ Leaded Brasses ใช้รหัส C3xx

3.1.3. ทองแดงเจือสังกะสีและดีบุก (Copper-Zinc-Tin Alloys) หรือ Tin Brasses ใช้รหัส C4xx

3.2. ทองเหลืองหล่อ (Cast Alloys) แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

3.2.1. Copper-Tin-Zinc Alloys (Red, Semi-Red, Yellow Brasses)

3.2.2. Manganese Bronze Alloys (High Strength Yellow Brasses)

3.2.3. Leaded "Manganese Bronze" Alloys (Leaded High Strength Yellow Brasses); Copper-Zinc-Silicon Alloys (Silicon Brasses and

Bronzes)

3.2.4. Cast Copper-Bismuth and Copper-Bismuth-Selenium Alloys

ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปพัฒนาเพื่อหล่อทองเหลืองผสมอัลลอย เกรดพิเศษต่างๆ

4. **ทองสัมฤทธิ์ (Bronzes)** ในอดีต ทองสัมฤทธิ์ หมายถึง ทองแดงเจือดีบุก (Tin) เป็นหลัก โดยไม่มีการผสมธาตุ Zinc หรือ Nickel ปัจจุบันนิยามดังกล่าวถูกเปลี่ยนไป ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาตรวัดน้ำปี 2534-2538 ก็มีการยอมให้ใช้โลหะเจือประเภทนี้เช่นกัน เราแบ่งประเภททองสัมฤทธิ์ประเภทนี้ออกเป็น

4.1. ทองสัมฤทธิ์ขึ้นรูป (Wrought Alloys) แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

4.1.1. Copper-Tin-Phosphorous Alloys (Phosphor Bronzes) ใช้รหัส C5xx

4.1.2. Copper-Tin-Lead-Phosphorus Alloys (Leaded Phosphor Bronzes)

4.1.3. Copper-Aluminum Alloys (Aluminum Bronzes)

4.1.4. Copper-Silicon Alloys (Silicon Bronzes)

4.2. ทองสัมฤทธิ์หล่อ (Cast Alloys) แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

4.2.1. Copper-Tin-Alloys (Tin Bronzes)

4.2.2. Copper-Tin-Lead Alloys (Leaded and High Leaded Tin Bronzes)

4.2.3. Copper-Tin-Nickel Alloys (Nickel-Tin Bronzes)

4.2.4. Copper-Aluminum Alloys (Aluminum Bronzes)

5. **ทองแดงผสมนิกเกิ้ล (Copper-Nickels)** เป็นกลุ่มทองแดงอัลลอยที่มีส่วนผสมของ Nickel เป็นหลัก

6. **ทองแดงผสมนิกเกิ้ล-สังกะสี (Copper-Nickels-Zinc)** รู้จักในนาม "Nickel Silvers" ที่มีส่วนผสมของ Zinc เป็นหลัก และรองลงมาคือ Nickel

Type	Generic Name	Major Composition	UNS Designation
ทองแดง **(Coppers)** และทองแดงเจือที่มีปริมาณทองแดงสูง **(High-Copper Alloys)**	Coppers High-Copper Alloys	>= 99.3% Cu > 96% Cu but <99.3% Cu	C10100 - C15999 C16000 - C19999
ทองเหลือง **(Brasses)**	Yellow Brasses Leaded Red Brasses Tin Brasses	Cu-Zn Cu-Zn-Pb Cu-Zn-Sn-Pb	C21000 - C28999 C30000 - C39999 C40000 - C49999
บรอนซ์ หรือ สัมฤทธิ์ **(Bronzes)**	Phosphor Bronzes Leaded-Phosphor Bronzes Copper-Phosphorous Alloys Copper-Silver-Zinc Alloys Aluminum Bronzes Silicon Bronzes and Silicon Brasses C64700…C66199 Brasses	Cu-Sn-P Cu-Sn-Pb-P Cu-P; Cu-P-Ag Cu-Ag-Zn Cu-Al-Ni-Fe-Si-Sn Cu-Si-Sn Cu-Zn....	C50000 - C52999 C53000 - C54999 C55000 - C55299 C55300 - C60799 C60800 - C64699 C64700 - C66199 C66200 - C69999
ทองแดงและโลหะผสมนิกเกิล/เงิน (Copper-Nickels)	Copper-nickel-Iron Alloys / Spinodal Bronzes	Cu-Ni-Fe / Cu-Ni-Sn	C70000 - C73499
Nickel Silvers	-	Cu-Ni-Zn	C73500 - C79999

ตารางที่ 7 4 กลุ่มหลักของ**ทองแดงเจือขึ้นรูป** (Wrought Copper Alloys Designation)

Type	Generic Name	Major Composition	UNS Designation
ทองแดง **(Coppers)** และ ทองแดงเจือที่มีปริมาณทองแดงสูง **(High-Copper Alloys)**	Coppers	>= 99.3% Cu	C80000 - C81399
	High-Copper Alloys	> 96% Cu but <99.3% Cu	C81400 - C83299
ทองเหลือง **(Brasses)**	Red Brasses and Leaded Red Brasses Yellow Brasses	Cu-Sn-Zn / Cu-Sn-Zn-Pb Cu-Zn	C83300 - C84999 C85000 - C85999
บรอนซ์ หรือ สัมฤทธิ์ **(Bronzes)**	Manganese Bronzes and Leaded Manganese Bronzes Silicon Bronzes and Silicon Brasses Copper-Bismuth and Copper-Bismuth-Selenium Alloys Tin Bronzes and Leaded-Tin Bronzes Nickel-Tin Bronzes Aluminum Bronzes	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb Cu-Zn-Si Cu-Bi / Cu-Bi-Se Cu-Sn-Zn / Cu-Sn-Zn-Pb Cu-Ni-Sn-Zn-Pb Cu-Al-Ni-Fe	C86000 - C86999 C87000 - C87999 C88000 - C89999 C90000 - C94500 C94600 - C94999 C95000 - C95999
ทองแดงและโลหะผสมนิกเกิลและอื่นๆ **(Copper-Nickels)**	Copper-nickel-Iron Alloys / Spinodal Bronzes	Cu-Ni-Fe / Cu-Ni-Sn	C96000 - C96999
Nickel Silvers	-	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn	C97000 - C97999
Copper-Lead Alloys	-	Cu-Pb	C98000 - C98999
Special Alloys	-	Cu-Others	C99000 - C99999

ตารางที่ 8 4 กลุ่มหลักของ**ทองแดงเจือหล่อ** (**Cast Copper Alloys** Designation)

7. **ทองแดงผสมตะกั่ว (Leaded Coppers)** เป็นกลุ่มอัลลอยหล่อที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว 20% ขึ้นไป และอาจมีธาตุเงินผสมเล็กน้อย แต่จะไม่ผสม ดีบุก (Tin) หรือ สังกะสี (Zinc)

8. **อัลลอยพิเศษ หรือโลหะเจือพิเศษ (Special Alloys)** กลุ่มอัลลอยที่อยู่นอกเหนือจากที่กล่าวมาทั้งหมด

เมื่อปูพื้นคอนกรีต (ไม่ได้เสริมเหล็ก) เป็นที่เรียบร้อยแล้วเราก็ดินหน้าหลักสูตรเร่งรัดทำความเข้าใจว่ากลุ่มประเทศ 4MS ซึ่งเป็นประเทศสมาชิกสหภาพยุโรปด้วยนั้นได้กำหนดแนวปฏิบัติเพื่อจะได้ทำเป็นกฎระเบียบต่อไป โดยเฉพาะวัสดุพวก Metallic Material ที่เป็นโลหะและถูกนำมาใช้กับระบบน้ำดื่ม โดยแบ่งกลุ่มเครื่องมืออุปกรณ์ออกเป็น 4 กลุ่มหลักดังแสดงในตารางที่ 9

Table 1: Product groups for metallic materials

Product Group	**Examples of products or parts of products**	**Assumed contact surface “a”**
A	Pipes in buildings installation Uncoated pipelines in water supply systems	100%
B	Fittings, ancillaries in buildings installations (e.g. pump bodies, valve bodies, water meter bodies used in buildings installations)	10%
C	1. Components of products of product group B (e.g. the spindle of a pump or the moving parts in water meter in building installations). The sum of the surfaces in contact with drinking water of all these components has to be less than 10% of the total wetted surface of the product. 2. Fittings, ancillaries in water mains and water treatment works with permanent flow (e.g. pumps bodies, valves bodies used in water supply systems)	1%
D	Components of fittings and ancillaries in water mains in water treatment works (C2)	

ตารางที่ 9 4MS product groups for metallic materials

ผลการศึกษาของกลุ่มประเทศ 4MS ในส่วนวัสดุพวก Metallic Material ได้เห็นชอบให้ใช้วัสดุพวก Metallic Material แบ่งออกเป็น

1. วัสดุพวก Metallic Material ชนิดทองแดงเจือดังในตารางที่ 10
2. วัสดุพวก Metallic Material ชนิดทองแดงดังในตารางที่ 11
3. วัสดุพวก Metallic Material ชนิด Steel-Iron ดังในตารางที่ 12

Copper alloys	**Alloy designation**	**Approved product applications (see Table 1)** ดูรูปที่ **16**
Copper-zinc alloys	CW509L* (CuZn40)	B - D
	CW510L* (CuZn42)	B - D
	CW501L-DW* (CuZn10)	C and D
	CW506L-DW* (CuZn33)	B - D
	CW507L-DW* (CuZn36)	B - D
	CW508L-DW* (CuZn37)	B - D
Copper-zinc-aluminum alloys	CuZn42Al	B - D
Copper-zinc-aluminum-tin alloys	CuZn35Al1.5Sn	B - D
Copper-zinc-arsenic alloys	CW511L (CuZn38As)	B - D
Copper-zinc-arsenic-aluminium alloys	CuZn35Al-C	B - D
Copper-zinc-arsenic-antimony-aluminum alloys	CC771S (CuZn38AsSb)	B - D
Copper-zinc-lead alloys	CW617N* (CuZn40Pb2)	B - D
	CW612N* (CuZn39Pb2)	B - D
	CW614N* (CuZn39Pb3)	C and D
	CW603N* (CuZn36Pb3)	C and D
Copper-zinc-lead-aluminium alloys	CC757S*(CuZn39Pb1Al-C)	B - D
Copper-zinc-lead-arsenic-aluminium alloys	CC770S (CuZn36Pb-C)	B - D
	CW626N (CuZn33Pb1.5AlAs)	B - D
	CW625N (CuZn35Pb1.5AlAs)	B - D

Copper alloys	Alloy designation	Approved product applications (see Table 1) ดูรูปที่ 16
Copper-zinc-lead-arsenic-antimony-aluminum alloys	CC772S (CuZn36Pb1.5AsSbAl)	B - D
Copper-zinc-lead-arsenic-aluminium-silicon alloys	CW725R*(CuZn33Pb1AlSiAs)	B - D
Copper-tin-zinc-lead-nickel alloys	CC499K* (CuSn5Zn5Pb2-C)	B - D
Copper-tin-zinc-phosphorous-sulphur alloys	CuSn4Zn2PS	B - D
Copper-zinc-silicon-phosphorous alloys	CW724R (CuZn21Si3P)	B - D
	CC768S (CuZn21Si3P)	B - D
Copper-silicon-zinc-manganese-phosphorous alloys	CC245E (CuSi4Zn4MnP-C)	B - D
	CC246E (CuSi4Zn9MnP-C)	B - D
	CuSi4Zn4MnP	B - D
	CuSi4Zn9MnP	B - D
Copper-tin-phosphorous alloys	CW453K (CuSn8)	C and D
Copper-tin-lead-phosphorous alloys	CuSn10-C*	B - D

ตารางที่ 10 **Copper alloys** approved for drinking water use in 4MS as of 2019

จากตารางที่ 10 ทำให้เราต้องกลับมาทบทวนโลหะทองเหลืองที่เรียกกันทั่วไปว่า **Dezincification resistant alloys** หรือ **DZN Brass** หรือ **CW602N** หรือ **CuZn36Pb2As** ก็ยังไม่ผ่านการทดสอบและยอมรับให้ใช้งานกับระบบน้ำดื่มจากกลุ่มประเทศ 4MS เลยเชียวน่ะครับ ระวังกันด้วยน่ะครับ โลกเปลี่ยน ข้อมูลเปลี่ยน เราก็ต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมไม่เช่นนั้นของที่ไม่ดีจะถูกโละทิ้งจากซีกโลกตะวันตกมายังระบบเศรษฐกิจ สังคม และความเป็นอยู่ของประชาชนชาวไทยน่ะครับ อย่าให้เหมือนกับกรณีขยะอิเล็คทรอนิคของประเทศเจริญแล้วส่งมาทิ้งแถบกลุ่มประเทศอาเซียนเรา ซึ่งคาดว่าน่าจะรวมถึงราชอาณาจักรไทยด้วยกระมัง

Coppers	Alloy designation	Approved product applications (see Table 1) ดูรูปที่ 16
Copper	CW024A (Cu-DHP)	A -D
	CW004A (Cu-ETP)	C and D
	CW008A (Cu-OF)	B - D
	CW020A (Cu-PHC)	B - D
	CW021A (Cu-HCP)	B - D
	CW023A (Cu-DLP)	B - D
Tinned copper pipes and tinned copper fittings	CW024A (Cu-DHP)	A -D
	CW004A (Cu-ETP)	C and D
	CW008A (Cu-OF)	B - D
	CW020A (Cu-PHC)	B - D
	CW021A (Cu-HCP)	B - D
	CW023A (Cu-DLP)	B - D
Tinned copper pipes and tinned copper fittings	CW024A (Cu-DHP) with a tin layer thickness of 1 µm	A-D

ตารางที่ 11 Copper approved for drinking water use in 4MS as of 2019

Steel / Iron	Alloy designation	Approved product applications (see Table 1) ดูรูปที่ 16
Galvanised steel	Galvanised steel	A -D
Carbon steel	Carbon Steel according to EN 10025/ EN 10213 / EN 10222	C2
Cast iron	Cast Iron according to EN 1561 / EN 1563	C2
Stainless steel	Stainless steels according to EN 10088 and EN 10283	A -D

ตารางที่ 12 Steel/Iron approved for drinking water use in 4MS as of 2019

ในอีกแง่มุมหนึ่งเมื่อคำนึงถึงขั้นตอนการผลิตดูเหมือนผู้ผลิตจะเลือกทองแดงเจือไปในโทนของการหล่อจากนั้นทำการกลึง เจียร ใส ปาดเพื่อให้ได้ชิ้นงานสมบูรณ์ ดังนั้นจึงจะมองหาทองแดงเจือที่มีคุณสมบัติการรขึ้นรูปได้ง่าย หรือที่เรียกว่า Machinability ตามรูปที่ 8 จึงน่าจะเป็นเหตุให้มีการเลือกใช้ทองแดงเจือโลหะกับ Zn,

Pb, Te และ S ผลที่ตามมาคือเราต้องมาเจอกับผู้ร้าย "Pb" หรือ "ตะกั่ว" สิครับ เพราะเมื่อใช้งานไปโลหะเจือเจอกับน้ำจากนั้นเกิดการกัดกร่อนโลหะ Zn ซึ่งเป็นส่วนผสมทองแดงเจือโลหะก็หลุดออกจากเนื้อทองแดงเจือไปก่อนเนื่องจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า (ไม่แน่ใจว่าสูงหรือต่ำจะกัดกร่อนได้ง่ายกว่า ตรวจสอบอีกทีน่ะ) ซึ่งทำให้ตะกั่วที่ผสมอยู่ด้วยเป็นเนื้อเดียวกันนั้นหลุดออกตามไปด้วย ทั้ง Zn และ Pb ที่หลุดออกจากไปจึงละลายในน้ำประปานั้นเอง ถ้านำน้ำประปามาดื่มเราก็กิน ทั้ง Zn และ Pb ส่วนตารางที่ 12 ก็พอจะเห็นว่าเหล็กชุบสังกะสี (Galvanised steel), เหล็กคาร์บอน (Carbon stell), เหล็กหล่อ (Cast iron) ตลอดจนเหล็กปลอดสนิม (Stainless steel) หากได้มาตรฐานการผลิตตามที่กำหนดก็ใช้งานกับระบบน้ำดื่มได้เช่นกัน

4MS list of approved copper alloy compositions

<0.2% alloyed lead	0.2% to 3% alloyed lead	>3% alloyed lead
CW509L	CW617N	CW614N**
CW510L	CW612N	CW603N**
CuZn42Al	CC757S	
CW511L	CC770S	
CuZn35Al-C	CW626N	
CW724R*	CW625N	
CC768S*	CC772S	
CC771S*	CW725R	
CuZn10Si4MnP*	CC499K	

*"Lead-free" alloys with <0.1% lead
**Limited to moving parts in water meters and parts of pumps/valves

ตารางที่ 13 ตัวอย่าง Copper alloys approved for drinking water use in 4MS as of 2016

ในส่วนของประเทศญี่ปุ่นเองก็มีมาตรฐาน JIS S 3200-7:2004, Water appliances – leaching performance test method เพื่อดูแลระบบน้ำดื่มของประเทศด้วยเช่นกันโดยในภาพรวมแล้วจะกำหนดแยกพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่มหลัก กลุ่มแรกคือกลุ่มด้านปลายสุดจุดที่ผู้บริโภคสัมผัสใกล้ชิด เช่น ก๊อกน้ำ ข้อต่อข้องอของระบบท่อน้ำดื่มมาตรฐานจะกำหนดให้การปนเปื้อนของโลหะตะกั่วไม่เกิน 0.007 g/l กลุ่มที่สองคือระบบท่อขนส่งลำเลียงน้ำดื่มมาตรฐานจะกำหนดให้การปนเปื้อนของโลหะตะกั่วไม่เกิน 0.010 g/l

เมื่ออ่านมาถึงตรงนี้ ทวีปอเมริกาเหนือซึ่งมีสหรัฐอเมริกากับแคนนาดา ดูสหภาพยุโรปโดยมีกลุ่ม 4MS เป็นหัวหมู่ทะลวงฟันแล้วมองไปยังญี่ปุ่น แล้วย้อนกลับมามองตัวเราราชอาณาจักรไทยละครับ เราจะเดินไปในเส้นทางใด....... ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561 ข้อ13 (3) หากให้ตีความ (สำหรับส่วนตัวผม) ก็คงต้องตีความตามประเทศที่พัฒนาแล้ว คือตาม 4MS เพราะเป็นเทคนิคที่สร้างเขื่อนกันน้ำป้องกันเครื่องชั่งตวงวัดที่ไม่ดีไม่มีคุณภาพถาโถมเข้ามาในวงจรชีวิตเศรษฐกิจและสังคมไทย ซึ่งถ้าเข้ามาได้คราวนี้หากต้องการเอาออกไปยากส์ส์ส์......ซิครับ นอกจากนี้เราไม่ต้องไปพูดถึง R&D ให้ลำบากลำบนเลยครับเพียงแค่รักษาของเดิมให้กฎหมายมีผลบังคับใช้ก็ยากเต็มทน..... เพราะอะไรหรือครับ.....ต้องไปถามลุงดู ...ลุงก็เข้าใจดี แต่ฝันไปว่าในอนาคต มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาตรวัดปริมาตรน้ำของราชอาณาจักรไทยจะกำหนดให้ใช้เฉพาะวัสดุที่กลุ่มประเทศ 4MS ศึกษาแล้วมีการปนเปื้อนของสารโลหะน้อยเหมาะกับคุณภาพชีวิตของไทยลูกหลานคนไทยทั้งหลาย ผมก็อยากเชื่อใจให้สนิทใจ เต็มใจ ว่า “น้ำประปาดื่มได้”.....ครับ และเป็นมิติใหม่ของการบูรณาการกฎหมายของประเทศไทยให้ไร้รอยต่อจนมองไม่เห็นรอยตะเข็บ smooth as silk.........

จากในตารางที่ 10 - ตารางที่ 11 เราจะเห็นได้ว่าการเรียกขานชื่อโลหะเจือ (alloys) หรือ Alloy designation แต่ละชนิดหลากหลาย เช่น ระบบ ISO, ระบบ European Standard (EN) ของ EU, ระบบ UNS ของ USA, ระบบ BS ของ UK, ระบบ DIN ของ Germany เป็นต้น (ดูตารางที่ 15 และตารางที่ 16) ซึ่งสร้างความสับสนและปัญหาในการเลือกซื้อหรือสั่งให้ผลิต ถึงแม้ระบบ ISO กับ EN อาจมีองค์ประกอบโลหะคล้ายกันแต่ขอบเขตข้อจำกัดสัดส่วนแร่ธาตุไม่เท่ากันก็มักมีปัญหาเช่นกัน Copper Development Association (CDA) จึงได้กำหนดระบบตัวเลขเรียกขานโลหะทองแดงและโลหะทองแดงเจืออีกระบบหนึ่งเรียกว่า CEN โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย 6 ตัวอักษร

1. ตัวแรกสุดกำหนดให้เป็น “C” แทน Copper

2. ตัวที่สอง มีให้เลือกเพื่อบ่งบอกชนิดผลิตภัณฑ์ (Products)

B	–	Materials in ingot form for re-melting to produce cast products
C	–	Materials in the form of cast products
F	–	Filler materials for brazing and welding
M	–	Master alloys
R	–	Refined unwrought copper
S	–	Materials in the form of scrap
W	–	Materials in the form of wrought products
X	–	Non-standardised materials

3. ตัวที่สาม ตัวที่สี่ และตัวที่ห้าเป็นอนุกรมของตัวเลขตั้งแต่ 001-999
4. ตัวที่หก เป็นตัวอักษรเพื่อจัดกลุ่มโลหะทองแดงและโลหะทองแดงเจือ (Copper and copper alloy grouping) โดยมีความหมายรวมข้อ 3 และ ข้อ 4 คือ

Number series	Letters	Materials
000-099	A or B	Copper
100-199	C or D	Copper alloys, low alloyed (less than 5% alloying elements)
200-299	E or F	Miscellaneous copper alloys (5% or more alloying elements)
300-349	G	Copper–aluminium alloys
350-399	H	Copper–nickel alloys
400-449	J	Copper–nickel–zinc alloys
450-499	K	Copper–tin alloys
500-599	L or M	Copper–zinc alloys, binary
600-699	N or P	Copper–zinc–lead alloys
700-799	R or S	Copper–zinc alloys, complex

5. อักษรที่ต่อเสริมจาก 6 ตัวหลักจะบ่งบอก ข้อมูลเพิ่มเติมว่า

a. Material Condition (Temper) Designations

A – Elongation
B – Spring bending limit
D – As drawn, without specified mechanical properties
G – Grain size
H – Hardness (Brinell or Vickers)
M – As manufactured, without specified mechanical properties
R – Tensile strength
Y – 0.2% proof strength

b. Castings

GS sand casting

GM permanent mould casting

GZ centrifugal casting

GC continuous casting

GP pressure diecasting

พอดูเป็นตัวอย่างดังนี้

Examples

CW614N – R420	refers to wrought CuZn39Pb3 copper-zinc-lead alloy to be supplied to a minimum tensile strength of 420 N/mm^2
CC750S-GS	refers to sand cast CuZn33Pb2 copper-zinc duplex alloy

สำหรับพวกวัสดุโพลีเมอร์พลาสติกนั้นกลุ่มประเทศ 4MS ก็ได้จัดทำแนวทางเป็น Thermoplastic elastomers ตามเอกสาร RECOMMENDATION Transitional recommendation on the provisional hygienic assessment of products made from thermoplastic elastomers in contact with drinking water (TPE transitional recommendation) , As at: 11 March 2019 Rev02

Table 5 Summary of preferred designators for copper alloys in the Comité Européen de Normalisation system

Material groups	Number ranges available for positions 3, 4, and 5	Final letter, designating material group	Number range allocated to materials preferred by CEN
Copper	001–999	A	001–049A
	001–999	B	050–099B
Miscellaneous copper alloys	001–999	C	100–149C
	001–999	D	150–199D
	001–999	E	200–249E
	001–999	F	250–299F
Copper-aluminum alloys	001–999	G	300–349G
Copper-nickel alloys	001–999	H	350–399H
Copper-nickel-zinc alloys	001–999	J	400–449J
Copper-tin alloys	001–999	K	459–499K
Copper-zinc alloys, binary	001–999	L	500–549L
	001–999	M	550–599M
Copper-zinc-lead alloys	001–999	N	600–649N
	001–999	P	650–699P
Copper-zinc alloys, complex	001–999	R	700–749R
	001–999		750–799S
Copper material not standardized by CEN/TC 133	800–999	A-S(a)	800–999(a)

(a) Letter as appropriate for the material group

ตารางที่ 14 ระบบเรียกขานชนิดโลหะทองแดงกับโลหะทองแดงเจือของ Copper Development Association (CDA)

Table 6 Cross-reference for ISO, British Standard, CEN, and UNS wrought copper and copper alloy designations

ISO	British Standard	CEN	UNS	ISO	British Standard	CEN	UNS
Coppers				**High-alloy coppers**			
Cu-ETP1	C100	CW003A	…	CuCd1	C108	…	C16200
Cu-ETP	C101	CW004A	C11000	CuCdSn	…	…	…
Cu-Ag(0.04)	C101	CW011A	…	CuCr1	CC101	CW105C	C18200
Cu-Ag(0.07)	…	CW012A	…	CuCr1Zr	CC102	CW106C	…
Cu-Ag(0.10)	…	CW013A	…	CuNi1Si	…	CW109C	C19010
Cu-FRHC	C102	CW005A	C11020	CuNi2Si	…	CW111C	C70250
Cu-HCP	…	CW021A	…	CuNi3Si1	…	CW112C	C70320
Cu-DLP	…	CW023A	C12000	CuNi4AlSi	…	…	…
Cu-FRTP	C104	CW006A	C12500	CuNi1P	C113	CW108C	…
CuAs	C105	…	…	CuBe1.7	…	CW100C	…
Cu-DHP	C106	CW024A	C12200	CuBe2	CB101	CW101C	C17200
CuAsP	C107	…	C14200	CuBe2CoNi	…	…	…
Cu-Ag(0.04P)	…	CW014A	…	CuBe2Pb	…	CW102C	C17300
Cu-Ag(0.07P)	…	CW015A	…	CuNi2Be	…	CW110C	C17510
Cu-Ag(0.10P)	…	CW016A	…	CuCo2Be	C112	CW104C	C17500
Cu-OF1	…	CW007A	…	CuCo1Ni1Be	…	CW103C	…
Cu-OF	C103	CW008A	C10200	CuZr	…	CW120C	C15000
Cu-OFE	C110	CW009A	C10100	CuSi1	…	CW115C	C65100
Cu-OFS	C103	…	…	CuSi3Mn1	CS101	CW116C	C65500
Cu-PHCE	…	CW022A	…	CuSn0.15	…	CW117C	…

(continued)

Source: Copper Development Association

ตารางที่ 15 การเทียบระบบเรียกขานชนิดโลหะทองแดงขึ้นรูปกับโลหะทองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought copper and copper alloys) ระหว่าง ISO, BS, EN (CEN) และ UNS

Table 6 (continued)

ISO	British Standard	CEN	UNS
High-alloy coppers			
CuTeP	C109	CW118C	C14500
CuSP	C111	CW114C	C14700
CuPb1P	…	CW113C	C18700
Brasses (Cu-Zn alloys)			
CuZn5	CZ125	CW500L	C21000
CuZn10	CZ101	CW501L	C22000
CuZn15	CZ102	CW502L	C23000
CuZn20	CZ103	CW503L	C24000
CuZn28	…	CW504L	…
CuZn30	CZ106	CW505L	C26000
CuZn33	…	CW506L	C26800
CuZn35	…	…	C27000
CuZn36	CZ107	CW507L	C27200
CuZn37	CZ108	CW508L	C27400
CuZn40	CZ109	CW509L	C28000
Leaded brasses			
CuZn9Pb2	…	…	C31400
CuZn20Pb	CZ104	…	…
CuZn35Pb1	CZ118	CW600N	C34000
CuZn35Pb2	CZ119	CW601N	C34200
CuZn36Pb3	CZ124	CW603N	C36000
CuZn36Pb2As	CZ132	CW602N	…
CuZn37Pb0.5	…	CW604N	C33500
CuZn37Pb1	…	CW605N	C35000
CuZn37Pb2	CZ131	CW606N	C35300
CuZn38Pb1	CZ129	CW607N	C35000
CuZn38Pb2	CZ128	CW608N	C37700
CuZn38Pb4	CZ121-Pb4	CW609N	…
CuZn39Pb0.5	CZ137	CW610N	C36500
CuZn39Pb1	CZ129	CW611N	C37100
CuZn39Pb2	CZ120	CW612N	C37700
CuZn39Pb2Sn	…	CW613N	C48500
CuZn39Pb3	CZ121-Pb3	CW614N	C38500
CuZn39Pb3Sn	…	CW615N	…
CuZn40Pb	CZ123	…	…
CuZn40Pb2	CZ122	CW617N	C38010
CuZn40Pb2Sn	…	CW619N	…
CuZn43Pb2	CZ130	CW623N	…
CuZn40Pb1Al	…	CW616N	…
CuZn40Pb2Al	…	CW618N	…
CuZn41Pb1Al	…	CW620N	…
CuZn42PbAl	…	CW621N	…
CuZn43Pb1Al	…	CW622N	C38000
CuZn43Pb2Al	CZ130	CW624N	…
Special copper-zinc alloys			
CuZn13AlNiSi	CZ127	CW700R	…
CuZn19Sn	…	CW701R	C43500
CuZn23Al3Co	…	CW703R	…
CuZn28Sn1Al	CZ111	…	…
CuZn20Al2As	CZ110	CW702R	…
CuZn29As	CZ105	…	…
CuZn30As	CZ126	CW707R	…
CuZn31Si1	…	CW708R	…
CuZn32Pb2AsFeSi	…	CW709R	…
CuZn36Pb2Sn1	CZ134	CW711R	C48400
CuZn37Pb1Sn1	…	CW714R	C48200
CuZn38Sn1	CZ112	…	…
CuZn38Sn1As	…	CW717R	…
CuZn39Sn1	CZ133	CW719R	C46400
CuZn36Sn1Pb	…	CW712R	C48200
CuZn39Mn1AlPbSi	…	CW718R	…
CuZn37Mn3Al2PbSi	CZ135	CW713R	C67420
CuZn40Mn1Pb1	CZ136	CW720R	…
CuZn38Mn1Al	…	CW716R	…
CuZn38AlFeNiPbSn	…	CW715R	…
Special copper-zinc alloys			
CuZn40Mn1Pb1AlFeSn	CZ114	CW721R	…
CuZn40Mn1Pb1FeSn	CZ115	CW722R	…
CuZn40Mn2Fe1	…	CW723R	…
CuZn35Ni3Mn2AlPb	…	CW710R	…
CuZn25Al5Fe2Mn2Pb	CZ116	CW705R	C67000
Nickel silvers			
CuNi10Zn27	NS103	CW401J	C74500
CuNi10Zn28Pb1	NS111	…	…
CuNi12Zn24	NS104	CW403J	C75700
CuNi12Zn25Pb1	…	CW404J	C79200
CuNi12Zn29	…	CW405J	…
CuNi12Zn30Pb1	…	CW406J	C79000
CuNi14Zn44Pb	NS102	…	…
CuNi15Zn21	NS105	…	…
CuNi18Zn20	NS106	CW409J	C75200
CuNi18Zn19Pb1	NS113	CW408J	C67300
CuNi18Zn27	NS107	CW410J	C77000
CuNi20Zn17	NS108	…	…
CuNi25Zn18	NS109	…	…
CuNi7Zn39Pb3Mn2	…	CW400J	…
CuNi10Zn42Pb2	NS101	CW402J	C79830
CuNi12Zn38Mn5Pb2	…	CW407J	…
Copper-tin alloys			
CuSn4	PB101	CW450K	C51100
CuSn4TeP	…	CW457K	…
CuSn4Pb2P	…	CW455K	C53200
CuSn4Pb4Zn4	…	CW456L	…
CuSn5	PB102	CW451K	C51000
CuSn5PB1	…	CW458K	C53400
CuSn5Te	…	…	…
CuSn6	PB103	CW452K	C51900
CuSn8	…	CW453K	…
CuSn8P	PB104	CW459K	C52100
CuSn3Zn9	…	CW454K	…
Copper-nickel alloys			
CuNi5Fe	CN101	…	C70400
CuNiSn	…	…	…
CuNi9Sn2	…	CW351H	C72500
CuNi10Fe1Mn	CN102	CW352H	C70600
CuNi15	CN103	…	C70900
CuNi20	CN104	…	C71000
CuNi25	CN105	CW350H	C71300
CuNi30Mn1Fe	CN107	CW354H	C71500
CuNi30Fe2Mn2	CN108	CW353H	C71640
CuNi45	…	…	…
Copper-aluminum alloys (aluminum bronzes)			
CuAl5	CA101	…	…
CuAl6Si2Fe	CA107	CW301G	…
CuAl7Si2	…	CW302G	C64200
CuAl7	CA102	…	C61400
CuAl7Fe3	…	…	…
CuAl8Fe3	CA106	CW303G	C62300
CuAl9	CA103	…	…
CuAl9Pb	…	…	…
CuAl9Ni3Fe2	…	CW304G	…
CuAl9Fe2Ni2Mn2	…	…	…
CuAl10Fe1	…	CW305G	C61800
CuAl10Fe3Mn2	…	CW306G	…
CuAl10Ni5Fe4	CA104	CW307G	C63000
CuAl10Fe3Ni7Mn2	CA105	…	…
CuAl10Fe3Ni5Mn2	…	…	…
CuAl10Fe5Ni5Mn2	…	…	…
CuAl11Fe6Ni6	…	CW308G	…
CuMn12Al8Fe3Ni2	…	…	…

Source: Copper Development Association

ตารางที่ 15 (-ต่อ-) การเทียบระบบเรียกขานชนิดโลหะทองแดงขึ้นรูปกับโลหะทองแดงเจือขึ้นรูป (Wrought copper and copper alloys) ระหว่าง ISO, BS, EN (CEN) และ UNS

Table 7 Cross-reference for ISO, British Standard, CEN, and UNS cast copper and copper alloy designations

ISO	British Standard	CEN	UNS
High-conductivity coppers			
Cu-C	HCC1	CC040A	…
G-CuSn	…	…	…
CuCr1-C	CC1-TF	CC140C	…
G-CuNiP	…	…	…
G-CuNi2Si	…	…	…
G-CuCo2Be	…	…	…
G-CuBe	…	…	…
Brasses (Cu-Zn alloys)			
CuZn15As-C	SCB6	CC760S	…
G-CuSn25Pb3Sn2	SCB1	…	C85200
CuZn33Pb2-C	SCB3	CC750S	…
G-CuZn36Sn	SCB4	…	…
CuZn39Pb1Al-C	DCB3	CC754S	C85700
CuZn39Pb1AlB-C (fine grained)	DCB3a	CC755S	C85700
G-CuZn40PB	PCB1	…	…
CuZn38Al-C	DCB1	CC767S	C85700
CuZn37Al1-C	…	CC766S	…
CuZn35Pb2Al-C(As 0.15)	DZR1	CC752S	…
CuZn33Pb2Si-C	DZR2	CC751S	…
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	…	CC753S	…
Special copper-zinc alloys (high tensile brasses)			
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	HTB1	CC765S	C86400
CuZn32Al2Mn2Fe1-C	HTB1 (Pb)	CC763S	C86700
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	…	CC764S	…
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	HTB3	CC762S	C86200
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	…	CC753S	…
CuZn16Si4-C	…	CC761S	C87400
Copper-tin-phosphorus alloys			
CuSn11P-C	PB1	CC481K	…
G-CuSn11	CT1	…	…
CuSn10-C	…	CC480K	…
CuSn12-C	PB2	CC483K	…
CuSn12Ni-C	CT2	CC484K	C91700

ISO	British Standard	CEN	UNS
Copper-tin-phosphorus alloys			
CuSn11Pb2-C	PB4	CC482K	C92700
G-CuSn8Pb4Zn1	LPB1	…	C93100
Copper-tin-lead alloys (leaded bronzes)			
CuSn5Pb9-C	LB4	CC494K	C93500
CuSn10Pb10-C	LB2	CC495K	C93700
CuSn7Pb15-C	LB1	CC496K	C93800
CuSn5Pb20-C	LB5	CC497L	C94300
Copper-tin-zinc-lead alloys (gunmetals)			
G-CuSn10Zn2	G1	…	C90200
G-CuSn8Zn4Pb	G2	…	C90300
G-CuSn7Ni5Zn3	G3	…	…
CuSn3Zn8Pb5-C	LG1	CC490K	C83800
CuSn5Zn5Pb5-C	LG2	CC491K	C83600
G-CuSn7Pb4Zn2	LG3	…	C92200
CuSn7Zn2Pb3-C	LG4	CC492K	…
CuSn7Zn4Pb7-C	…	CC493L	…
Copper-nickel alloys			
CuNi30Cr2FeMnSi-C	CN1	CC382H	…
CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	CN2	CC383H	…
CuNi10Fe1Mn1-C	…	CC380H	…
CuNi30Fe1Mn1-C	…	CC381H	…
Copper-aluminum alloys (aluminum bronzes)			
CuAl9-C	…	CC330G	…
G-CuAl9Fe2Mn3	…	…	…
CuAl10Fe2-C	AB1	CC331G	C95200
CuAl10Ni3Fe2-C	…	CC332G	…
CuAl10Fe5Ni5-C	AB2	CC333G	C95500
G-CuAl6Si2Fe	AB3	…	…
G-CuAl11Fe5Ni5Mn2	…	…	…
CuAl11Fe6Ni6-C	…	CC334G	…
CuMn11Al8Fe3Ni3-C	CMA1	CC212E	…
G-CuMn13Al9Fe3Ni3	CMA2	…	…

Source: Copper Development Association

ตารางที่ 16 การเทียบระบบเรียกขานชนิดโลหะทองแดงหล่อกับโลหะทองแดงเจือหล่อ (Cast copper and copper alloys) ระหว่าง ISO, BS, EN (CEN) และ UNS

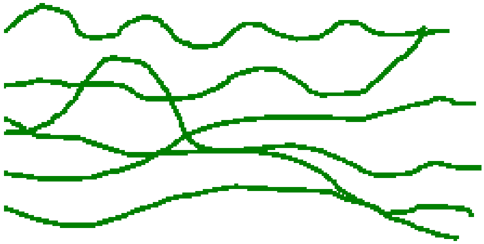
จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดใบพัด มอก. 1021-2534 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดลูกสูบ มอก. 1271-2538 ได้กำหนดให้ใช้วัสดุทองบอรนซ์ ทองเหลืองแท่งตีขึ้นรูป เหล็กกล้าไร้สนิมและวัสดุสังเคราะห์ซึ่งเข้าใจว่าเป็นพวกโพลีเมอร์พลาสติก ดังนั้นเราอาจจำเป็นต้องเลี้ยวมาดูวัสดุสังเคราะห์พวกพลาสติกดู แต่ในใจก็ยอมรับว่ามันหวั่นๆใจเช่นกันเนื่องจากความหลากหลายและกว้างมากของการสังเคราะห์ของวัสดุสังเคราะห์นั้นเอง ก็พยายามหาเอกสารของกลุ่ม 4MS ซึ่งงานนี้ได้มอบหมายให้ประเทศ Netherlands รับผิดชอบในด้านพวก Organic และประเทศ United Kingdom รับผิดชอบวัสดุอื่นๆที่นอกเหนือจากที่ได้แบ่งงานไปตามที่กล่าวไว้ในตอนต้น เรามาปูพื้นถนนดินแดงกันครับ

พลาสติก (Plastic)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติบางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว แต่บางชนิดแข็งตัวถาวร พลาสติกมีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม เป็นต้นพลาสติกพวกนี้จะถูกใช้ทำสิ่งต่าง ๆ เช่น เสื้อผ้า ฟิล์ม ภาชนะ เป็นต้น พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. **เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน** เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลก พลาสติกกลุ่มนี้เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนรูปทรงได้ โครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกกลุ่มนี้มีลักษณะเป็นโซ่ตรงยาวและมีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์ด้วยกันน้อยมาก (ดูรูปที่ 12) ดังนั้นจึงสามารถทำให้หลอมเหลวหรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากก็จะไม่ทำลายโครงสร้างเดิมแต่จะเปลี่ยนรูปร่างไปตามที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติพิเศษที่สำคัญอย่างหนึ่งคือเมื่อทำให้ชิ้นงานพลาสติกเดิมหลอมตัวลงแล้วสามารถนำเนื้อพลาสติกดังกล่าวกลับมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานใช้ใหม่ได้นั้นหมายถึงขีดความสามารถที่เป็นวัสดุที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ ถือเป็นวัสดุที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมส่วนจะมากน้อยเพียงใดก็ตามดูกันต่อไป (เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วมุมมองของคนทำงานด้านมาตรา

ชั่งตวงวัดในเชิงกฎหมายค่อยข้างมีนิสัยเป็นมิตรกับการค่อยๆดูใจกันนานๆ แล้วถึงจะไว้ใจกัน...555 แอบอ้างน่ะอย่าคิดมาก) พลาสติกกลุ่มนี้ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP), พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) (PE, PP, PS, SAN, ABS, PVC, Nylon, PET, PC) เป็นต้น



รูปที่ 12 โครงสร้างโมเลกุลเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นโซ่ตรงยาว

1.1. **พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)** เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อยแต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร ถือเป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ, ถัง, ถุง, ขวด, แท่นรองรับสินค้า เป็นต้น

เทอร์โมพลาสติก PE มีคุณสมบัติสำคัญคือ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี, มีความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมากแต่จะขุ่นเมื่อความหนาแน่นสูง ปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเริ่มละลายในตัวทำละลาย เทอร์โมพลาสติก PE ได้ถูกจำแนกเป็นหลายชนิดตัวหลักๆ ที่ใช้กันมากคือ **LDPE, LLDPE, MDPE** และ **HDPE** การใช้งานเทอร์โมพลาสติก PE มีอย่างกว้างขวางโดยมีตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ขวด, แผงบรรจุยาและสายน้ำเกลือ, ชิ้นส่วนรถยนต์, เชือก, แห, อวน, ถุงพลาสติก, ท่อและรางน้ำ, เครื่องใช้ในครัวเรือน, ของเด็กเล่น, ฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล, ดอกไม้พลาสติก, เคลือบหลังพรม, ผ้าใบพลาสติก, แผ่นฟิล์มสำหรับการบรรจุหีบห่อ, แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น

HDPE (High density polyethylene) พลาสติกชนิด HDPE มี

โครงสร้างทางเคมีที่เป็นกิ่งสาขาน้อยจึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง ทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิดจึงเหมาะสำหรับนำมาทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม, ของเด็กเล่น, เครื่องใช้ในบ้าน, เชือก, แห, อวน, ฉนวนไฟฟ้า, ถุงหูหิ้ว, ถุงขยะ, ท่อน้ำมัน, ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

1.2. **พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP)** เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอทิลีน (PE) เทอร์โมพลาสติก PP เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุดและมีความแข็ง ความเปราะและแตกง่ายน้อยกว่า HDPE, ทนต่อแรงกระแทก, ทนทานต่อการขีดข่วน, ไม่เสียรูปทรงง่าย, ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย ทั้งนี้ลักษณะของเทอร์โมพลาสติก PP จะขาวขุ่นหากไม่ผสมสี ไม่ทึบแสงและไม่ใส แต่มีความทึบแสงกว่าเทอร์โมพลาสติก PE แต่ไม่ใสเท่าเทอร์โมพลาสติก PS

เทอร์โมพลาสติก PP มีจุดหลอมตัวที่ 165 °C, ทนต่อความร้อนสูง สามารถทนอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ(สามารถผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ได้ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) ดังนันจึงนิยมนำมาใช้งานในทางการแพทย์หรือห้องปฏิบัติการเพราะทนต่อความร้อนสูง สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอบความดันได้ นอกจากนี้เพราะเป็นพลาสติกที่ทนต่อสารไขมันและความร้อนสูงดังนั้นจึงถูกนำไปใช้ทำแผ่นพลาสติถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน, หลอดดูดพลาสติก เป็นต้น รวมไปถึงสามารถนำไปผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารและยังสามารถนำเข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติได้และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้ และเทอร์โมพลาสติก PP ยังถูกนำไปผลิตเป็นฉนวนไฟฟ้าเพราะด้วยมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีและทนต่อสารเคมี

เทอร์โมพลาสติก PP ยังถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น เครื่องมือ, กระเป๋า, ปกแฟ้มเอกสาร, ตลับเครื่องสำอาง, ถุงร้อนฟิล์มใส, กระสอบข้าว, ถุงบรรจุปุ๋ย, พลาสติกหุ้มซองบุหรี่, เชือก, แหอวน ฯลฯ

1.3. **พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS)** มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น

พลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสไตรีนโนโมเมอร์มีน้ำหนักเบาที่สุดในพลาสติก

ชนิดแข็ง มีความคงรูปดีแต่เปราะ สามารถทำเป็นสีต่างๆได้และยืดหยุ่นได้จำกัด เทอร์โมพลาสติก PS นำมาผลิตเป็นแก้ว, กล่องโฟมใช้แล้วทิ้ง, จาน-ถาดพลาสติกใส่อาหาร, วัสดุช่วยพยุงในลอยน้ำ, ฉนวนกันความร้อน, ไม้บรรทัด, ไม้แขวนเสื้อ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดีเทอร์โมพลาสติก **PS เป็นสารที่ถูกสงสัยว่าก่อให้เกิดมะเร็ง**

หากเป็น **GPPS** จะเป็นพวก General Purpose Polystyrene เป็นพวกใช้งานทั่วไป ซึ่งปกติแล้วเทอร์โมพลาสติก PS จะไม่สามารถรับน้ำหนักได้เพราะเปราะ หากเป็น **HIPS** หรือ High Impact Polystyrene เป็นเทอร์โมพลาสติก PS ที่ได้จากการเติมสารเติมแต่งบางอย่างหรือการผสมกับพวกยางจึงเหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องรับแรงกระแทกแต่จะเสียความใสและอุณหภูมิใช้งานจะต่ำลง เหมาะสำหรับงงานตู้เก็บความเย็น, ตัวเรือนโทรทัศน์และวิทยุ, เฟอร์นิเจอร์, ของเด็กเล่น เป็นต้น

1.4. **SAN/AS Styrene-acrylonitrile** เป็นพลาสติกโปร่งใส ใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า, ชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น

เป็นโพลิเมอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติในการทนต่อความร้อนแต่เหนียวกว่าโพลิสไตรีน (PS) และยังคงคุณสมบัติของโพลิสไตรีนที่ดีไว้ได้ เช่น ความแข็งและโปร่งใส การใช้งานคล้ายคลึงกับกับโพลิสไตรีนแต่จะใช้ในกรณีที่ต้องการคุณสมบัติอื่นที่ดีกว่า เช่น จุดหลอมตัวที่สูงกว่า เทอร์โมพลาสติก SAN มักถูกนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือและเครื่องใช้ในครัวที่มีคุณภาพสูง

1.5. **ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene)** เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติคล้ายโพลิสไตรีน หรือ PS แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตถ้วย ถาด อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์, เครื่องกรองเลือด, อุปกรณ์กีฬา, ท่อส่งก๊าซ, พลาสติกชนิดนี้ถูกใช้เป็นวัสดุสำหรับเคส (Case) หรือตัวห่อหุ้มสินค้าภายนอก, เครื่องโทรศัพท์, คีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์, ตัวเรือนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค, โทรศัพท์มือถือ, โทรทัศน์, ไดร์เป่าผมหรือแม้แต่ของเด็กเล่นอย่างตัวต่อเลโก้ (LEGO) และเหมาะสำหรับผลิตสิ่งของที่ต้องใช้งานกลางแจ้งและงานตกแต่ง เช่น หมวกกันน็อค, แผงหน้าคอนโซลรถยนต์และอุปกรณ์ประดับยนต์ด้านนในตัวรถ

เนื่องจากโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก ABS เกิดจากการทำปฏิกิริยาของ

โมโนเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ Styrene (สไตรีน), Acrylonitrile (อะคริโลไนไตรล์) และ Polybutadiene (โพลีบิวทาไดอีน) โดยโมโนเมอร์แต่ละตัวมีคุณสมบัติที่โดดเด่นแตกต่างกัน ได้แก่ Styrene ทำให้พื้นผิวเป็นมันเงาตัดแต่งวัสดุได้ง่าย, Acrylonitrile มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและสารเคมี และ Polybutadiene มีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก ซึ่งผู้ผลิตเทอร์โมพลาสติก ABS มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ

1.6. **POM (Polyoxymethylene)** เป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงและทนความร้อน, มีน้ำหนักเบาและเหนียว ไม่อมความชื้นและทนกระแสไฟฟ้าได้ จึงเหมาะกับนำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากนั้นเทอร์โมพลาสติก POM มีความแข็งแรงทนทานเหมาะกับการใช้งานแทนเหล็กเพื่อลดน้ำหนักของชิ้นงานจึงมักนำเทอร์โมพลาสติก POM กัดเป็นเฟืองของเครื่องจักรกลไกที่ไม่ต้องรับภาระแรงสูงมากนักได้ ตัวอย่างคุณสมบัติ POM ดังในตารางที่ 17

1.7. **พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC)** ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร และป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส

เทอร์โมพลาสติก PVC เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานกว้างขวาง มีความยืดหยุ่นสูง มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อติดไฟจะดับได้ด้วยตัวเอง ป้องกันไขมันได้จึงนำไปทำเป็นขวดบรรจุน้ำมันและไขมันสำหรับปรุงอาหาร ขวดน้ำมันพืช ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์เป็นต้น แผ่นพลาสติกห่อเนยแข็ง, ทำแผ่นแลมิเนตชันในของถุงพลาสติก

เนื่องจากเทอร์โมพลาสติก PVC เป็นพลาสติกที่แข็งแต่เปราะและสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนหรือเมื่ออยู่ภายใต้แสงแดดเป็นเวลานานจึงมีการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ลงไป เช่น สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticizer) ลงไปเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ผู้ผลิตต้องการ ทำให้เทอร์โมพลาสติก PVC กลายเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรง ทนร้อน ทนไฟ ได้ดีกว่าและคงทนกว่า

DURACON® POM Grade Line Up Table

Property	Characteristic	Grade	UL94
Standard	High viscosity	M25-44	HB
	Standard	M90-44	HB
	High flow	M140-44	HB
	High flow, High cycle	M270-44	HB
	Super high flow, High cycle	M450-44	HB
	Standard	M90FC	—
High rigidity	High viscosity	HP25X	HB
	Standard	HP90X	HB
	High flow	HP270X	HB
Creep resistant	Creep resistant	CP15X	HB
Weather resistant	High viscosity	M25-45	HB
	Standard	M90-45	HB
	High flow	M270-45	HB
	Low gloss, Light-resistant	LU-02	HB
High sliding	Special lubricant, High sliding	AW-01	HB
	Special lubricant, High sliding, High viscocity	AW-09	HB
	Special lubricant, High sliding	JW-03	HB
		NW-02	HB
		LW-02	HB
		SW-01	HB
	High sliding, High rigidity, High flow	SW-22▲	HB
	High sliding, High rigidity	SW-41▲	HB
	High sliding, High rigidity, Low warpage	TW-31	HB
		TW-51	HB
	Molybdenum disulfide filled, Wear resistant	MS-02	HB
	Oil containing, Wear resistant	OL-10	HB
	PTFE filled, Wear resistant	YF-5	HB
		YF-10	HB
		YF-20	HB
Mineral reinforced	High rigidity, Low warpage	TR-5	HB
		TR-20	HB
		TR-10D	HB
	High rigidity, Wear resistant	KT-20▲	HB
GF reinforced	GF10% reinforced	GH-10	HB
	GF20% reinforced, High strength, High rigidity	GH-20	HB
	GF25% reinforced, High strength, High rigidity	GH-25	HB
	GF25% reinforced, High flow, High strength, High rigidity	GH-25D	HB
Low warpage	GB25% reinforced	GB-25R	HB
	GF20% reinforced	GM-20	HB
High impact, Flexible	High impact, Flexible	SF-10	HB
		SF-15	HB
		SF-20	HB
		TF-20	—
		TF-30	—
Flexible	Lower noise	SX-35	HB
Electric conductive	Wear resistant, CF reinforced	CH-10	HB
		CH-15	—
		CH-20	HB
	Antistatic	EB-08	HB
		EB-10	HB
		ES-5	HB
		EW-02	HB
Low VOC	High viscosity	M25LV	HB
	Standard	M90LV	HB
	High flow	M270LV	HB
	Weather resistant	M90-45LV	HB
		M270-45LV	HB
	Low gloss, Light-resistant	LU-02LV	—
	Tough	SF-15LV	—
		TF-10LV	—
	High sliding	AW-01LV	HB
		NW-02LV	HB
		PW-01LV	HB
		SW-01LV	HB
	Mineral reinforced	TR-20LV	HB
	GF 25% reinforced	GH-25LV	HB
Extrusion molding	Melted extrusion molding	FP15X	HB
	For extrusion	M25-34	HB
Others	Heat resistant	M90-71	HB
	Chlorine water resistant	WR-01	—

*All grades are subjected to Japan's Ministerial Ordinance for Export Trade Control.
▲Importing this grade into European Union is currently restricted. For more information, please contact our sales representative.

ตารางที่ 17 เทอร์โมพลาสติก POM ของบริษัท DURACON

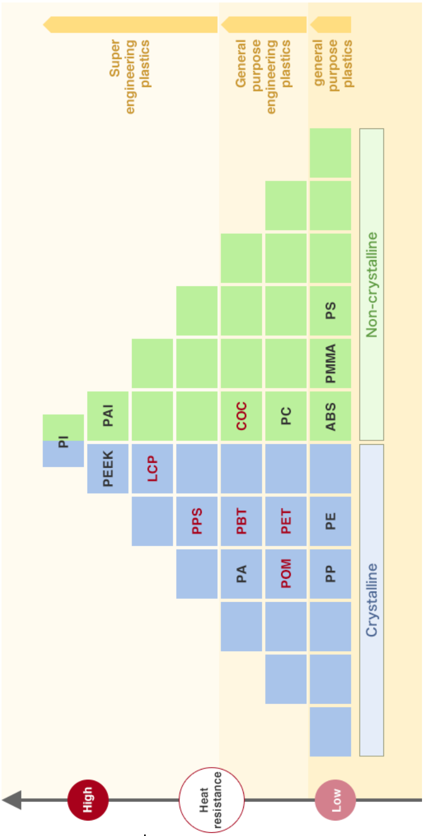
เทอร์โมพลาสติก PVC เป็นพลาสติกใช้ทำของใช้ในบ้าน, ท่อน้ำ ข้อต่อท่อน้ำ, ฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล, แผ่นพลาสติก, ฟิล์ม, หนังเทียม, รองเท้า, บัตรเครดิต, ทำจานแผ่นเสียง, อุปกรณ์รถยนต์, ขวดพลาสติก, ของเด็กเล่น

1.8. **พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET)** เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมากโปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุอาหารและขวดน้ำดื่ม เป็นต้น

1.9. **พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC)** เป็นพลาสติกที่มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยืดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรดแต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหารจับยาก ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้ทำถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก

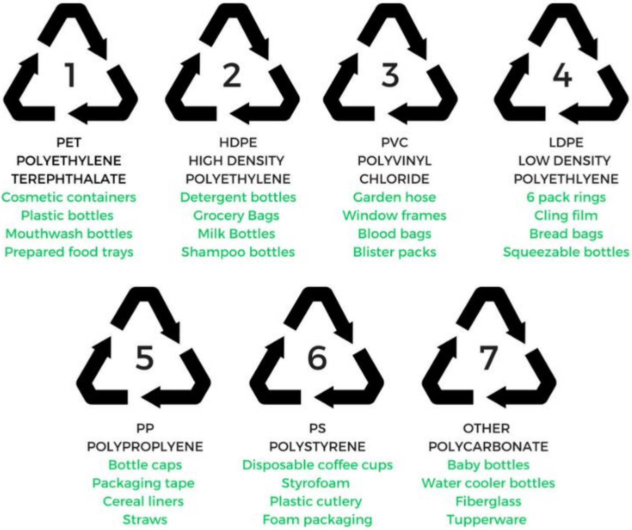
1.10. **ไนลอน (Nylon)** พอลิเอไมด์ (polyamide) หรือ ชื่อที่ถูกใช้โดยทั่วไปทางด้านการค้า คือไนลอน (nylon) คือ พลาสติกที่ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของเอไมด์ (amide, CHONH) และกรดอินทรีย์มีการเพิ่มสารแต่งเติม (filler & additives) ประเภทกราไฟต์และโมลิบเดนั่มไดซัลไฟต์ (graphite & molibdenum disulphite) ทำให้เพิ่มสมบัติให้ดียิ่งขึ้น เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ทำแผ่นแลมิเนตสำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ

ในกรณีที่ผู้ผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำใช้วัสดุสังเคราะห์เทอร์โมพลาสติกพวก ABS, Nylon6, PP และ PE ดูในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าเป็นวัสดุที่มีคุณภาพไม่สูงมากนักโดยเฉพาะ ABS จึงไม่แน่ใจว่าจะไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีเข้าสู่ระบบน้ำดื่มมากน้อยเพียงใด และในกรณีที่วัสดุสังเคราะห์ Composited Thermoplastic เช่น Noryl Resin (หรือ Noryl Thermoplastic) ที่มีส่วนผสมของ Polyphenylene Oxides (PPO) or polyphenylene ether (PPE) resins กับพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ยิ่งสร้างความกังวลมากเพราะพอลิสไตรีนถูกสงสัยว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งก็ต้องตรวจสอบกันอีกทีเพื่อความมั่นใจ



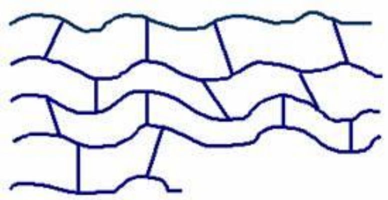
รูปที่ 13 วัสดุสังเคราะห์ที่พบว่ามีการใช้งานกับมาตรวัดปริมาตรน้ำ

รูปที่ 14 ตัวเรือนมาตรวัดปริมาตรน้ำทำด้วย วัสดุสังเคราะห์ Composited Thermoplastic (Itron)



รูปที่ 15 การรีไซเคิลของพลาสติกกลุ่มเทอร์โมพลาสติก

2. **เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (Thermosetting plastic)** เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปทรงได้ยากแต่ถ้าอุณหภูมิสูงพลาสติกกลุ่มนี้จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกกลุ่มนี้มีโมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับประสานกันแน่นส่งผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก (ดูรูปที่ 16) จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อนหากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกกลุ่มนี้ให้เป็นรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดพร้อมกันไปด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่ : เมลามีน, phenol-formaldehyde, epoxy, polyester, urethane และ polyurethane เป็นต้น



รูปที่ 16 โครงสร้างโมเลกุลเทอร์โมเซตติ้งพลาสติกเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น

2.1. **เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)** มีสมบัติทางเคมีทนแรงดันได้ 7,000-135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 140 องศาเซลเซียส และทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก ด้วยข้อดีดังกล่าวเมลามีนจึงถูกนำไปใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิดได้รับความนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบและลวดลายสวยงาม เช่น ผลิตภัณฑ์ศรีไทยซุปเปอร์แวร์ เป็นต้น ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่างดูไม่สวยงามแต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติก

2.2. **ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde)** พลาสติกชนิดนี้มีความต้านทานต่อตัวทำละลายสารละลายเกลือและน้ำมันได้ดีแต่พลาสติกชนิดนี้อาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์ พลาสติกชนิดนี้จึงถูกนำไปใช้ทำฝาจุกขวดและฝาหม้อ

2.3. **อีพ็อกซี (Epoxy)** ถูกนำไปใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือนและท่อเก็บก๊าซ ใช้ในการเชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และเซรามิก ใช้ในการหล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะและเคลือบผิวอุปกรณ์ ใช้ใส่ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ใช้เคลือบผิวของพื้นและผนัง ใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน ซีเมนต์ และปูนขาว ใช้เคลือบผิวถนน เพื่อกันลื่น ใช้ทำโฟมแข็ง ใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว

2.4. **พอลิเอสเตอร์ (Polyester)** กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ (-O•CO-) ในหน่วยซ้ำ เป็นพอลิเมอร์ที่นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ทำพลาสติก

สำหรับเคลือบผิว ขวดน้ำ เส้นใย ฟิล์มและยาง เป็นต้น ตัวอย่างพอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต พอลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต และพอลิเมอร์ผลึกเหลวบางชนิด

2.5. **ยูรีเทน (Urethane)** ชื่อเรียกทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต มีสูตรทางเคมีคือ $NH_2COOC_2H_5$

2.6. **พอลิยูรีเทน (Polyurethane)** พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน (–NH•CO•O-) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซยาเนต (di-isocyanates) กับ ไดออล (diols) หรือไทรออล (triols) ที่เหมาะสม ใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงา พลาสติกและยาง ชื่อย่อคือ PU

เท่าที่ทราบยังไม่มีการนำเอาเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (Thermosetting plastic) มาผลิตเป็นตัวเรือนมาตรวัดปริมาตรน้ำ แต่อนาคตก็ไม่ทราบได้ เอาเป็นว่าความรู้เรื่องพลาสติกถือเป็นความรู้เครื่องเคียงก็แล้วกัน ที่จะบ่งบอกให้เห็นว่าการเลือกใช้พลาสติกหรือวัสดุสังเคราะห์ในกลุ่มเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (Thermosetting plastic) สำหรับงานมาตรวัดปริมาตรน้ำนั้นมีน้อยครับ

สุดท้ายการพิจารณาเลือกใช้วัสดุกับระบบน้ำดื่มของเราจำเป็นต้องเฝ้าดูการทำงานของกลุ่มประเทศ 4MS ว่ามีผลงานเอกสารการศึกษาวิจัย ผลการทดสอบวัสดุโลหะ วัสดุคอนกรีต หรือวัสดุสังเคราะห์ใดที่มีอยู่ในวงการอุตสาหกรรมจะถูกยินยอมหรืออนุญาตให้นำมาใช้และยอมให้สัมผัสกับน้ำดื่มโดยตรงแล้วยังมีการปนเปื้อนในระดับที่ยอมรับได้และน้ำดื่มยังได้คุณภาพตามที่ WHO ระบุไว้ต่อไป เนื้อหาที่เขียนมาทั้งหมดนี้เพื่อขยายความประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561 ข้อ13 (3) ประมาณแค่ 1 บรรทัดกับนิดหน่อยเองน่ะครับ หวังว่าพอได้สาระในระดับประมาณกำลังดีน่ะครบขอรับท่าน จบเรื่องเพียงแค่นี้ (อ่านกันบ้างน่ะ)......สาธุ

มาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง (Class) B เดิม จะระบุข้อมูลอย่างไรตามประกาศกระทรวงฯฉบับใหม่

กฎกระทรวง กำหนดเครื่องวัดที่อยู่ในบังคับแห่งพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ชนิด ลักษณะ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และเครื่องรับรองของเครื่องชั่งตวงวัด และหลักเกณฑ์และวิธีการจดทะเบียนเครื่องหมายเฉพาะตัว พ.ศ.2546 (ต่อไปนี้เรียกว่า “กฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546”) เป็นฉบับที่กำหนดรายละเอียดเครื่องชั่งตวงวัดภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ได้กำหนดชั้นความเที่ยงของมาตรวัดปริมาตรน้ำออกเป็น 3 ชั้นความเที่ยงดังรูปที่ 1.1

เมื่อมีการปรับปรุงกฎหมายเพิ่มเติมคือ พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2557 ได้กำหนดให้การกำหนดชนิด ลักษณะ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งตวงวัดสามารถออกเป็นประกาศกระทรวงฯ ภายใต้คำแนะนำคณะกรรมการชั่งตวงวัดเสนอต่อรัฐมนตรีกระทรวงพาณิชย์ ด้วยเหตุนี้และประกอบกับกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 ได้ใช้มาเป็นเวลานานเกือบ 20 ปี และประกอบกับเทคโนโลยีของโลกเปลี่ยนแปลงไปและประกอบกับ OIML ได้ออก OIML Recommendation ใหม่มาหลายรุ่นแล้วและประกอบกับ (กับอีกหลายประกอบ..กับ) จึงได้มีประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิตและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561 (ต่อไปนี้เรียกว่า “ประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561”) ไปดูได้ใน www.cbwmthai.org ในหน้ากฎหมายน่ะ ได้แบ่งชั้นความเที่ยงออกเป็น 2 ชั้นความเที่ยงโดยชั้นอัตราการไหลเป็นตัวแบ่งพร้อมเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งเราจะได้คุยกันต่อไป (ดูรูปที่ 1.2)

ข้อ ๗๘ การกำหนดชั้นความเที่ยงของการวัดของมาตรวัดปริมาตรน้ำตามค่าอัตราการไหลระบุ (Q_n) ค่าอัตราการไหลต่ำสุด (Q_{min}) และค่าอัตราการไหลเปลี่ยนช่วง (Q_t) ให้เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ชั้นความเที่ยงของการวัด	ค่าอัตราการไหลต่ำสุด (Q_{min})	ค่าอัตราการไหลเปลี่ยนช่วง (Q_t)
ชั้น A		
Q_n < ๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๔ Q_n	๐.๑ Q_n
Q_n ≥๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๘ Q_n	๐.๓ Q_n

ชั้นความเที่ยงของการวัด	ค่าอัตราการไหลต่ำสุด (Q_{min})	ค่าอัตราการไหลเปลี่ยนช่วง (Q_t)
ชั้น B		
Q_n < ๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๒ Q_n	๐.๐๘ Q_n
Q_n ≥๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๓ Q_n	๐.๒ Q_n
ชั้น C		
Q_n < ๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๑ Q_n	๐.๐๑๕ Q_n
Q_n ≥๑๕ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	๐.๐๐๖ Q_n	๐.๐๑๕ Q_n

รูปที่ 1.1 ตารางแบ่งชั้นความเที่ยงมาตรวัดปริมาตรน้ำตามกฎกระทรวงพาณิชย์ ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (ยกเลิกไปแล้ว)

ข้อ ๑๖ ความเที่ยงของระบบการวัดปริมาตรน้ำ แบ่งเป็น ๒ ชั้น ดังนี้

(๑) ชั้นหนึ่ง สัญลักษณ์ ๑ หรือ 1

(๒) ชั้นสอง สัญลักษณ์ ๒ หรือ 2

รูปที่ 1.2 การแบ่งชั้นความเที่ยงมาตรวัดปริมาตรน้ำตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ พ.ศ. 2561

พอปี่แป่เชิดก็เจอคำถามหลายคำถาม แต่คำถามที่โดนเข้าดั๊งปลายจมูกและมึนๆๆ ไปพักหนึ่งเพราะตามความคิดคนที่อยู่ในวงการมาตรวัดปริมาตรน้ำเป็นเวลานานก็เป็นต่อในด้านความคิดและประสบการณ์ เราเลยต้องมาตั้งหลักก่อนแล้วค่อยๆแกะความคิดเค้าและค่อยๆประติดประต่อความคิดเรา จนถึงจุดหนึ่งก็ตอบเค้า

ไป แต่อย่างว่าอย่าให้เสียของ เพราะหลายคนอาจมีความคิดนี้ และหลายคนก็ไม่มีความคิดนี้ ก็ถือว่าเป็นการแบ่งปันความรู้ระหว่างคนทำงานในด้านชั่งตวงวัดก็แล้วกัน ยกคำถามที่ว่า

ปุจฉา.......

"......ทำให้เกิดความสับสนในการเลือกใช้มาตรวัด เช่น ถ้ามาตรวัดปริมาตรน้ำเดิมเป็น Class B เมื่อผลิตเป็น Version ใหม่เป็นค่า R จะเป็นค่า R เท่าไร

ยกตัวอย่างเช่น มาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B ขนาด 15 mm มี Q_1 = 30 l/h, Q_3 = 1,500 l/h ดังนั้น R ควรเป็น 50 แต่มีการตีความว่า Q_3 กลายมาเป็น 2,500 l/h โดย Q_1 = 30 l/h และ R = 80 ทั้งนี้เพราะชั่งตวงวัดใช้ทดสอบที่ $0.5Q_3$ = 0.5(2,500) = 1,250 l/h และที่ Q_1 = 30 l/h เมื่อเป็นอย่างนั้นแล้วทำให้ผู้ผลิตต้องแสดงระบุรายละเอียดลักษณะมาตรวัดปริมาตรน้ำตามประกาศกระทรวงฯ ฉบับใหม่เป็น Q_3 = 2.5 m^3/h และ Q_3/Q_1 = R = 80 ถูกต้องหรือไม่ ?

ยกตัวอย่างในกรณีมาตรวัดปริมาตรน้ำที่มีส่วนแสดงค่าเป็นไฟฟ้า ถ้านำเข้าจากต่างประเทศได้ระบุรายละเอียดลักษณะมาตรวัดปริมาตรน้ำ Q_3 = 40 m^3/h Q_1 = 0.1 m^3/h และ Q_3/Q_1 = R = 400 ถ้านำเข้ามาขายในประเทศไทยจากหลักคิดดังข้างต้น ผู้นำเข้าฯจะต้องระบุรายละเอียดลักษณะมาตรวัดปริมาตรน้ำเสียใหม่เป็น Q_3 = 80 m^3/h Q_1 = 0.1 m^3/h และ Q_3/Q_1 = R = 800 เลยได้หรือไม่เพราะชั่งตวงวัดทดสอบแค่ $0.5Q_3$ = 0.5(80) = 40 m^3/h"

วิสัชนา.....

เริ่มแกะรหัสลับดาวินชีกันเลยครับ ในสไตล์ลอกเลียนแบบศาลธรรมนูญ

ประเด็นที่ 1 : ชั่งตวงวัดมีอำนาจภายใต้กฎหมายวินิจฉัยในประเด็นนี้ได้หรือไม่.... แฮะๆๆ การเรียกชื่ออัตราการไหลตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 เทียบกับประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 เราเปรียบเทียบดังตารางที่ 1 เพื่อความชัดเจนและป้องกันสับสนโดยเฉพาะอักษรตัวย่อทั้ง

ในเนื้อหาและสื่อการสอนโดยเฉพาะรูปภาพประกอบ

อัตราการไหล	**กฎกระทรวงพาณิชย์ฯ ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546**	**ประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561**	**เอกสารประกอบรูป**
อัตราการไหลต่ำสุด	Q_{min}	Q_1	q_{min}
อัตราการไหลเปลี่ยนช่วง	Q_t	Q_2	q_t
อัตราการไหลระบุ	Q_n	-	q_p
อัตราการไหลสูงสุด	Q_{max}	Q_3	q_s
อัตราการไหลทนทานสูงสุด	-	Q_4	-

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์กำกับอัตราการไหลของมาตรวัดปริมาตรน้ำ

โดยมีนิยาม (ดูรูปที่ 14 ประกอบ)

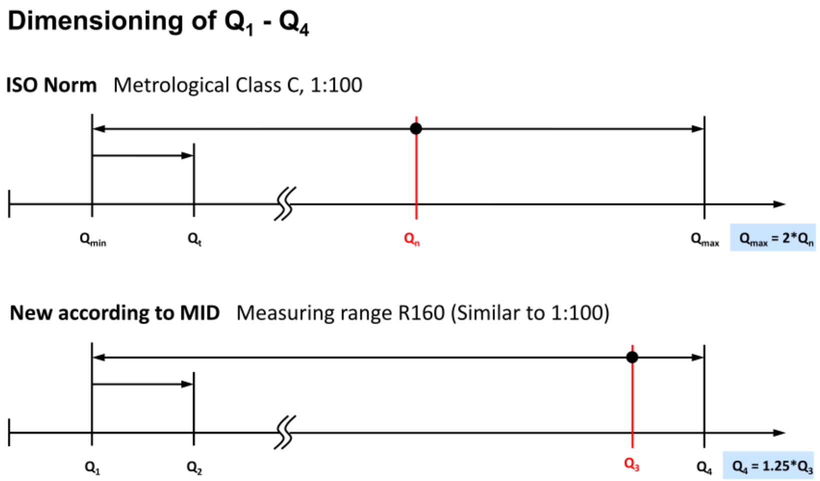
"อัตราการไหลต่ำสุด" (Q_1) หมายความว่า อัตราการไหลต่ำสุดที่มาตรวัดสามารถทำงานได้ โดยความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดไม่เกินไปกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด

"อัตราการไหลเปลี่ยนช่วง" (Q_2) หมายความว่า ค่าอัตราการไหลที่แบ่งช่วงการไหลข้างต่ำและช่วงการไหลข้างสูง และเป็นจุดที่เปลี่ยนค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดตามช่วงการไหลนั้นๆ

"อัตราการไหลสูงสุด" (Q_3) หมายความว่า อัตราการไหลสูงสุดที่มาตรวัดสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดความเสียหายกับตัวมาตรวัด และความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาตรของมาตรวัดไม่เกินไปกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด

"อัตราการไหลทนทานสูงสุด" (Q_4) หมายความว่า อัตราการไหลสูงสุดที่มาตรวัดสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดความเสียหายกับตัวมาตรวัด และความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดไม่เกินไปกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลสูงสุด

"อัตราการไหลระบุ" หมายความว่า อัตราการไหลที่มาตรวัดทำงานอย่างปกติทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องได้ โดยความคลาดเคลื่อนของมาตรวัดไม่เกินไปกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด และอัตราการไหลระบุมีค่าเป็น ๐.๕ เท่าของอัตราการไหลสูงสุด



รูปที่ 2 อัตราการไหลของมาตรวัดปริมาตรน้ำ

ประเด็นที่ 2 : เหตุที่ต้องระบุและนิยาม "อัตราการไหลระบุ" ทั้งๆที่ไม่ได้ใช้นิยามคำนี้ใดๆในประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 ก็ด้วยเหตุผลทางเทคนิคนั้นคือการกำหนดค่าธรรมเนียมในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรน้ำซึ่งกำหนดไว้ในกฎกระทรวงฯ ได้กำหนดค่าธรรมเนียมบนพื้นฐานของ "อัตราการไหลระบุ" ซึ่งหากต้องแก้ไขกฎกระทรวงฯดังกล่าวอาจใช้เวลานานมากน้อยก็ด้วยความเมตตาของคณะกรรมการกฤษฎีกาว่าพิจารณาใช้เวลานานมากน้อยเพียงใดก่อนส่งให้คณะรัฐมนตรีพิจารณาจากนั้นส่งกลับมายังรัฐมนตรีกระทรวงพาณิชย์เพื่อออกเป็นกฎกระทรวงต่อไป ชั่งตวงวัดเราเลยต้องใช้เทคนิคนี้ไปพลางๆก่อนน่ะครับทั้งนี้เพื่อให้งานได้เลื่อนไหล Smooth as Silk ครับ ไม่เช่นนั้นเมื่อออกประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 ไปแล้วแต่เมื่อทำการตรวจสอบให้คำ

รับรองมาตรวัดปริมาตรน้ำ มันไม่มีช่องทางเก็บเงินค่าธรรมเนียมเพราะเกิดการติดขัดกันระหว่างกฎกระทรวงพาณิชย์ กับประกาศกระทรวงพาณิชย์ ถ้าหากเด็กพาณิชย์ยกพวกตีกันพวกที่เป็นกฎกระทรวงใหญ่กว่าเด็กพาณิชย์พวกประกาศกระทรวง ดังนั้นเด็กประกาศกระทรวงถือว่าด้อยสิทธิ์กว่าโดยตีกระเจิงละลายสิครับพับผ้า ผลตามมาที่ไม่ต้องการก็คือชั่งตวงวัดดันไปเผลอกำหนดอัตราการไหลทดสอบด้วยคำนิยามเดิม "อัตราการไหลระบุ" ในระเบียบสำนักงานกลางชั่งตวงวัดฯ ล่าสุดอีก ตามที่อ้างถึงในปุจฉานั้นแหละครับ ยิ่งทำให้พวกท่านที่เกี่ยวข้องกับงานชั่งตวงวัดทางด้านมาตรวัดปริมาตรน้ำมึนกันต่อ ส่วนเหตุผลกลใดก็ไม่อยากพูดถึงครับ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องทำการปรับปรุงแก้ไขกันต่อไป

ประเด็นที่ 3 : ทางเทคนิคเราจัดกลุ่มมาตรวัดปริมาตรน้ำ 3 กลุ่มหลัก คือ แบบกลไก, แบบ Electromagnetic และแบบ Ultrasonic ดังในรูปที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามก็ขอให้ทำใจกว้างๆใจลอยๆไว้เพราะโลกมันเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีมันเปลี่ยนแปลง ปัญหาชีวิตแต่ละองค์กรที่มีมันแตกต่างกัน การแก้ไขปัญหาชีวิตแต่ละองค์กรก็ต่างกันไป

มาตรวัดปริมาตรน้ำในประเทศไทยก็มีครบทั้ง 3 แบบแหละครับแต่ที่มีมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก) นั้นมีเพียงแบบเดียวคือแบบกลไกที่มีส่วนแสดงค่าแบบกลไกและแบบอิเล็กทรอนิกส์ และมาตรวัดปริมาตรน้ำที่มีจำนวนใช้งานมากที่สุดในภาคครัวเรือนก็เป็นมาตรวัดปริมาตรน้ำแบบกลไกนี่แหละ ด้วยเหตุนี้เราจึงคุยเฉพาะมาตรวัดปริมาตรน้ำแบบกลไกเพื่อตีกรอบขอบเขตให้ชัดเจนไว้ก่อน

มาตรวัดปริมาตรน้ำแบบกลไกมีด้วยกัน 3 ชนิด หลายคนอาจมีความรู้มากมายอาจเถียงในใจว่ามันมีมากกว่านี้ ใช่ครับ แต่เพื่อตีกรอบการพูดคุยไม่ให้กระจายเราแบ่งในเบื้องต้นเพื่อความสะดวกในการพูดคุย คือ

1. **Volumetric Water Meter** เช่น Rotary Piston (ดูรูปที่ 4)
2. **Inferential Water Meter** เป็นมาตรวัดน้ำแบบกลไกที่มีใช้จำนวนมากที่สุดในประเทศไทยเพราะใช้ในภาคครัวเรือนสิครับ ถ้านึกไม่ออกเมื่อท่านกลับบ้านลองไปอยู่หน้าบ้านก้มลงดูมาตรวัดปริมาตรน้ำหน้าบ้านอยู่อาศัยของท่านก็จะเจอ

ครับ ถ้าพูดถึงหลักการทำงานมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิดนี้ก็คือ มาตรวัดชนิด Turbine นั้นเอง ซึ่งจะถูกแบ่งย่อยตามลักษณะของส่วนวัด หรือ Impeller (ดูรูปที่ 5)

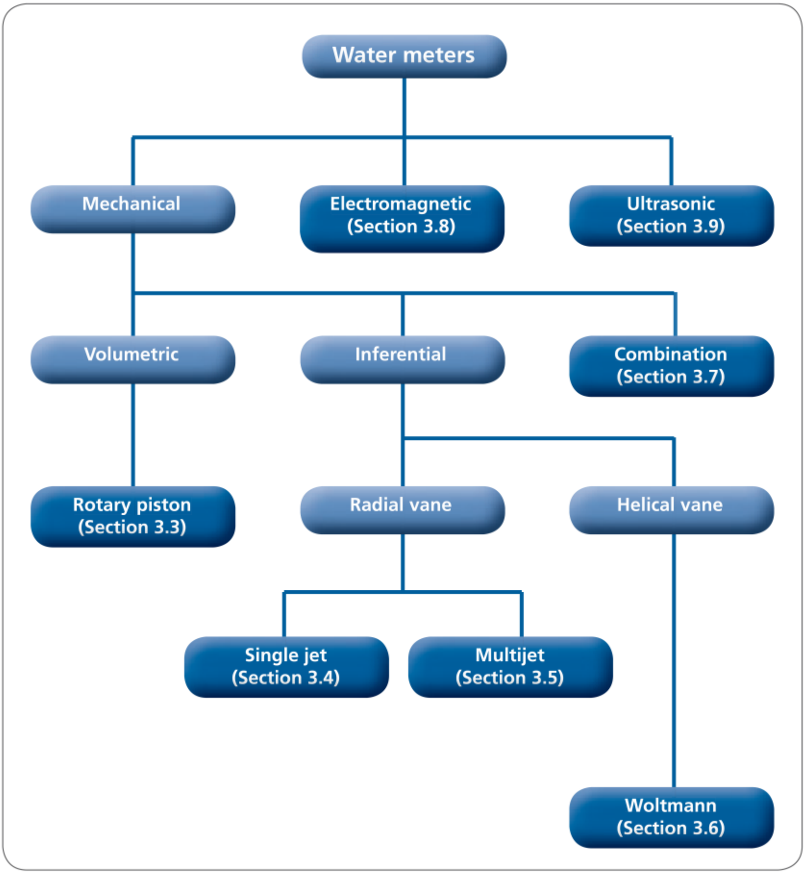


Figure 3-1 Classification of the common water meters covered in this chapter.

รูปที่ 3 การแบ่งกลุ่มมาตรวัดปริมาตรน้ำตามหลักการทำงาน

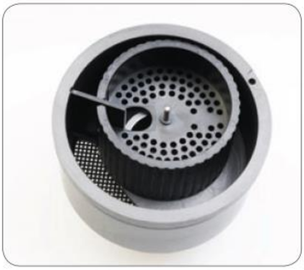
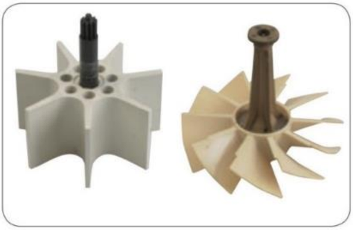


Figure 2-2 A rotating positive displacement meter sensor (sensor provided by Elster Kent)

Figure 3-3 Examples of rotary piston meters. (meters provided by Elster Kent, Itron and Sensus)

รูปที่ 4 ตัวอย่างมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Rotary Piston



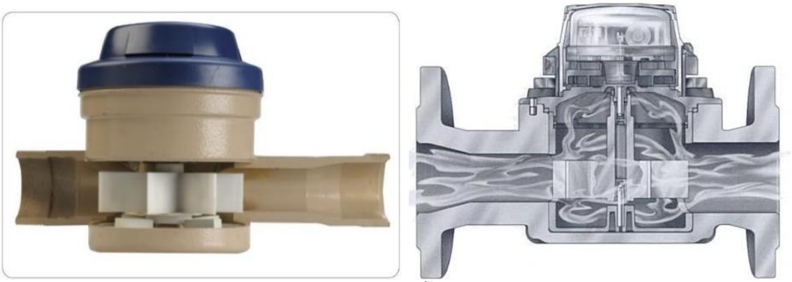
รูปที่ 5 รูปร่างลักษณะของ Impellers ในมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter

2.1. **แบบ Radial Vane Impeller** ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น

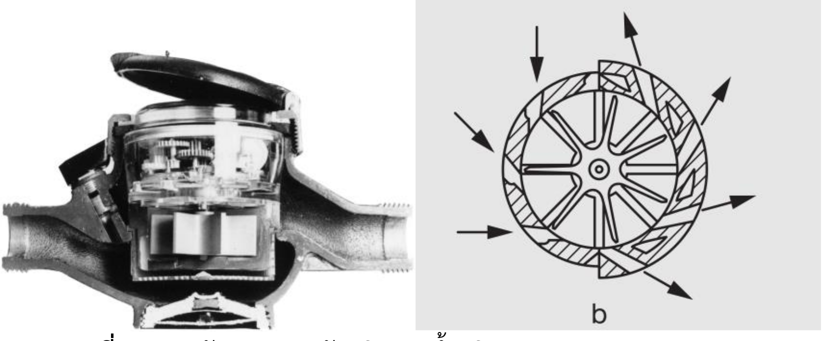
2.1.1. **Single Jet** น้ำไหลเข้ามาตรวัดปริมาตรวัดน้ำช่องทางเดียวแล้วผ่านการวัดด้วยส่วนวัดจากนั้นไหลออกจากมาตรวัดปริมาตรน้ำในช่องทางเดียว (ดูรูปที่ 6)

2.1.2. **Multi Jet** น้ำไหลเข้ามาตรวัดปริมาตรวัดน้ำหลายช่องทางแล้วผ่านการวัดด้วยส่วนวัดจากนั้นไหลออกจากมาตรวัดปริมาตรน้ำในหลายช่องทางเช่นกัน (ดูรูปที่ 7)

ทั้งนี้ในภาพรวมแล้วมาตรวัดปริมาตรชนิด Inferential Water Meter จะมีสมรรถนะของการทำงานที่มีผลผิดเทียบกับอัตราการไหลดังรูปที่ 8 และรูปที่ 14



รูปที่ 6 ภาพตัดของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter แบบ Single Jet



รูปที่ 7 ภาพตัดของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter แบบ Multi Jet

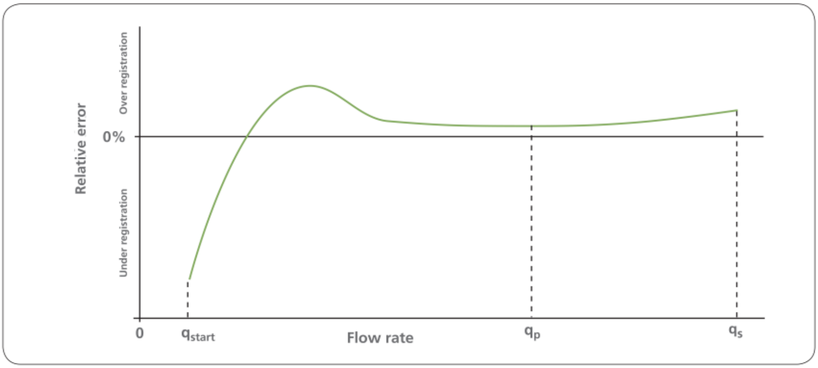


Figure 2-7 Typical error curve for an inferential meter

รูปที่ 8 สมรรถะของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter โดยทั่วไป

2.2. **แบบ Helical Vane Impeller** ที่นิยมเป็นแบบ Woltmann Water Meter มีทั้งแบบตัว Impeller ติดตั้งอยู่ในแนวนอนและในแนวตั้ง

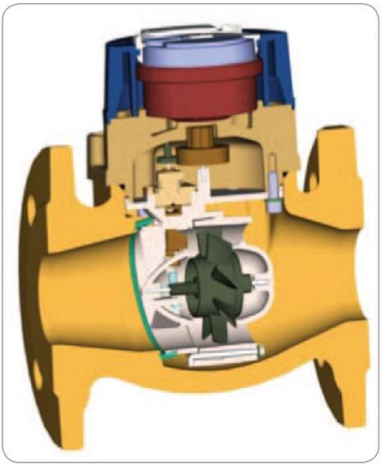


Figure 3-8 Section through a Horizontal (WP) Woltmann meter (courtesy of Itron)

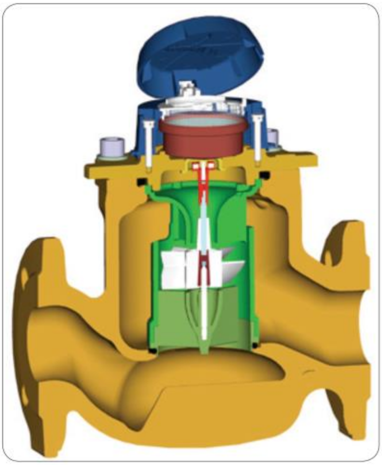


Figure 3-9 Section through a Vertical (WS) Woltmann meter (courtesy of Itron)

รูปที่ 9 ภาพตัดของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter แบบ Woltmann Water Meter

3. **Combination Water Meter** เป็นมาตรวัดปริมาตรน้ำที่มี 2 มาตรวัดทำงานร่วมกัน โดยมีมาตรวัดตัวหนึ่งทำงานวัดปริมาตรน้ำเมื่ออัตราการไหลต่ำ ขณะที่มาตรวัดอีกตัวจะไม่ทำงาน จนกระทั่งอัตราไหลปริมาตรน้ำเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่งจากนั้นมาตรวัดอีกตัวซึ่งไม่ทำงานก่อนหน้านี้จะมารับช่วงทำการวัดอย่างต่อเนื่องต่อจากมาตรวัดตัวแรกที่หยุดทำงาน แน่ละต้องมีรอยต่อระหว่างการส่งมอบงานกันในช่วงอัตราการไหลค่าหนึ่ง (ดูรูปที่ 10 และรูปที่ 11)

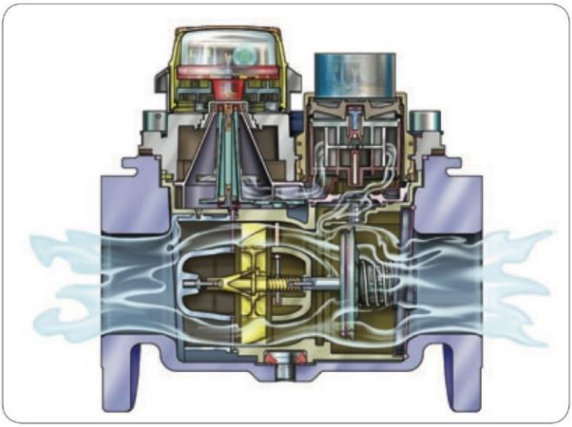


Figure 3-13 Section through a combination meter (Courtesy of Sensus)

Figure 3-14 Examples of combination meters (meters provided by Elster Kent, Sensus and Itron)

รูปที่ 10 มาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Combination Water Meter

ประเด็นที่ 4 : ตามที่กล่าวไว้ดังข้างต้นว่าเราขีดกรอบขอบเขตพิจารณามาตรวัดปริมาตรน้ำที่ใช้จำนวนมากที่สุดในครัวเรือน ดังนั้นเมื่อเรารู้จักชนิดของมาตร

วัดปริมาตรน้ำที่เราเกี่ยวข้อง เราจึงสมมุติว่าท่านเข้าใจหลักการทำงานของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter (ขอขี้โกงหน่อย เพราะจะให้พูดหลักการทำงานของมาตรวัดชนิด Turbine อีก... โถ มันเหนื่อยขอรับท่าน... อีกอย่างพวกท่านเก่งกว่าพวกผมอยู่แล้ว...) ซึ่งมีกราฟสมรรถะของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter (ดูรูปที่ 8) แต่ต้องระวังสับสนเรื่องสัญลักษณ์ของอัตราการไหลหน่อยครับหากสับสนให้กลับไปดูในตารางที่ 1 เพราะหารูปสวยๆเพื่อใช้อธิบายได้ไม่คล่องตัวเท่าที่ควรเพราะทำคนเดียวทุกอย่างไม่ทันการ

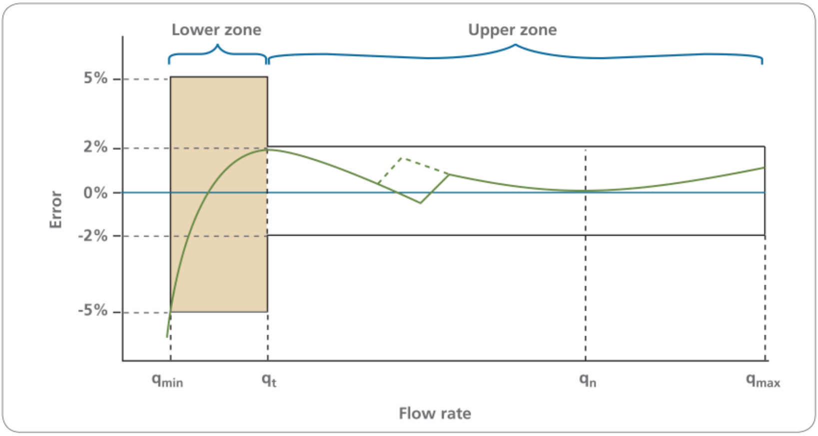


Figure 3-15 Typical error curve of a combination meter

รูปที่ 11 ตัวอย่างกราฟสมรรถะของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Combination Water Meter ตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (ยกเลิกไปแล้ว)

ประเด็นที่ 5 : กฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 กำหนดชั้นความเที่ยงของมาตรวัดปริมาตรน้ำออกเป็น 3 ชั้นความเที่ยงได้แก่ ชั้นความเที่ยง A, ชั้นความเที่ยง B และชั้นความเที่ยง C เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1 และเข้าใจหลักการทำงานมาตรวัดปริมาตรน้ำจะเข้าใจว่ามาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง C เป็นชั้นความเที่ยงที่ดีที่สุดเหมาะกับการใช้มาตรวัดปริมาตรน้ำภายในประเทศไทยเพราะอัตรา

การไหลของการส่งจ่ายน้ำประปาเรามีค่าความดันต่ำและอัตราการไหลต่ำ (ดูรูปที่ 17) แต่ในการผลิตจะแพงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นความเที่ยง B และ A ตามลำดับ พูดภาษาตรงๆก็คือชั้นความเที่ยง A มันไม่ได้ใจอ่ะ ทั้งถูกและไม่แม่นย่ำอ่ะ เคยเจอผู้ผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำว่าทำไมถึงไม่ผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง C ขาย ได้รับคำตอบว่า “แล้วแต่ความต้องการตลาด” อืมๆๆๆๆน่าคิด น่าคิด คำสอนของท่านเป้าน่าคิด ส่วนคุณจะคิดต่อหรือไม่ผมไม่ทราบ

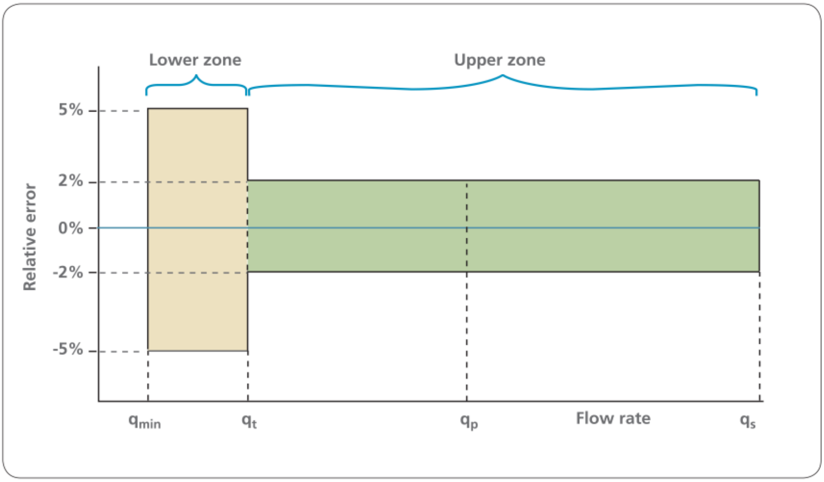


Figure 2-8 SANS 1529 requirements for meter accuracy

รูปที่ 12 กราฟแสดงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรน้ำ กฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (ยกเลิกไปแล้ว)

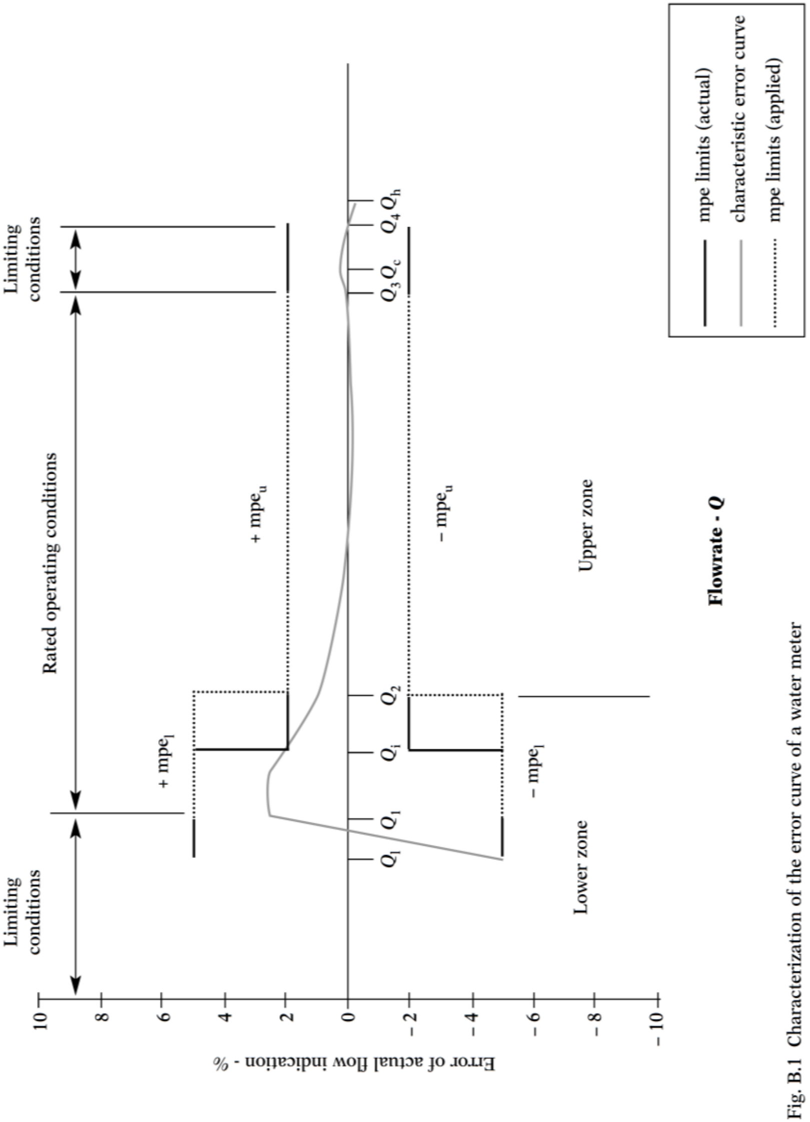
สรุปให้ว่าชั้นความเที่ยง C ให้ผลการวัดถูกต้องที่อัตราการไหลต่ำได้ดี แต่คาดว่าไม่มีใช้ในทั้งกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดทั่วราชอาณาจักรไทย เมื่อเราประเทศไทยเป็นประเทศเล็กๆ มี Economic Scale เล็กๆ ก็ถึงเวลาที่โลกที่เจริญแล้วประเทศใหญ่ๆ และมีบทบาทต้องการคุณภาพชีวิตดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นด้วยราคาที่ถูกลงเมื่อตลาดมีการแข่งขันสมบูรณ์ ตลาดการค้าเสรีนิยมของ Mr. Adam Smith ก็เริ่มทำงาน สังเกตได้จากได้มีการยกเลิกชั้นความเที่ยงของมาตรวัดปริมาตรน้ำออกเป็น 3 ชั้นความเที่ยงได้แก่ ชั้นความเที่ยง A, ชั้นความเที่ยง B และชั้นความเที่ยง C (มีชั้น

ความเที่ยง D ด้วยน่ะ) มาเป็นเพียง 2 ชั้นความเที่ยงคือ ชั้นความเที่ยง 1 และชั้นความเที่ยง 2 ซึ่งปรากฏใน OIML R49-2000 ถึงแม้จะยอมให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดยังคงเท่าเดิมแต่ในทางเทคนิคแล้วมันคือเหลือชั้นความเที่ยงเดียวเท่านั้นโดยประมาณ นั้นคือ “ชั้นความเที่ยง C” เดิมนั้นแหละครับท่าน คราวนี้ก็เป็นคำตอบที่ว่า “แล้วแต่ความต้องการตลาด” วันนี้ตลาดบังคับท่านแล้วแต่ท่านไม่เข้าใจ ท่านยังต้องการแปลงชั้นความเที่ยง B แบบเดิมให้เป็นและสอดคล้องกับชั้นความเที่ยง 1 และชั้นความเที่ยง 2 ซึ่งปรากฏใน OIML R49-2000 แล้วเราค่อยๆพูดคุยกัน

ชั้นความเที่ยง	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด เทียบกับปริมาตรที่ทดสอบ (V)	
	ช่วงการไหลข้างต่ำ	ช่วงการไหลข้างสูง
ชั้นหนึ่ง อุณหภูมิทางเข้ามาตรวัดปริมาตรน้ำ - ตั้งแต่ ๐.๑ ถึง ๓๐ องศาเซลเซียส - มากกว่า ๓๐ แต่ไม่เกิน ๕๐ องศาเซลเซียส	 ๓ % V ๓ % V	 ๑ % V ๒ % V
ชั้นสอง อุณหภูมิทางเข้ามาตรวัดปริมาตรน้ำ - ตั้งแต่ ๐.๑ ถึง ๓๐ องศาเซลเซียส - มากกว่า ๓๐ แต่ไม่เกิน ๕๐ องศาเซลเซียส	 ๕ % V ๕ % V	 ๒ % V ๓ % V

รูปที่ 13 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรน้ำประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561

จากตัวอย่างกราฟ MPE ในรูปที่ 15 โดยไม่ต้องพูดถึงชั้นความเที่ยงน่ะ เอาเฉพาะเกณฑ์อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) ล้วนๆ เราจะเห็นได้ว่ามาตรวัดปริมาตรน้ำ a (ไม่ใช่ชั้นความเที่ยง A น่ะ) และ b (ไม่ใช่ชั้นความเที่ยง B น่ะ) มีสมรรถนะผ่านเกณฑ์อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ในขณะที่มาตรวัดปริมาตรน้ำ c (ไม่ใช่ชั้นความเที่ยง C น่ะ) ไม่ผ่านเกณฑ์ช่วง Lower Zone (Q_1 - Q_2) และมาตรวัดปริมาตรน้ำ d (ไม่ใช่ชั้นความเที่ยง D น่ะ) ไม่ผ่านเกณฑ์ช่วง Upper Zone (Q_2 – Q_3) ที่อัตราการไหลมากกว่า Q_t (Q_2) เล็กน้อยและที่อัตราการไหลใกล้ Q_{max} (Q_3) ดังนั้นการที่จะบอกว่ามาตรวัดปริมาตรน้ำชนิดใด รุ่นใด มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จะรู้ได้เมื่อเราทดสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำดังกล่าวที่อัตราการไหลต่างๆ แล้วหาผลผิดมาเขียนกราฟ



รูปที่ 14 กราฟแสดงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรน้ำ OIML R49-2000 (ประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561)

สมรรถนะดังรูปที่ 15 เราจึงบอกได้ว่ามาตรวัดปริมาตรน้ำนั้นอยู่ชั้นความเที่ยงใดและมีผลผิดตามเกณฑ์อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 หรือไม่นั้นเอง (ดูรูปที่ 13) เท่านี้เริ่มพอตอบคำถามได้หรือยังว่าเราทดสอบแค่ที่ Q_n เท่านั้นก็พอ แล้วถามตัวเองสิครับว่ามันพอจริงๆ หรือเปล่า หากโกหกกับตัวเอง...บาปน่ะน้า...ผมไม่แช่งหรอก

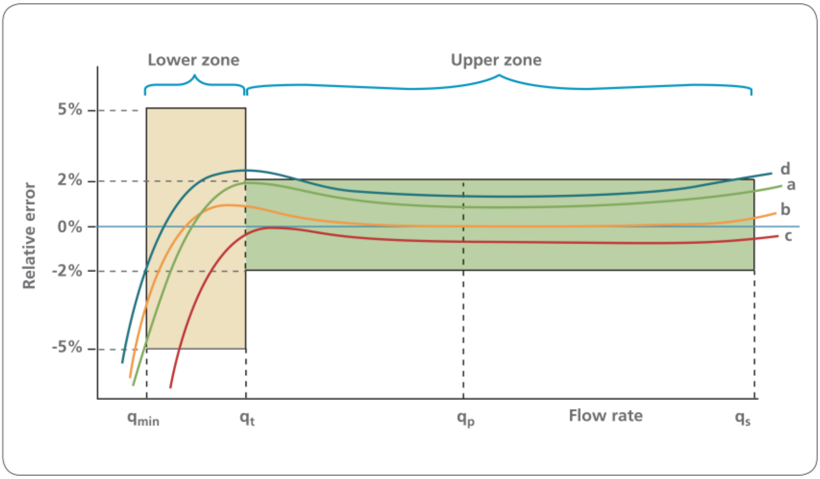


Figure 2-9 Examples of meters meeting the SANS 1529 standard (a and b) and not meeting the standard (c and d)

รูปที่ 15 ตัวอย่างกราฟสมรรถะของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential WM

ประเด็นที่ 6 : เริ่มขยับมาอีกขั้น หากพูดชั้นความเที่ยงนั้นเสมือเราพูดถึงช่วงของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) ที่เป็นช่วง Lower Zone และช่วง Upper Zone ซึ่งจะมีค่าต่างกัน เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นและมองภาพรวมให้ชัดก่อนขยับไปยังประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 เราย้อนกลับมาทำความเข้าใจกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 กันให้เข้าใจก่อน จึงต้องยังคงกล่าวถึงมาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง A, B, C และ D (ชั้นความเที่ยง D ไม่มีในกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 เลยขอเพิ่มมาในรูปที่ 16 ซึ่งดูคู่กับรูปที่ 12)

Table 2-1 Meter classes defined by SABS 1529 for permanent flow rates up to 10 m^3/h

Increasing stringency ↓

Meter class	Minimum flow rate (q_{min})	Transitional flow rate (q_t)
A	0.04 q_p	0.10 q_p
B	0.02 q_p	0.08 q_p
C	0.01 q_p	0.015 q_p
D	0.0075 q_p	0.0115 q_p

รูปที่ 16 ตารางแบ่งชั้นความเที่ยงมาตรวัดปริมาตรน้ำตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (ยกเลิกไปแล้ว) + Class D

ขอให้สังเกตมาตรวัดชั้นความเที่ยง B เทียบกับชั้นความเที่ยง C ให้ดี ตัวอย่างดังรูปที่ 17 มาตรวัดปริมาตรน้ำขนาด 15 mm Q_n 1,000 l/h และ Q_{max} 2,000 l/h เปรียบเทียบชั้นความเที่ยง A, B, C และ D (ในกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 เราไม่เอาชั้นความเที่ยง D เข้ามาเพราะมันดีเกินไปกระมังและกลัวว่าราคามาตรวัดปริมาตรน้ำจะแพงเกินความพอดี) ดังนั้นหากเราสังเกตุให้ดีจะเห็นว่า**ชั้นความเที่ยงมาตรวัดปริมาตรน้ำจะเปลี่ยนตาม Q_t และสัดส่วนระห่าง Q_t/ Q_{min} นั้นเอง ส่วนอัตราการไหล Q_n และ Q_{max} ก็คงที่ไม่แปรเปลี่ยน** ดังนั้นจากตัวอย่างในกราฟบ่งบอกเป็นนัยๆ ว่าจะข้ามชั้นความเที่ยงจาก B ไป C ต้องแน่ใจว่าตัวเองเจ๋งน่ะท่านมาคำนวณเป็นตัวอย่าง

Class A 15 mm,	Q_{min}	= 0.04Q_n	= 0.04(1,000)	= 40 l/h
	Q_t	= 0.1Q_n	= 0.1(1,000)	= 100 l/h
	Q_n	= 1,000 l/h		
	Qmax	= 2Qn	= 2(1,000)	= 2,000 l/h

ส่วน Class B, Class C และ Class D ลองเล่นดูน่ะ

ประเด็นที่ 7 : ประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 แบ่งออกเพียง 2 ชั้นความเที่ยงเอง ซึ่งใช้อัตราการไหลสูงสุดเป็นเงื่อนไข แต่เงื่อนไขที่อยู่เบื้องหลัง 4 หลักการหลักกลับชัดเจนว่าเป็นอย่างไร สรุปไว้ในรูปที่ 18

หลักการที่ 1 : ยึดหรือตรึงขีดความสามารถสูงสุดของมาตรวัดปริมาตรน้ำที่ต้องการ นั้นคืออัตราการไหลสูงสุด Q_3 (ถ้าเริ่มมึนกับสัญลักษณ์อัตราการ

Example: Consider a meter with a permanent flow rate of 1 m^3/h or 1 000 l/h. The minimum accuracy requirements for this meter is shown in Figure 2-10 for classes A to D.

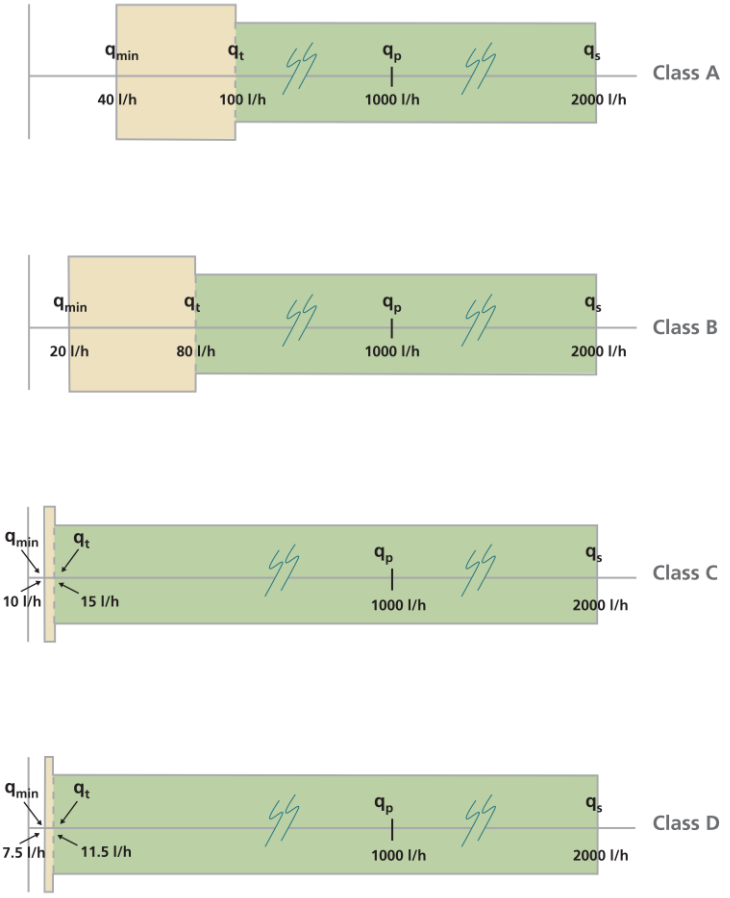


Figure 2-10 SANS1052 accuracy requirements for a meter with a permanent flow rate of 1 000 l/h for classes A to D.

รูปที่ 17 ตัวอย่างกราฟสมรรถะของมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Inferential Water Meter ขนาด 15 mm Q_n 1,000 l/h และ Q_{max} 2,000 l/h ชั้นความเที่ยง A, B, C และ D (แบบเก่า)

ไหลก็ขอให้กลับไปดูในตารางที่ 1 พร้อมรูปที่ 14) และหน่วยวัดต้องเป็น m^3/h เท่านั้น จึงใช้หลักการในข้อนี้

อนุกรมของค่าในข้อ 17 (1) ดูรูปที่ 18 ได้มาจากสูตร ISO3-1973, R5 (i = 1, 2, 3, 4, 5) และ b=5; $R(i,b) = 10^{i/b}$

ข้อ ๑๗ มาตรวัดปริมาตรน้ำต้องได้รับออกแบบและผลิตอยู่บนพื้นฐานระหว่างค่าอัตราการไหลสูงสุด ($Q_๓$) หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลสูงสุด ($Q_๓$) กับอัตราการไหลต่ำสุด ($Q_๑$) ต้องมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

(๑) ต้องมีอัตราการไหลสูงสุดหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นค่าใดค่าหนึ่งตามรายการหรือค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าอนุกรม ดังต่อไปนี้

๑	๑.๖	๒.๕	๔	๖.๓
๑๐	๑๖	๒๕	๔๐	๖๓
๑๐๐	๑๖๐	๒๕๐	๔๐๐	๖๓๐
๑๐๐๐	๑๖๐๐	๒๕๐๐	๔๐๐๐	๖๓๐๐

(๒) ต้องมีอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลสูงสุดกับอัตราการไหลต่ำสุด เป็นค่าใดค่าหนึ่งตามรายการ หรือค่าที่สูงกว่าค่าอนุกรม ดังต่อไปนี้

๑๐	๑๒.๕	๑.๖	๒๐	๒๕	๓๑.๕	๔๐	๕๐	๖๓	๘๐
๑๐๐	๑๒๕	๑๖๐	๒๐๐	๒๕๐	๓๑๕	๔๐๐	๕๐๐	๖๓๐	๘๐๐

(๓) ต้องมีอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเปลี่ยนช่วง ($Q_๒$) กับอัตราการไหลต่ำสุด ($Q_๑$) เท่ากับ ๑.๖

(๔) ต้องมีอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลทนทานสูงสุด ($Q_๔$) กับอัตราการไหลสูงสุด ($Q_๓$) เท่ากับ ๑.๒๕

รูปที่ 18 ข้อ 17 ในประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561

หลักการที่ 2 : ยืดตรึง หรือขึงพรืด (อย่าคิดมากน่า...) ขีดความสามารถมาตรวัดปริมาตรน้ำซึ่งเป็นมาตรวัดชนิด Turbine หรืออาจเรียกว่า Turn Down Ration ในรูปของ $R = Q_3/Q_1$ ดังนั้นมาตรวัดปริมาตรน้ำใดมีค่า Turn Down Ration สูงแสดงว่ามีความยืดหยุ่นที่นำไปใช้งานได้สูงเพราะให้ผลการวัดได้แม่นยำภายใต้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดครอบคลุมช่วงอัตราการไหลที่กว้างกว่า แต่หากมีค่า Turn Down Ration ต่ำแสดงว่าสามารถใช้งานได้ในช่วงอัตราการไหลที่แคบกว่า ส่วนราคาก็ไปถามเถ้าแก่เอาเอง.... เลือกใช้งานให้เหมาะสมกับความต้องการและราคากันไปครับผม

อนุกรมของค่าในข้อ 17 (2) ดูรูปที่ 18 ได้มาจากสูตร ISO3-1973, R10 (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) และ b=10; R(i,b) = $10^{i/b}$

หลักการที่ 3 : ย้อนกลับไปอ่านประเด็นที่ 6 เราสังเกตุให้ดีจะเห็นว่า**ชั้นความเที่ยงมาตรวัดปริมาตรน้ำจะเปลี่ยนตาม Q_t และสัดส่วนระห่าง Q_t/Q_{min} นั้นเอง ส่วนอัตราการไหล Q_n และ Q_{max} ก็คงที่ไม่แปรเปลี่ยน** (ตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546) ซึ่งถ้าเทียบสัญลักษณ์อัตราการไหลตามตารางที่ 1 **สัดส่วนระห่าง Q_t/Q_{min}** = **สัดส่วนระห่าง Q_2/Q_1** นั้นเอง ในการแบ่งชั้นความเที่ยง A, B, C และ D แบบเดิมนั้นจะมีอัตราส่วนระหว่าง **Q_2/Q_1** เท่ากับ **2.5, 4, 1.5 และ1.533** ตามลำดับ นั่นแน้ๆๆ OIML R49-2000 เล่นอะไรกันอยู่หนู่ไม่รู้ แต่ที่แน่ๆ OIML R49-2000 กำหนดอัตราส่วนระหว่าง **Q_2/Q_1** เท่ากับ **1.6** เหลือเพียงค่าเดียวเท่านั้น เสมือนต้องการบอกว่า "ตลาดต้องการและถามหาแล้วล่ะคุณ" Mr. Adam Smith (The Wealth of Nations) ทำงานแล้วครับ ซึ่งค่าอัตราส่วนระหว่าง Q_2/Q_1 เท่ากับ 1.6 นั้นแน่นอนว่าไม่ใช่มาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B ตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 แน่นอน หากต้องการฝืนแปลงค่าความสัมพันธ์ในพารามิเตอร์จาก Class B ในระบบเดิมเข้าหาค่าพารามิเตอร์ในระบบใหม่มันไม่ง่ายน่ะหากเจอกำหนดการทดสอบที่อัตราการไหล Q_1, $0.8Q_2$, $1.2Q_2$, Q_3 และ Q_4 เพื่อหาผลผิดของมาตรวัดปริมาตรน้ำ เดี๋ยวเดียวก็เจอแล้วว่าของจริงหรือของปลอม

หลักการที่ 4 : ใช้หลัก Engineering นอกจาก Do the Right Thing (ประสิทธิผล). Do the Thing Right (ประสิทธิภาพ) แล้วสุดท้ายคือ Safety Factor (ปลอดภัย) เป็นหลักการกำหนดว่ามาตรวัดปริมาตรน้ำต้องปลอดภัยระดับหนึ่งหากถูกนำไปงานที่มีอัตราการไหลเกินอัตราการไหลสูงสุดที่ออกแบบไว้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่งนั้นคือความสัมพันธ์ของอัตราส่วนอัตราการไหลระหว่าง **Q_4/Q_3** เท่ากับ **1.25** หรือ Safety Factor 25%

ตัวอย่างการระบุคุณสมบัติมาตรวัดปริมาตรน้ำที่เป็นไปตามประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 ดังในรูปที่ 19

Technical Specifications

Meter Capacity		mm	15		20	
		inches	½"	¾"	¾"	
In compliance with MID						
MID Accuracy Ratio (Q3/Q1) - all positions			50 / 400		63 / 400	
MID Type Approval Number			LNE 13636		LNE 16467	
Nominal Flow Rate	(Q3)	m³/h	1.6	2.5	2.5	4.0
Standard Ratio (*)	(Q3/Q1)		100	160	100	160
Minimum Flow Rate	(Q1)	l/h	16	15.6	25	25
Transitional Flow Rate	(Q2)	l/h	25.6	25	40	40
Overload Flow Rate	(Q4)	m³/h	2	3.125	3.1	5
Pressure Loss Class at Q3		bar	0.25	0.63	0.25	0.63
Maximum Admissible Pressure	(MAP)	bar	16		16	
Operating Temperature	(T)	°C	0.1 / 30		0.1 / 50	
Climatic Environment		°C	5 / 55		70 / -10	
(*) Other Ratios available under specific request						
Other Characteristics						
Indication Range		m³	99999,999		99999,999	
Minimum Scale Interval		l	0.02		0.02	
Typical Starting Flow Rate		l/h	1		2	
Accuracy +/- 5%		l/h	3		5	
Accuracy +/- 2%		l/h	5		8	
Testing Pressure		bar	25		25	
Maximum Accidental Water Temperature		°C	50 (<1h/day)		60 (<1h/day)	

รูปที่ 19 ตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคจาก Catalog ของมาตรวัดปริมาตรน้ำ

ประเด็นที่ 8 : แกะรอยตามโจทย์ *"ยกตัวอย่างเช่น มาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B ขนาด 15 mm มี Q_1 = 30 l/h, Q_3 = 1,500 l/h ดังนั้น R ควรเป็น 50 แต่มีการตีความว่า Q_3 กลายมาเป็น 2,500 l/h โดย Q_1 = 30 l/h และ R = 80 ทั้งนี้เพราะชั่งตวงวัดใช้ทดสอบที่ $0.5Q_3 = 0.5(2,500)$ = 1,250 l/h และที่ Q_1 = 30 l/h เมื่อเป็นอย่างนั้นแล้วทำให้ผู้ผลิตต้องแสดงระบุรายละเอียดลักษณะมาตรวัดปริมาตรน้ำตามประกาศกระทรวงฯ ฉบับใหม่เป็น Q_3 = 2.5 m^3/h และ $Q_3/Q_1 = R = 80$ ถูกต้องหรือไม่ ? "*

ไปค้นดูมาตรวัดปริมาตรน้ำน่าจะเป็น Class B ขนาด 15 mm, ชนิด Single Jet มีคุณลักษณะทั่วไปคือ Q_{min} 30 l/h, Q_t = 120 l/h, Q_n = 1,500 และ Q_{max} 3,000 l/h (ดูรูปที่ 20) บังเอิญเราไม่เชี่ยวชาญจึงต้องหาข้อมูลยึดไว้ก่อนเดียวหลักยึดหายไปเรือมันก็ไหลไปเรื่อยๆ ไม่ไปไหน (อ้าว...มันเรื่องอะไร เกี่ยวกันหรือเปล่าเนี่ย)

เมื่อสืบสวนดูเจอเข้าอย่างจังคนถามคงเข้าใจว่า $Q_n = Q_3$ ประเด็นหนึ่งล่ะ ส่งผลให้คิดว่า R = Q_3/Q_1 = 1,500/30 = 50 ผิดตามไปด้วย ซึ่งอันที่จริง Q_3 = $2Q_n$ = 3,000 = 2 (1,500) นั้นคือ Q_n = 1,500 l/h การตีความให้ Q_3 = 2,500 l/h จึงคลาดเคลื่อนตามไป งานชั่งตวงวัดเป็นงาน Legal Metrology งานทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่งานทางด้านกฎหมายที่เรียนกันแม้อยู่มหาลัยเดียวกัน เรียนรุ่นเดียวกัน เรียนห้องเดียวกัน อาจารย์คนเดียวกัน กฎหมายฉบับปี พ.ศ. ฉบับเดียวกัน นิติกรยังต้องตีความ งง..... Chip หาย ดังนั้น R = Q_3/Q_1 = 3,000/30 = 100 ซึ่งไม่ใช่ทั้ง R = Q_3/Q_1 = 1,500/30 = 50 หรือ R = Q_3/Q_1 = 2,500/30 = 83.33 แล้วปรับปัดค่าเป็น R = 80 ไม่สามารถปัดค่าได้และก็ใช้ไม่ได้ ด้วยเหตุนี้......ต่อจากนั้น.....เลยไม่ต้องตอบครับ **เพราะปัญหาเริ่มที่เข้าใจคลาดเคลื่อนที่ว่า $Q_n = Q_3$** ซึ่งต้องปรับทัศนคติ แต่ไม่ต้องไปอยู่ค่ายทหารน่ะครับ (เอา...หลบ...ทหารมา)

Table 3-2 Metrological characteristics of common single jet meters

Class	Size (mm)	q_{start} (l/h)	q_{min} (l/h)	q_t (l/h)	q_p (l/h)	q_s (l/h)
B	15	8	30	120	1500	3000
B	20	13	50	200	2500	5000
C	15	5	15	22.5	1500	3000
C	20	6	25	37.5	2500	5000
C	40	22	100	150	10000	20000

Note: These are typical values supplied by meter manufacturers, and thus may be better (but not worse) than the requirements of SANS 1529.

รูปที่ 20 คุณสมบัติโดยทั่วไปมาตรวัดปริมาตรน้ำชนิด Single Jet ตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (ยกเลิกไปแล้ว)

อย่างนั้นก็ไม่ได้อย่างนี้ก็ไม่ได้ เราเลยมาทดลองทำกันเล่นๆดูในการเปลี่ยนระบบการระบุชนิดคุณลักษณะมาตรวัดปริมาตรน้ำจากระบบเดิมตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 เป็นระบบใหม่ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561

1. กำหนดอัตราการไหลสูงสุด Q_3 ตามรูปที่ 18 มาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B ขนาด 15 mm, ชนิด Single Jet มีคุณลักษณะทั่วไปคือ Q_{min} = Q_1 = 30

l/h, $Q_t = Q_2$ = 120 l/h, Q_n = 1,500 และ $Q_{max} = Q_3$ = 3,000 l/h (ดูรูปที่ 20) กำหนดให้ Q_3 มีค่าอนุกรม 1, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3 m^3/h แต่มาตรวัดปริมาตรวัดน้ำตัวนี้มี $Q_3 = 3.0\ m^3/h$ เราต้องเลือก $Q_3 = 2.5\ m^3/h$

2. Turn Down Ration ในรูปของ **$R = Q_3/Q_1$** ซึ่งเดิมทีนั้นมาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B ขนาด 15 mm มี R = 3000/30 = 100 แต่เมื่อถูกบังคับให้เลือก $Q_3 = 2.5\ m^3/h$ ดังนั้นมี 2 ทางเลือกคือจะปรับค่า R หรือจะปรับค่า Q1

2.1. เลือกปรับ R , R = 2,500/30 = 83.33 ซึ่งไม่มีในอนุกรมใน (2) ตามในรูปที่ 18 มีแต่อนุกรม 63, 80, 100 ถ้าเลือก R = 80 ดังนั้น Q_1 = Q3/R = 2500/80 = 31.25 l/h สรุปว่า R = 80, Q_1 = 31.25 l/h

2.2. เลือกปรับ Q_1 นั้นคือ 100 = 2500/Q_1 จะได้ว่า Q_1 = 25 l/h สรุปว่า R = 100, Q_1 = 25 l/h ซึ่ง Q_1 ที่ได้จากการคำนวณค่าใหม่นี้มีค่าต่ำกว่า 30 l/h (Q_1 เดิม) ทำให้อาจสุ่มเสี่ยงเมื่อทดสอบที่ช่วงอัตราการไหล 25 - 30 l/h จะมีค่าผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 5%

3. จากเหตุผลในข้อ 2.1 เราจึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่าหากเลือก Q_3 = 2.5 m^3/h, R = 80, Q_1 = 31.25 l/h , Q_2 = 120 l/h ดังนั้น Q_2/ Q_1 = 120/31.25 = 3.84 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.6 ไปต่อไม่ได้แล้วครับทางตัน แต่ถ้าเลือกเดินต่อ Q_2/ Q_1 = 1.6 ซึ่งกำหนดไว้ใน (3) ในรูปที่ 18 ก็ต้องปรับค่า Q_2 ใหม่มีค่าเท่ากับ $Q_2 = 1.6\ Q_1$ = 1.6(31.25) = 50 l/h หากเลือกเช่นนี้เราจะสรุปได้ว่า $Q_3 = 2.5\ m^3/h$, R = 80, Q_1 = 31.25 l/h , Q_2 = 50 l/h ผลที่จะตามมาเมื่อทำการทดสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำในช่วงอัตราการไหลตั้งแต่ 50 l/h ถึง 120 l/h อาจสุ่มเสี่ยงที่ทำให้มาตรวัดปริมาตรน้ำให้ผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 2% ได้ เพราะเดิมยอมให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 5% ดังนั้นไปต่อก็ไม่มั่นใจ

4. จาก (4) ในรูปที่ 18 กำหนดให้ Q_4/Q_3 = 1.25 ดังนั้น $Q_4 = 1.25\ Q_3$ = 1.25 (2.5) = 3.125 m^3/h ซึ่งเป็นอัตรากรไหลสูงกว่า $Q_{max} = Q_3$ = 3,000 l/h เดิม เวลาทดสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำมันจะพังเสียก่อนหรือเปล่า......นี้ก็สุ่มเสี่ยงอีก

5. สรุปได้ในภาพรวมคือ $Q_3 = 2.5\ m^3/h$, R = 80, Q_1 = 31.25 l/h , Q_2

= 50 l/h, Q_4 = 3.125 m^3/h โดยมีข้อกังวลและสุ่มเสี่ยงเมื่อทดสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำในช่วงอัตราการไหลตั้งแต่ 50 l/h ถึง 120 l/h ให้ผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 2% และทดสอบที่ Q_4 แล้วเครื่องจะพัง และ/หรือมาตรวัดปริมาตรน้ำยังคงให้ผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 2% หรือไม่ นั้นคือไม่มั่นใจ?

แล้วอย่างไรต่อ เรามีตัวอย่างของความพยายามแปลงการแบ่งชั้นความเที่ยงแบบเดิมตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 ไปเป็นชั้นความเที่ยงแบบใหม่ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561 โดยทำการปรับ Q3 ใหม่แล้วใช้การไล่ลำดับของค่า $R = Q_3/Q_1$ (ดูรูปที่ 20 และรูปที่ 21) เพื่อให้ยังคงรักษา $R = Q_3/Q_1$ =100 ไว้อยู่ใน Class C ตัวอย่างการแปลงมาตรวัดปริมาตรน้ำ Class B โดยปรับ Q_3 จาก 3.0 m^3/h เป็น 1.6 m^3/h รวมทั้งกำหนดให้ $R = Q_3/Q_1 = 80$ ดังนั้น $Q_1 = Q_3/80$ = 1,600/80 = 20 l/h จากนั้นเราหาค่า Q_2 จาก $Q_2/Q_1 = 1.6$ ดังนั้น $Q_2 = 1.6Q_1$= 1.6 (20) = 32 l/h สุดท้ายเราหาค่า Q_4 จาก $Q_4/Q_3 = 1.25$ ทำให้เราได้ $Q_4 = 1.25Q_3$= 1.25 (1.6 m^3/h) = 2.0 m^3/h

แต่ถ้าสังเกตให้ดีก็เจอปัญหาเดิมคือความสุ่มเสี่ยงเมื่อทดสอบมาตรวัดปริมาตรน้ำในช่วงอัตราการไหลตั้งแต่ $Q_{2(\text{ใหม่})}$ ถึง $Q_{2(\text{เดิม})}$ (หรือที่เรียกค่าเดิมว่า Q_t) ให้ผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 2% เช่นเดิมสำหรับมาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง A, B และ D นั้นคือช่วงอัตราการไหลทดสอบ Class A: 128-150 l/h, Class B: 32-120 l/h, Class D: 12.8-17.25 l/h ก็จะสุ่มเสี่ยงที่จะมีผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 2% แต่หากเจ้าของเครื่องหรือผู้ผลิตมาตรวัดปริมาตรน้ำมั่นใจว่าทดสอบผ่านเกณฑ์อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ก็บ่ย่าน... ลุยโลดส์... ในส่วนมาตรวัดปริมาตรน้ำชั้นความเที่ยง C พบว่าไม่มีปัญหาใดๆ เอ่ะ....OIML คิดอะไรอยู่ หวังว่าท่านพอเริ่มคิดกันบ้างแล้วน่ะครับ ระหว่างนี้ก็นั่งดูรูปที่ 20 กับรูปที่ 21 ไปพลางๆก่อนน่ะขอรับ

ประเด็นที่ 9 : ที่ตอบไปไม่ทราบตรงประเด็นกันหรือเปล่า แต่ถ้าไม่ตรงประเด็นก็ต้องขอโทษน่ะครับ แต่ที่เขียนมาทั้งหมดก็น่าจะได้ประโยชน์บ้าง สวัสดีมีชัย สำหรับราชอาณาจักรไทย ผ่านพ้นภัยโรคไวรัส COVID-19 ดูแลใส่ใจสุขภาพตัวเองและครอบครัว และเพื่อนร่วมโลกน่ะครับ......สาธุ

Classification Comparison

Old classification system - 15 mm meter				
	Class A	**Class B**	**Class C**	**Class D**
Q_{max} (q_s)	3.0 m³/h	3.0 m³/h	3.0 m³/h	3.0 m³/h
Q_n (q_p)	1.5 m³/h	1.5 m³/h	1.5 m³/h	1.5 m³/h
Q_t	150 l/h	120 l/h	22.5 l/h	17.25 l/h
Q_{min}	60 l/h	30 l/h	15 l/h	11.25 l/h

New classification system – q_3 = 1.6 m³/h				
	$q_3/q_1 = 20$	$q_3/q_1 = 80$	$q_3/q_1 = 100$	$q_3/q_1 = 200$
Q_4	2.0 m³/h	2.0 m³/h	2.0 m³/h	2.0 m³/h
Q_3	1.6 m³/h	1.6 m³/h	1.6 m³/h	1.6 m³/h
Q_2	128 l/h	32 l/h	25.6 l/h	12.8 l/h
Q_1	80 l/h	20 l/h	16 l/h	8 l/h

รูปที่ 21 ตัวอย่างการแปลงการแบ่งชั้นความเที่ยงระบบเดิมตามกฎกระทรวงพาณิชย์ฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 เป็นระบบใหม่ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์มาตรวัดปริมาตรน้ำ พ.ศ. 2561

แนวคิดการออกแบบระบบตรวจสอบให้คำรับรอง มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)

สำนักงานกลางชั่งตวงวัดเป็นหน่วยงานเดียวในประเทศไทยที่รับผิดชอบงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ของประเทศไทยในการกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดที่ใช้ในการซื้อขาย แลกเปลี่ยน คำนวณค่าตอบแทน ค่าภาษีอากร และค่าธรรมเนียมสำหรับสินค้าและบริการภายใต้การกำกับและบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และแก้ไขเพิ่มเติม

มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter) เป็นเครื่องชั่งตวงวัดชนิดหนึ่งที่มีใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมปิโตรเลียม, ภาคธุรกิจเชิงพาณิชย์และภาคครัวเรือน โดยเฉพาะภาคครัวเรือนอาจจะไม่ค่อยพบมากนักเหมือนกับต่างประเทศทางซีกตะวันตกเพราะเราอยู่ในประเทศเขตร้อนชื้นไม่ต้องใช้เครื่องทำความร้อน มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมเป็นเครื่องชั่งตวงวัดที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลและต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรองโดยสำนักงานกลางชั่งตวงวัดซึ่งตลอดระยะเวลาที่ผ่านมานั้นสำนักงานกลางชั่งตวงวัดยังไม่สามารถทำการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดฯดังกล่าวได้เลยถึงแม้มีกฎกระทรวงฯซึ่งออกภายใต้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 บังคับใช้มาตั้งแต่ พ.ศ. 2546 ก็ตาม และแม้ได้มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงยกเลิกกฎกระทรวงฯดังกล่าวไปแล้วโดยได้ปรับปรุงเปลี่ยนเป็นประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และอายุคำรับรอง ลงวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2562 แล้วก็ตาม แม้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติมซึ่งได้ปรับปรุงขั้นตอนการออกกฎระเบียบโดยเฉพาะเนื้อหาสาระอันเกี่ยวข้องทางเทคนิคสามารถออกเป็นประกาศกระทรวงฯ แทนการออกกฎกระทรวงฯ

ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนาน (จากประวัติศาสตร์ของการออกกฎกระทรวงฯ) โดยผ่านการแนะนำของคณะกรรมการชั่งตวงวัด ทั้งนี้โดยคาดว่าสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและการเปลี่ยนแปลงทางเศษฐกิจสังคมของของประเทศได้รวดเร็วกว่า แต่เอาเข้าจริง ๆ ก็มีปัญหาเหมือนเดิมแหละครับนั้นคือปัญหาทรัพยากรมนุษย์และงบประมาณนั้นหมายถึงจนกระทั่งวันนี้ที่เขียนบทความนี้สำนักงานกลางชั่งตวงวัดก็ยังไม่มีขีดความสามารถทำการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter) ได้ทั้งๆที่มมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมถูกกำหนดให้เป็นเครื่องวัดตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546

ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดสร้างระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมเพื่อให้สำนักงานกลางชั่งตวงวัดมีขีดความสามารถในการปฏิบัติงานกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดภายใต้การกำกับและบังคับใช้กฎหมายตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ได้และด้วยความน่าเชื่อถือในขณะเดียวกันยังเป็น**ฐานรองรับก้าวย่างต่อไปในการเข้าไปกับกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดชนิดมาตรวัดของไหลที่มีสถานะก๊าซที่มีอัตราการไหลและความดันสูงขึ้นต่อไป** ซึ่งเป็นภาระและหน้าที่ของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด แม้พยายามขอตั้งงบประมาณอย่างต่อเนื่องมาไม่น้อยกว่า 3 ปีงบประมาณแล้วก็ตามก็ยังไม่ได้รับงบประมาณดำเนินการแต่อย่างใดทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบการตรวจสอบฯมีราคาค่อนข้างสูงและงบประมาณของประเทศชาติมีอยู่จำกัดก็ต้องรอกันต่อไป....... แม้หากได้รับงบประมาณก็ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 ปี กว่าจะได้ระบบแบบมาตรา (ตั้งงบฯ 1 ปี+ จัดซื้อจัดจ้าง 1 ปี + ใช้งาน ทดสอบ พัฒนา อบรมบุคลากร 1ปี) แต่ก็เพื่อแสดงให้เห็นว่า เราคิด เราฝ้า เราใส่ใจ..... จึงตัดสินใจเขียนบทความทิ้งไว้หากมีโอกาสสามารถขยายขอบเขตงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายให้สามารถรักษาผลประโยชน์ของประชาชนและราชอาณาจักรไทยในอนาคตได้ต่อไป เพราะประเทศไทยและประเทศสมาชิกอาเซียนเรายังมีสาธารณูประการพื้นฐานด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology Infrastructures) รวมกันแล้วยังน้อยมากเมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศที่

พัฒนาแล้ว ดังนั้นการร่วมกันแบ่งกันใช้สาธารณูประการพื้นฐานด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายระหว่างภูมิภาคอาเซียนจึงเป็นเรื่องยากยาก การเพิ่มขีดความสามารถตนเองให้พึ่งพาตนเองจึงต้องรีบดำเนินการ

กลุ่มเป้าหมาย มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)

มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter; DGM) เป็นมาตรวัดที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้วัดปริมาตรการซื้อขายก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas) มีชื่อทางการว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือก๊าซ LPG เช่น โรงงาน, โรงพยาบาล, ที่พักอาศัยอาคารชุด, ร้านอาหารและร้านอาหารประเภท Fast Food ตามห้างสรรพสินค้าหรือพวกโมเดิร์นเทรดหรือกลุ่มอาคารบริการเชิงพาณิชย์ เช่น Central, The Mall, Makro, Lotus, Big C เป็นต้น ในกรณีที่อาจเห็นจนคุ้นชินก็พวกร้านอาหาร Fast Food, KFC เป็นต้น โดยทั่วไปเจ้าของพื้นที่ เช่นในห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ๆจะให้ผู้ประกอบการรายย่อยเช่าพื้นที่ โดยผู้เช่าพื้นที่ขายอาหารต้องซื้อน้ำซื้อไฟฟ้าและก๊าซหุงต้มกับเจ้าของสถานที่ แล้วเค้าใช้เครื่องมืออะไรในการตีมูลค่าสินค้า และพลังงานดังกล่าวละครับ คำตอบคือ “เครื่องชั่งตวงวัด” ทั้งนั้นแหละครับ ถ้าซื้อ “น้ำ” ก็เป็นมาตรวัดปริมาตรน้ำอันนี้ชั่งตวงวัดเราตรวจรับรองได้ ถ้าซื้อพลังงาน “ไฟฟ้า”ก็ต้องใช้มาตรวัดไฟฟ้า อันนี้เราไม่มีขีดความสามารถตรวจรับรองฯได้และไม่ได้กำหนดเป็นเครื่องวัดตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม พูดให้ง่ายๆ ก็คือไม่มีกฎหมายรองรับต้องทำการขยายขอบเขตงานต่อไปเพราะมาตรวัดไฟฟ้าอยู่ภายใต้งานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (Legal Metrology) ของโลกที่เจริญแล้วแต่เราก็ต้องเตรียมการดีๆ เช่น รับสมัครข้าราชการที่จบทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น แต่ถ้ายังรับสมัครข้าราชการใหม่ไม่มีทิศทางแน่นอนและไม่โปร่งใส่ ความเสื่อมโทรมขององค์กรก็จะตามมา....เศร้าใจ มาตรวัดตัวสุดท้ายในร้านอาหารที่ใช้วัดการซื้อ “ก๊าซ LPG” ก็คือมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม อันนี้ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องวัดตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติมแต่ชั่งตวงวัดไม่มีขีดความสามารถดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองได้ตามที่

กล่าวไว้ข้างต้น ในบทความนี้จึงเขียนเพื่อบันทึกข้อมูลไว้หากในอนาคตต้องการขยายและมีงบประมาณเพียงพอก็จะมีข้อมูลเบื้องต้นให้สามารถดำเนินการได้ถือเสียว่าเป็นความรู้สะสมเพื่อต่อยอดต่อไปในอนาคต หากภาคเอกชนสนใจก็ขออนุโมทนา...ด้วย (แก่วัดเชียวทั้งที่นานแสนนานจะได้เข้าวัด ไม่เหมือนตอนเด็ก..กิน นอน วัด) ถือว่าช่วยพัฒนา “Legal Metrology Infrastructures” ของราชอาณาจักรไทย

รูปที่ 1 มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมที่เห็นอยู่ทั่วไป

จากที่ได้รวบรวมข้อมูลการนำเข้า**มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)** ต่อไปนี้ขอเรียกว่า “DGM” จำนวนการนำเข้า DGM (**พิกัดศุลกากร 9028.10.90**) ต่อปีตกอยู่ประมาณ 2,000 – 6,000 เครื่องต่อปี ถ้าข้อมูลของการสั่งปล่อยเครื่องชั่งตวงวัดคลาดเคลื่อนท่านก็ไปหาในเว็ปไซด์ของกรมศุลกากรโดยใช้พิกัดศุลกากรที่ให้ไว้คือ “9028.10.90” แต่ก็ตรวจสอบให้ดีเพราะพิกัดศุลกากรดังกล่าวเป็นพิกัดรวมมาตรวัดปริมาตรก๊าซหมวดใหญ่ซึ่งรวมถึงมาตรวัดปริมาตรแบบไดอะแฟรม, แบบลูกสูบโรทารี่และแบบเทอร์ไบน์มิเตอร์ เพราะผมใช้ฐานข้อมูลของชั่งตวงวัดพบเหลือการนำเข้าเพียงหลักร้อย ผมก็งง..........เอาแบบหยาบๆ ก็ประมาณ 3,500 เครื่องต่อปี ประเมินอายุการใช้งานของเครื่อง DGM ให้ 5 ปี ก็ต้องซื้อเครื่องทดแทนนั้นหมายถึงต้องมีเครื่องสะสมประมาณ 3,500 x 5 =

17,500 เครื่อง พิกัดกำลังของ DGM ประเมิน (ลองทบทวนอีกครั้งหากเห็นว่าข้อมูลไม่ทันสมัยหรือไม่น่าเชื่อถือ) ไว้อยู่ 2 กลุ่มคือ

- ใช้ซื้อขายก๊าซ LPG ประมาณ 3 - 5 กก x 365 วัน = 1,825 กก.ต่อเครื่องต่อปี และ
- ใช้ซื้อขายก๊าซ LPG ประมาณ 5 - 10 กก x 365 วัน = 3,650 กก.ต่อเครื่องต่อปี

หากมีเครื่องอยู่ในการใช้งานประมาณ 17,500 เครื่อง เพราะฉะนั้นปริมาณซื้อขายก๊าซ LPG ต่อปี 1,825 กก. - 3,650 กก. ต่อเครื่องต่อปี x 17,500 เครื่อง คำนวณเป็นน้ำหนักก๊าซ LPG ต่อปีประมาณ = 31,937,500 – 63,875,000 kg/ปี หากราคาก๊าซ LPG ประมาณ 25 บาท/kg นั้นหมายถึง**มูลค่าการซื้อขายก๊าซ LPG ผ่าน DGM ประมาณการอยู่ที่**

31,937,500 – 63,875,000 kg/ปี x 25 บาท/kg

= **798,437,500 – 1,596,875,000 บาท/ปี**

มูลค่าจิบๆ เล็ก ๆ น้อย ๆเองครับแค่เครื่องชั่งตวงวัดชนิดเดียวเองคือ DGM งานชั่งตวงวัดมันดูแลมูลค่าการซื้อขายสินค้าและบริการของชาติและเล็กน้อยๆ เอาแค่มูลค่าจำนำข้าวเปลือกก็ 1/3 ของงบประมาณประจำปีของประเทศชาติแล้วครับ ก็ใช้เครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์และเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกในการตีมูลค่าดังกล่าวสิครับ ถ้าพ่อค้าข้าวและโรงสีข้าว (บางท่าน) หากอ่านบทความนี้สงสัยตาเริ่มเขียวแล้วล่ะสิ ก็ค่าความชื้นข้าว 35% ทุกคราวไปหรือเปล่า ? เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกมันไม่เที่ยงตรง ? 5555. แต่ก็ขอให้ระลึกไว้เสมอน่ะครับ **“งานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายชาติใดอ่อนแอ สังคม เศรษฐกิจและความมั่นคงของชาตินั้นอ่อนแอตาม”** เพราะผมดูจากประวัติศาสตร์ชาติจีนครับ งานชั่งตวงวัดเป็น 1 งานหลักที่จักรพรรดิจิ้นซีฮ่องเต้ใช้วางรากฐานการรวมชาติรวมก๊กของจีน ซึ่งงานหลักด้านอื่น ๆ เช่น ระบบเงินตรา ระบบอักษรจีน กฎหมาย เป็นต้น

จากข้อมูลที่ได้ค้นแบบคร่าวๆ พบว่าในปัจจุบันราคาเครื่องวัด DGM จะมี

ราคาลดลงอยู่ที่ราคาประมาณ 6,000 – 9,000 บาทต่อเครื่อง (พ.ศ. 2560) ดังนั้นเราประมาณมูลค่าราคาเครื่องชั่งตวงวัด DGM จะอยู่ที่ 6,000 – 9,000 บาทต่อเครื่อง x 17,500 เครื่อง = 105,000,000 – 157,500,000 บาท ก็ถือว่ามูลค่าสูงมากเช่นกัน

หากมองตัวสินค้าก๊าซ LPG ซึ่งถูกนำไปใช้กับภาคขนส่ง หรือเป็นพลังงานทางเลือกเราจะพบว่าปริมาณ**การซื้อขายก๊าซ LPG เติมรถยนต์อยู่ที่ 50,000 – 60,000 ล้านบาทต่อปี** ซึ่งมีการซื้อขายผ่านเครื่องชั่งตวงวัด ชนิดมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือที่มีนิคแนมว่า ตู้จ่ายก๊าซ LPG ตามสถานีบริการ ด้วยเช่นกันแต่งบประมาณที่ชั่งตวงวัดได้รับงบประมาณ 80-120 ล้านบาทต่อปี น่าคิด....มันก็ต้องตามสภาพแหละครับ.....

มองมูลค่าเงิน มูลค่าความสงบสุขความเป็นธรรมในสังคม มูลค่าการค้าและประสิทธิภาพการค้าขายของราชอาณาจักรไทยแล้ว คุณ...ไม่ใจอ่อนดูแลงานด้านชั่งตวงวัดให้ดีบ้างหรือครับ.....เจ้านาย (ประชาชนชาวไทย)........

ลักษณะ ๒
ชนิดของมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอ

ข้อ ๔ ชนิดของมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอ มี ๒ ชนิด ดังต่อไปนี้

(๑) มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบโพซิทิฟดิสเพลซเมนต์ มี ๒ ชนิด ได้แก่

(ก) มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม คือ มาตรวัดที่วัดปริมาตรก๊าซที่ไหลผ่านห้องวัดโดยการยืดหยุ่นตัวของผนังห้องวัด

(ข) มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบลูกสูบโรทารี คือ มาตรวัดที่วัดปริมาตรการไหลของก๊าซโดยห้องวัดที่มีปริมาตรแน่นอนซึ่งถูกทำให้หมุนรอบ ทั้งนี้ จำนวนรอบของการหมุนของห้องวัดจะถูกแปลงค่าไปเป็นปริมาตรที่วัด

(๒) มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบ Inferred Displacement ได้แก่ มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบเทอร์ไบน์ คือ มาตรวัดปริมาตรก๊าซที่วงล้อเทอร์ไบน์หมุน เมื่อก๊าซไหลผ่าน ทั้งนี้ จำนวนรอบของการหมุนของวงล้อเทอร์ไบน์จะถูกแปลงไปเป็นค่าปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่านมาตรวัด

รูปที่ 2 การแบ่งชนิดของมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอ ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ พ.ศ. 2562

จากรูปที่ 2 มาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอมีด้วยกัน 3 ชนิด หากมองในทางเทคนิคเพื่อจะแบ่งแยกประเภทด้วยเกณฑ์ของอัตราการไหลของก๊าซและความดันของ

ก๊าซที่มาตรวัดฯทำการวัด (ดูรูปที่ 3 และรูปที่ 4) ซึ่งจัดได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 Low Flow + Low Pressure คือ DGM, กลุ่มที่ 2 Medium Flow + Medium Pressure คือมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบลูกสูบโรทารีและกลุ่มที่ 3 High Flow + High Pressure คือมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบเทอร์ไบน์ การแบ่งกลุ่มเช่นนี้จะมีผลต่อการวงาแผนการจัดสร้างหรือจัดให้มีสาธารณูประการพื้นฐานด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายของประเทศในจังหวะต่อไป

รูปที่ 3 มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม, มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบลูกสูบโรทารี และมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบเทอร์ไบน์

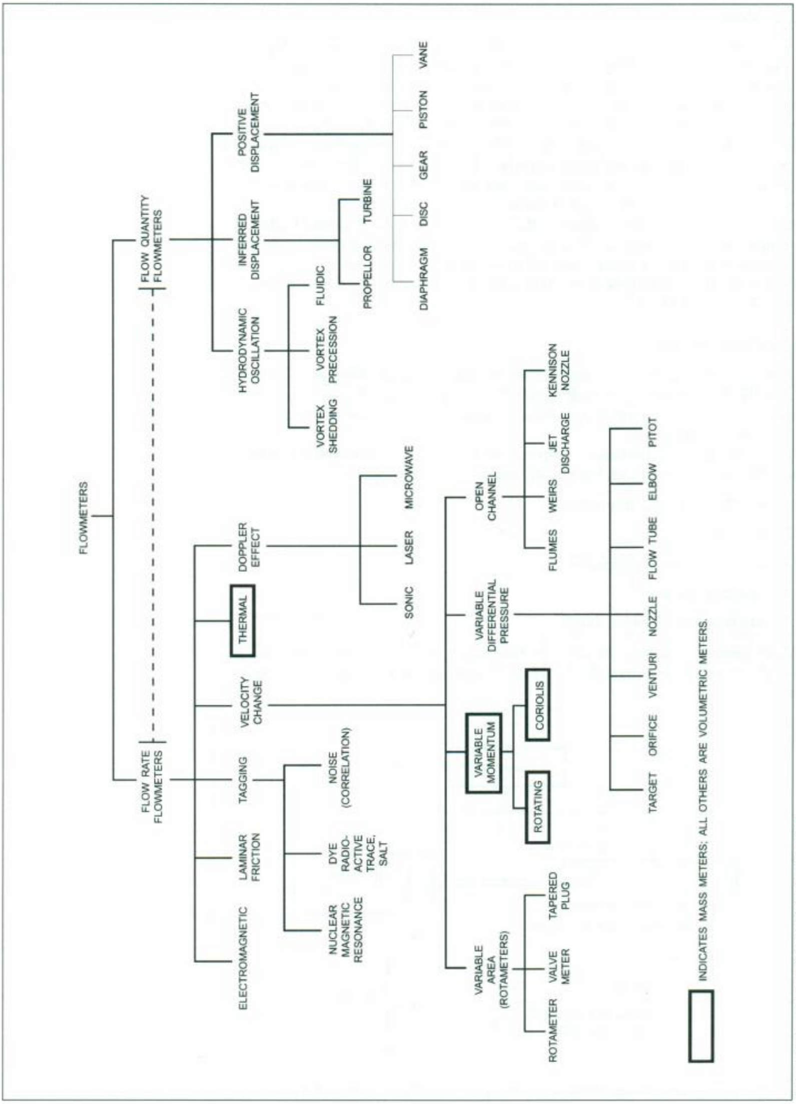
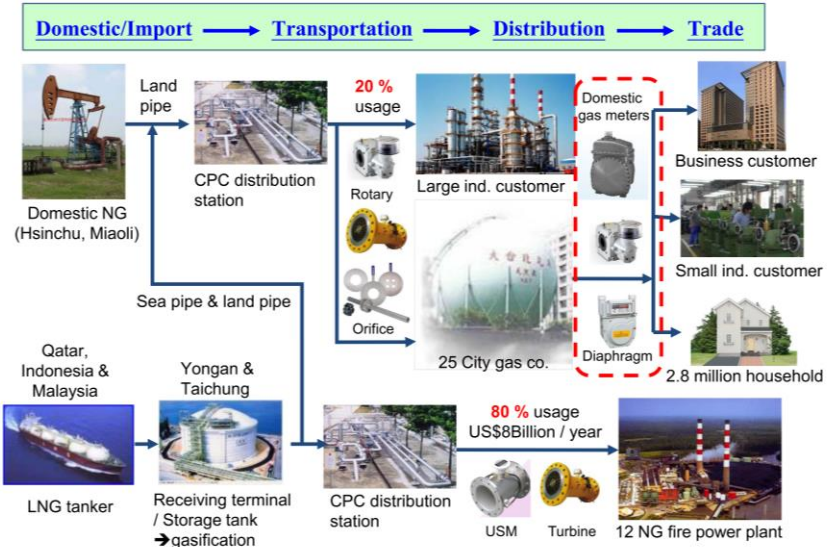


Figure 23-8. Flowmeter Family Tree [Ref. 16]

รูปที่ 4 การแบ่งชนิดของมาตรวัดตามหลักการทำงาน บนหลักการอัตราการไหลกับปริมาตรของไหลที่วัด

แน่ละเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแต่ในนาทีนี้ก็ขอแบ่งประเภทจัดกลุ่มให้พอเห็นเป็นภาพรางๆ เพื่อให้ทำงานเดินหน้าต่อไปได้ การที่เราพยายามผลักดันเพื่อของบประมาณจัดทำ “ระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม จำนวน 1 ระบบ” วงเงินประมาณ 20 – 25 ล้านบาทเพื่อเป็นการค่อยๆ ก้าวย่าง สะสมความรู้ สร้างคนเพราะเป็นงานการวัดปริมาตร “ก๊าซ” ซึ่งเป็นของใหม่และต้องมีและใช้ความรู้ความเข้าใจต่างจากการวัดของไหลพวกที่เป็น “ของเหลว” ความซับซ้อนการทำงาน ระบบเครื่องมืออุปกรณ์ การคำนวณผลการตรวจสอบให้คำรับรองมีความยากง่ายสูงมากกว่าเมื่อเทียบกับของเหลว และ ฯลฯ **การเริ่มต้นด้วย DGM ซึ่งเป็นมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอที่ใช้งานที่สภาวะ Low Flow + Low Pressure จึงถือว่าเป็นย่างก้าวแรกที่ตัดสินใจแล้วว่าสำคัญและจำเป็น เพื่อขยับต่อไปยัง มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบลูกสูบโรทารี และมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบเทอร์ไบน์ เพื่อให้งานชั่งตวงวัดมีขีดความสามารถเข้าไปกำกับดูแลห่วงโซ่การดำเนินธุรกิจทางด้านพลังงานโดยเฉพาะที่เป็นก๊าซ** ดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างห่วงโซ่การดำเนินธุรกิจด้านพลังงานที่ใช้ก๊าซของไต้หวัน

ข้อ ๑๕ มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม ต้องมีลักษณะเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้ด้วย

(๑) พิสัยอัตราการไหลของมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม ต้องเป็นไปตามตาราง ดังต่อไปนี้

อัตราการไหลสูงสุด (Q_{max}) (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลต่ำสุด (Q_{min}) ต้องไม่มากกว่า (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
๑	๐.๐๑๖
๑.๖	๐.๐๑๖
๒.๕	๐.๐๑๖
๔	๐.๐๒๕
๖	๐.๐๔๐
๑๐	๐.๐๖๐
๑๖	๐.๑๐๐
๒๕	๐.๑๖๐
๔๐	๐.๒๕๐
๖๕	๐.๔๐๐
๑๐๐	๐.๖๕๐
๑๖๐	๑.๐๐๐
๒๕๐	๑.๖๐๐
๔๐๐	๒.๕๐๐
๖๕๐	๔.๐๐๐
๑๐๐๐	๖.๕๐๐

รูปที่ 6 พิสัยอัตราการไหลของ DGM ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ พ.ศ. 2562

จากรูปที่ 6 เป็นการกำหนดช่วง Turndown Ratio ของ DGM โดยอ้างอิงจาก OIML R 31 Diaphragm gas meters: 1995 ซึ่งยอมรับว่าเป็นมาตรฐานที่ค่อนข้างเก่า แต่ก็พอถือว่ายังใช้ได้อยู่เนื่องจากเทคโนโลยีของ DGM เปลี่ยนไม่มากนัก และเนื้อหาสาระในประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ ปี พ.ศ. 2562 ยังมีเนื้อหาสาระค่อนข้างคงเดิมเมื่อเทียบกับกฎกระทรวงฉบับเทคนิค พ.ศ. 2546 (เดิม) ถึงแม้ OIML จะให้ OIML R31; 1995 หมดสภาพไปแล้วไปใช้ OIML R137 Gas meters; Edition 2012 ทดแทน (Superseded by OIML R137) แล้วก็ตามที แต่วงการอุตสาหกรรมยังคุ้นชินกับระบบเรียกขานเดิมของ DGM อีกทั้งงานแค่นี้เรายังไปไม่ถึงไหนเลย ดังนั้นต้อง “เดินทีละก้าว กินข้าวทีละคำ” จากรูปที่ 6 เราจึงพอประมาณภาพรวมกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการกำกับดูแลจะอยู่ใน 3 ย่านช่วงอัตราการไหล คือ

- Q_{max} ช่วงระหว่าง 1 - 6 m^3/h

เป็นกลุ่ม **“Home Used” ที่อยู่อาศัย**

- Q_{max} ช่วงระหว่าง 4 - 25 m^3/h
  เป็นกลุ่ม **“Commercial Used” เชิงพาณิชย์**
- Q_{max} ช่วงระหว่าง 40 – 1,000 m^3/h
  เป็นกลุ่ม **“Industrial Used” เชิงอุตสาหกรรม**

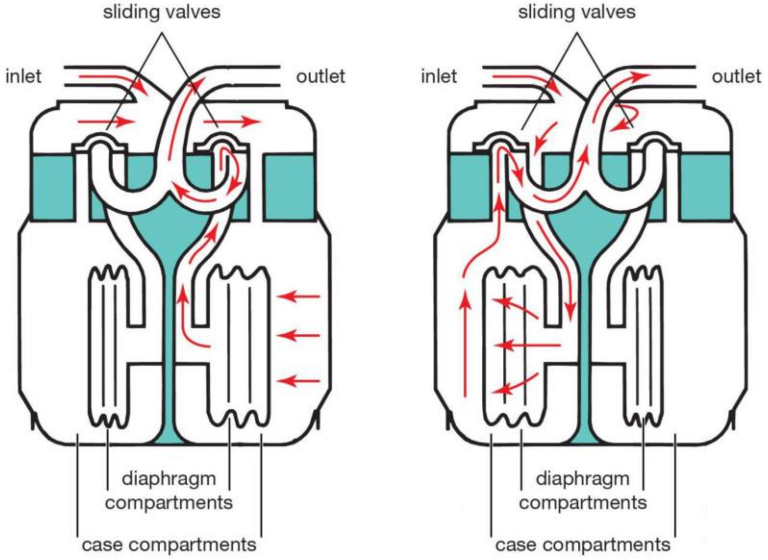
ซึ่งส่วนใหญ่จะมี Turndown Ratio อยู่ที่ 1:160

สำหรับการทำงานของ DGM นั้น จะมีตัวไดอะแฟรมซึ่งทำจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่น สามารถทนแรงดันที่ไม่สูงมากนักอีกทั้งต้องไม่ทำปฏิกิริยากับตัวก๊าซ LPG เช่น ทำจากผ้าโพลีเอสเตอร์เคลือบด้วยยางสังเคราะห์ไนไตรด์ โดยทั่วไปจะมีตัวไดอะแฟรมจำนวน 2 ตัวทำหน้าที่เป็นส่วนวัดปริมาตรก๊าซสลับกันไปมาโดยทำงานร่วมกันและสอดคล้องกันกับการสลับปิด-เปิดของวาล์วทางเข้าไดอะแฟรมทั้ง 2 ตัวโดยใช้ความดันของตัวก๊าซเองที่ผ่านตัว regulator จนมีความดันไม่สูงในการขับเคลื่อนให้ส่วนวัดปริมาตรก๊าซที่เป็นตัวไดอะแฟรมซึ่งคล้ายกับกล่องหีบเพลงเคลื่อนที่ฟองตัวยุบตัวสลับกัน โดยให้ค่าปริมาตรก๊าซรวมคงที่ต่อรอบการพองตัวและยุบตัวไดอะแฟรมทั้ง 2 ตัว เช่น 1.2 dm^3/rev เป็นต้น ก็ค่อยๆดูค่อยๆอ่านดังในรูปที่ 7

เมื่อพิจารณากราฟสมรรถนะของ DGM (ดูรูปที่ 8) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด หรือผลผิด เราจะพบว่าตัวกราฟสมมรถนะของ DGM มีลักษณะคล้ายกับกราฟสมรรถของมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบเทอร์ไบน์ ซึ่งในประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ DGM พ.ศ. 2562 จึงกำหนดให้ DGM มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error; MPE) ดังในรูปที่ 9

ชั่งตวงวัดในฐานะหน่วยงานของรัฐ เราไม่มีงบประมาณมากมายนักแต่ในขณะเดียวกันเรามั่นใจว่าภาคอุตสาหกรรมมีบุคคลากรที่มีคุณภาพสูงกว่าภาครัฐและมั่นใจว่าสามารถรักษาคุ้มครองผลประโยชน์ของตนเองได้ ดังนั้นถ้าเราจะต้องจัดให้มี “ระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ” เราจึงกำหนดกรอบช่วงอัตราการไหลหรือกลุ่มเป้าหมาย DGM ไว้สูงสุดที่อัตราการไหล 40 m^3/h และนี้จึงเป็นที่มาของการกำหนดขอบเขตงานจัดสร้างระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ให้สามารถตรวจสอบ

How a gas meter works



Source: American Meter Company

© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

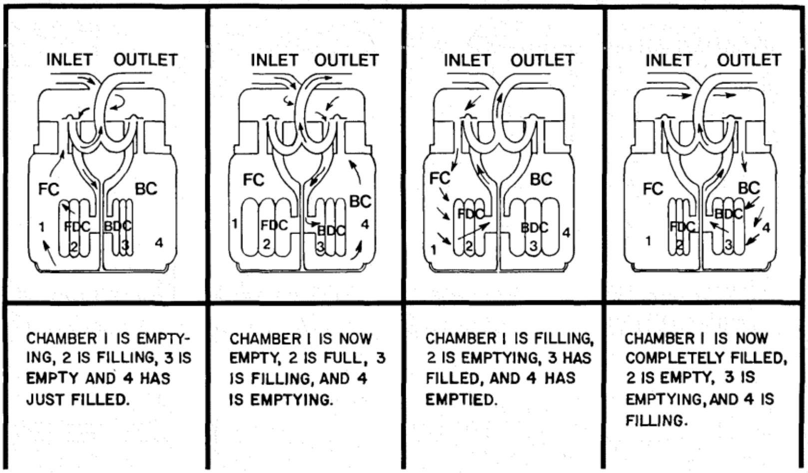
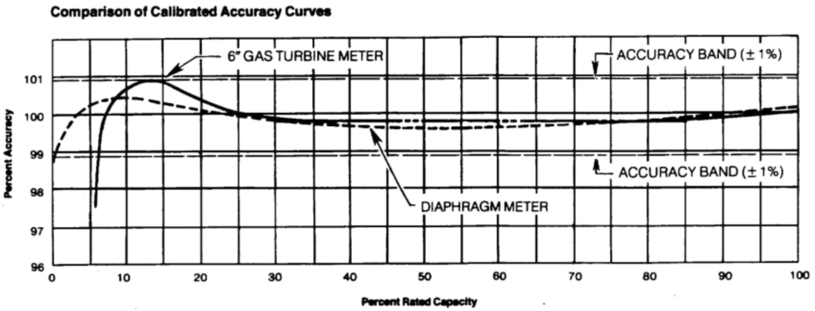


Figure 19. Dry gas meter.

รูปที่ 7 หลักการทำงานโดยทั่วไปของ DGM



รูปที่ 8 กราฟสมรรถนะโดยทั่วไปของ DGM

ข้อ ๑๖ อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการให้คำรับรองชั้นแรกและการให้คำรับรองชั้นหลังของมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม ให้มีทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อย ดังต่อไปนี้

(๑) เมื่อทำการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดด้วยอากาศ ต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตามตาราง ดังต่อไปนี้

อัตราการไหล	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด		
	สำหรับการให้คำรับรองชั้นแรกและการให้คำรับรองชั้นหลัง	สำหรับการตรวจสอบ	
	ฝ่ายมากและฝ่ายน้อย (ร้อยละ)	ฝ่ายมาก (ร้อยละ)	ฝ่ายน้อย (ร้อยละ)
$Q_{min} \leq Q <$ ๐.๑ Q_{max}	๓	๓	๖
๐.๑ $Q_{max} \leq Q \leq Q_{max}$	๑.๕	๓	๓

(๒) สำหรับการตรวจรับรองชั้นแรกและการตรวจรับรองชั้นหลัง ถ้าผลการตรวจรับรองที่อัตราการไหลต่าง ๆ ระหว่าง ๐.๑ Q_{max} ถึง Q_{max} พบว่ามีความคลาดเคลื่อนฝ่ายมากทั้งหมดหรือฝ่ายน้อยทั้งหมด ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ ๑.๐ ของปริมาตรที่ทดสอบ

รูปที่ 9 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error; MPE) ของ DGM ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ฯ พ.ศ. 2562

(Inspection) และตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) DGM ด้วยพิกัดอัตราการไหลกำลังสูงสุด (Q_{max}) ต่อขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด (Upper limit of Q_{min}) หน่วย m^3/h (ตามมาตรฐานของ OIML) ดังตารางที่ 1

อัตราการไหลสูงสุด (Q_{max}) (m^3/h)	ขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด (Upper limit of Q_{min}) (m^3/h)	กลุ่มเป้าหมาย มาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม
1	0.016	ใช้ในครัวเรือน ร้านค้าขนาดเล็กทั่วไป (Domestic Used) : 0.016 – 10 m^3/h
1.6	0.016	
2.5	0.016	
4	0.025	
6	0.040	
10	0.060	
16	0.100	ใช้ในทางการค้า ร้านค้าขนาดใหญ่ โรงแรม เป็นต้น (Commercial Used) : 0.100 – 40 m^3/h
25	0.160	
40	0.250	

ตารางที่ 1 ขอบเขตงานจัดสร้างระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)

ระบบแบบมาตรา และการสอบย้อนกลับได้ (Traceability)

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาพบว่าแบบมาตราและการสอบย้อนกลับได้ของแบบมาตราในประเทศแคนนาดานั้นเริ่มต้นจาก “แบบมาตรา Primary Standard” (ดูรูปที่ 10) ขอขยายเพิ่มในเรื่องโครงสร้างแบบมาตราเล็กน้อยนั้นคือในบางประเทศระบบแบบมาตราตำแหน่งสูงสุดที่เป็นหน้าตาของประเทศเริ่มต้นด้วย National Standard (สำหรับประเทศไทยคือ “แบบมาตราชั้นหนึ่ง” ตาม พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542) ถัดมาเป็น Primary Standard จากนั้นจึงเป็นชั้นย่อยรองลงมาเรื่อยๆ จนถึงแบบมาตราขั้นสุดท้ายที่ใช้ตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดที่เรียกว่า Working Standard จากรูปที่ 10 ในประเทศแคนนาดาเริ่มจาก Primeray Standard ซึ่งกำหนดให้เป็น “Bell Prover” ซึ่งเก็บไว้ที่สถาบันมาตรแห่งชาติของประเทศ จากนั้นทำการถ่ายแบบมาตรามายัง “Master Bell Prover” จากนั้นทำการถ่ายแบบมาตราจาก “Master Bell Prover” ด้วยตัวกลางที่เรียกว่า “Transfer Meter” ไปยัง

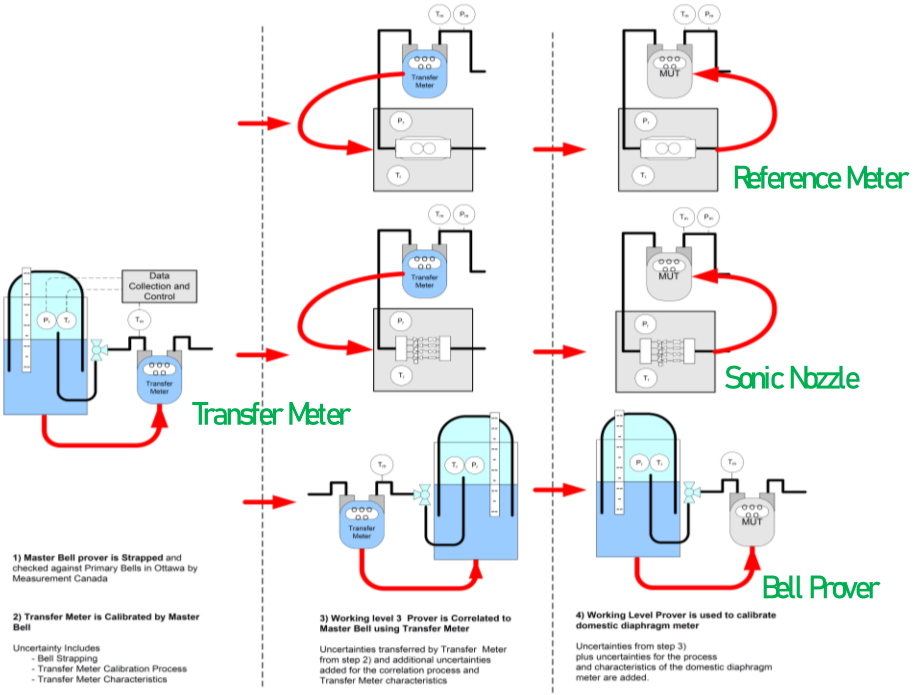
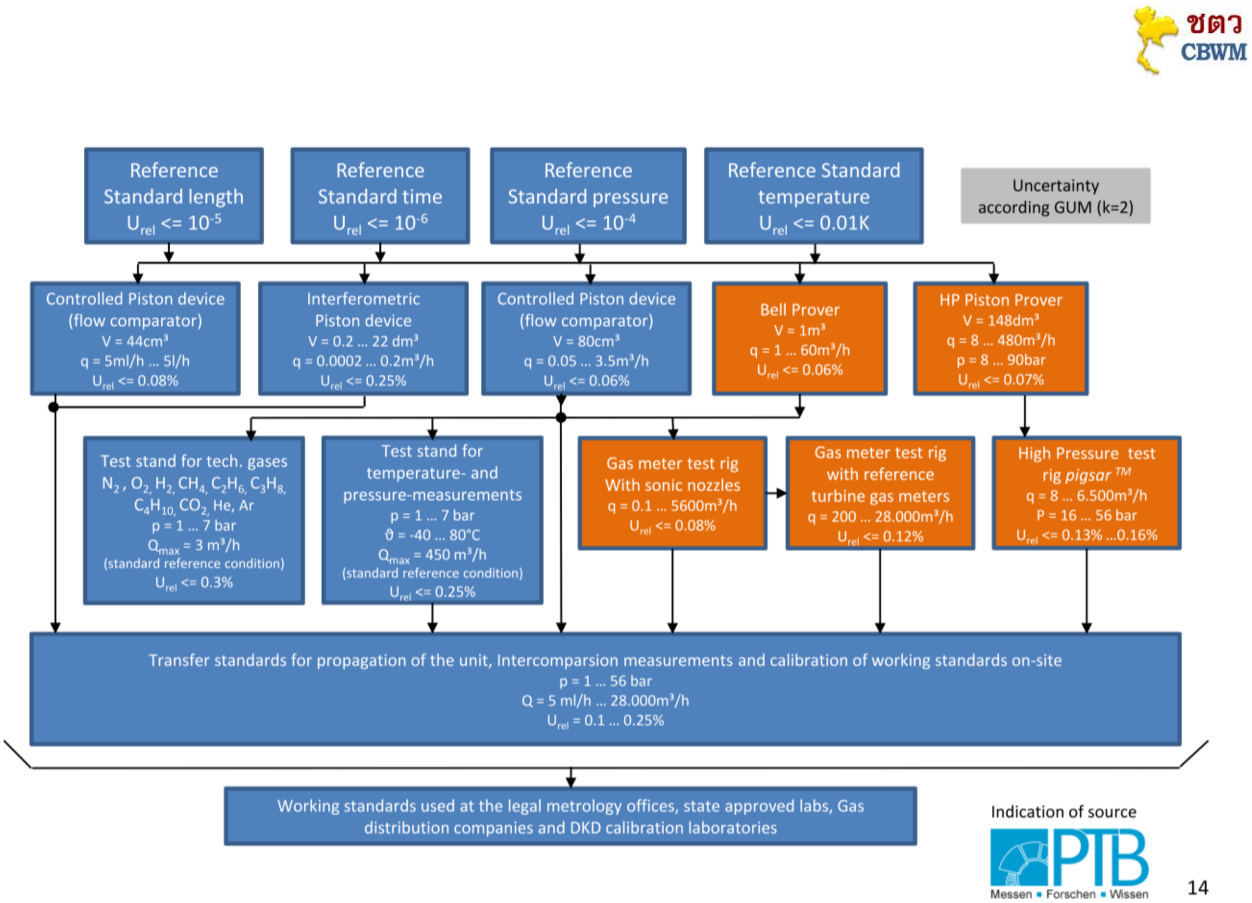


Figure 1: Traceability through Direct Correlation for Domestic Meter Transfer, Sonic Nozzle and Bell

รูปที่ 10 การสอบย้อนกลับได้ของแบบมาตราที่ใช้ตรวจสอบให้คำรับรอง DGM (Canada)

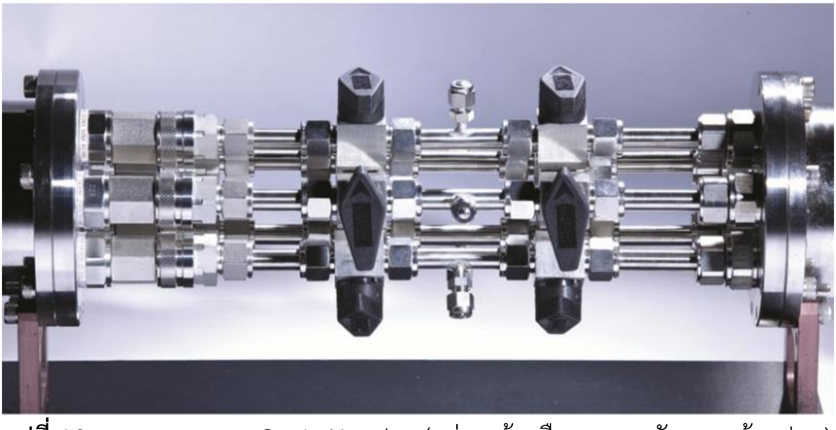


รูปที่ 11 การสอบย้อนกลับได้ของแบบมาตราที่ใช้ตรวจสอบให้คำรับรอง DGM (PTB)

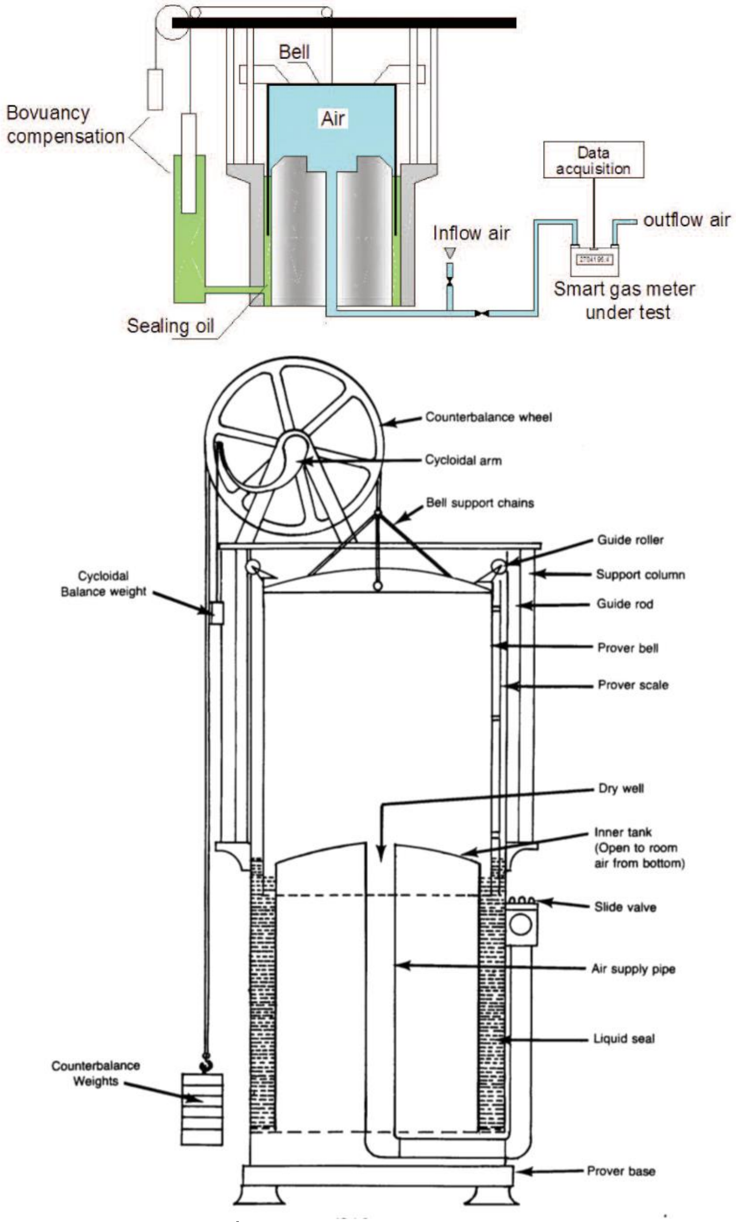
Working Standard ซึ่งถือเป็นแบบมาตราระดับใช้ทำงานเพื่อการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ก่อนถูกโยนเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศต่อไป ในที่นี่จากรูปที่ 10 เราจะเห็นได้ว่า Working Standard นั้นสามารถเลือกได้เป็นทั้ง

1. Sonic Nozzles (ดูรูปที่ 12) หรือ
2. Bell Prover (ดูรูปที่ 13 - รูปที่ 14)
3. Reference Meter หรือ Master Meter สามารถเป็นได้ทั้งแบบ Wet Gas หรือแบบ Rotary Meter เป็นต้น (ดูรูปที่ 15)

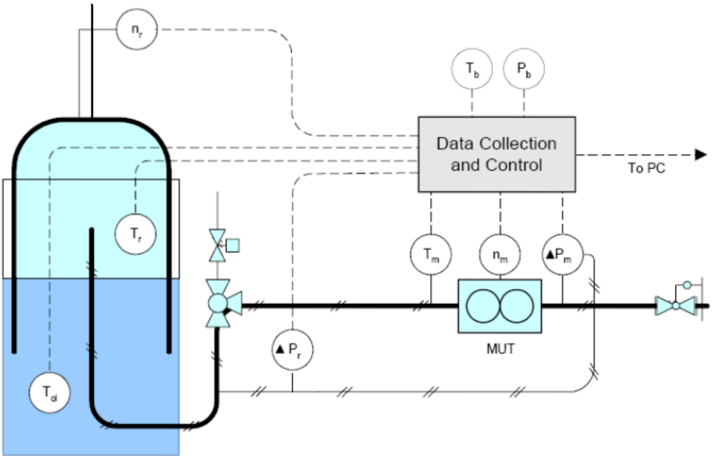
พิจารณารูปที่ 11 กรณีของ PTB ได้จัดระบบแบบมาตราให้สามารถสอบย้อนกลับได้ด้วยการถ่ายทอดแบบมาตราจากระดับ "Master Bell Prover" ไปยังแบบแบบมาตรา Working Standard เพื่อใช้เป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM นั้นคือ "Sonic Nozzles"



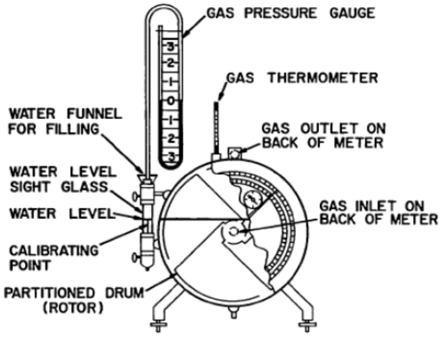
รูปที่ 12 แบบมาตราชุด Sonic Nozzles (อยู่ทางซ้ายมือของภาพถัดจากหน้าแปลน)



รูปที่ 13 แบบมาตรา Bell Prover



รูปที่ 14 ตรวจสอบให้คำรับรอง/สอบเทียบ DGM เทียบกับแบบมาตรา Bell Prover



Powell CH, Hosey AD (eds): The Industrial Environment — Its Evaluation and Control, 2nd Edition. Public Health Service Publication No. 614, 1965.

Figure 11-4. Wet Test Meter

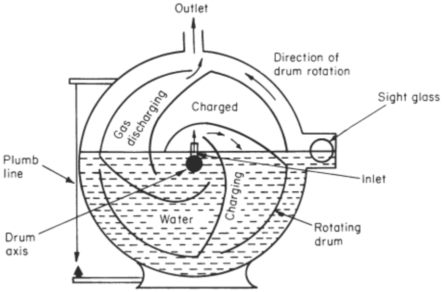


Figure 5.7 *Principle of the wet gas meter*

รูปที่ 15 แบบมาตรา Reference Meter หรือ Master Meter แบบ “Wet Gas”

การตัดสินใจเลือกระบบแบบมาตราและการสอบย้อนกลับได้

เมื่อพิจารณาถึง

1. ปริมาณงานตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เราประมาณการ 6,000 – 10,000 เครื่องต่อปี พิจารณาทั้งเครื่องใหม่และครบรอบอายุการใช้งาน 2 ปีรวมถึงเครื่องที่ได้รับการซ่อมแซมในแต่ละปี

2. แบบมาตราชั้นสามต้องทนทานและมีความเที่ยงอยู่ในระดับที่ดีกว่าหรือเท่ากับ 1/3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (ดูรูปที่ 9)

3. หลักการทำงานของแบบมาตราชั้นสาม (Working Standard) ซึ่งต้องถูกใช้เพื่อเป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ใช้หลักธรรมชาติเป็นหลักการทำงานของเครื่อง เพราะเครื่องชั่งตวงวัดนั้นจะทำงานได้เสถียรและให้ผลการวัดถูกต้องแม่นยำได้ดี

4. แบบมาตราชั้นสาม (Working Standard) ประกอบด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำงานเคลื่อนไหวน้อย การสึกหรอน้อย ความต้องการในการใส่ใจในการบำรุงรักษาน้อย สามารถใช้งานกับอากาศซึ่งเป็นสารตัวกลางที่มีต้นทุนการทำงานต่ำสุดและเก็บรักษาได้ปลอดภัย แต่ต้องเตรียมระบบฯ เพื่อรักษาอุณหภูมิ ความชื้น และความดันอากาศให้คงที่ด้วยระบบปรับอากาศแบบ Precision Air ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศที่ควบคุมได้ทั้ง Sensible and Lantern Heat ได้ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิและความชื้นของอากาศมีผลต่อความหนาแน่นของอากาศโดยส่งผลต่อค่าน้ำหนักของอากาศ และปริมาตรของอากาศซึ่งล้วนเป็นค่าที่เราต้องทำการวัดหรือหาค่าที่ถูกต้อง

5. การสอบเทียบแบบมาตราชั้นสามต้องสามารถสอบเทียบได้ภายในประเทศ เรื่องนี้เป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับผมเช่นกัน นั้นคือต้องพึ่งพาตัวเองได้ภายในประเทศถือเป็นปัจจัยชี้ขาดเลยที่เดียวก็ว่าได้ ซึ่งเท่าที่ทราบพบว่าสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมี Bell Prover และสามารถตรวจสอบ Sonic Nozzle ได้ในระดับขีดความสามารถ ค่าความไม่แน่นอนที่ยอมรับได้สำหรับงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเยอะๆอยู่แล้ว แต่อาจต้องเตรียมอุปกรณ์จับตัว Sonic

Nozzle เพื่อให้เชื่อมกับระบบท่อเดิมที่มีอยู่ของสถาบันฯ ได้ (ดูรูปที่ 16) เพราะเรื่องนี้จะสะท้อนได้ชัดเจนมากว่าเราแข็งแกร่งแค่ไหนเมื่อมีปัญหา เช่น ในสถานการณ์โควิค 19 แสดงให้เห็นว่าสาธารณะสุขของเราเข้มแข็งตั้งแต่พระราชบิดารัชกาลที่ 9 ทรงวางรากฐานการแพทย์มาอย่างยาวนาน แต่ในอีกด้านเราจะเห็นปัญหาฐานข้อมูลของเกษตรกรและผู้มีรายได้น้อยตลอดจนระบบการประกันสังคมในการกำหนดแผนและวงเงินตลอดจนตรวจสอบกลุ่มเป้าหมายเพื่อช่วยเหลือจากผลกระทบจากโควิค 19 อาจเป็นเพราะการเชื่อมโยงการจดทะเบียนธุรกิจ การเสียภาษี การศุลกากร การเกษตรกสิกรรม การประมง การประกันสังคม ทะเบียนราษฎร และ ฯลฯ ยังไม่เชื่อมโยงกันอย่างนี้ต้องทำระบบบริหารวางแผน ERP (Enterprise Resource Planning) ของประเทศไทยแล้วล่ะสิ ผมยังกลัวและหวั่นๆหากวันไหนมีวิกฤตทางด้านงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายเราจะทำอย่างไร อาจต้องไปเชิญรุ่นพี่ๆกลับมารวมญาติทำงาน หรือรวมทั้งลากขึ้นมาจากเตียงคนไข้หรืออาจต้องขุดมาจากหลุมหรืออัญเชิญจากเถ้าถ่านมาช่วยประเทศแล้วล่ะสิ .... (ไม่เอาน่ะอย่าคิดมาก...)

6. ประเด็นท้ายสุด อยู่ที่ว่า “ทำงานแทบตายสุดท้ายมาอยู่ที่คนบุคลากร” และ “บุกเบิกงาน สร้างงานนั้นยาก แต่ส่งมอบให้รักษาสืบไปนั้นยากกว่า” ก็เลยต้องมาเขียนบทความทิ้งไว้สิครับ 55555..

จากที่ใช้สมองนิ่มๆของผม จึงตัดสินใจเลือกแบบมาตรามาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมที่มีหลักการทำงานที่เรียกว่า **“Sonic Nozzle” หรือ “Critical Flow Venturi Nozzle”** เพื่อใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ด้วย**วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method)** และสามารถรองรับอัตราการไหลทดสอบ DGM ครอบคลุมทั้ง 2 กลุ่มเป้าหมายคือครัวเรือน ร้านค้าขนาดเล็กทั่วไป (Domestic Used) และ ใช้ในทางการค้า ร้านค้าขนาดใหญ่ โรงแรม เป็นต้น (Commercial Used) โดยใช้ระบบส่งจ่ายก๊าซทดสอบ**แบบระบบการดูดสุญญากาศ (Vacuum)** ตามคำแนะนำของเอกสาร PTB Volume 25: Gas meters – Test rigs with critical nozzles ดูรูปที่ 17

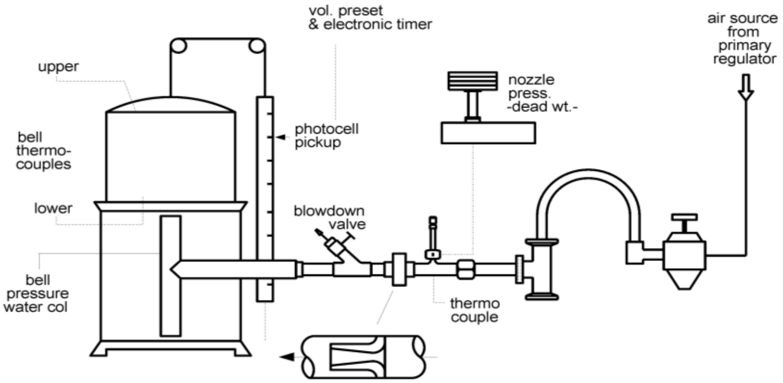


Figure 2.1: POSITIVE PRESSURE BELL CALIBRATION OF NOZZLES

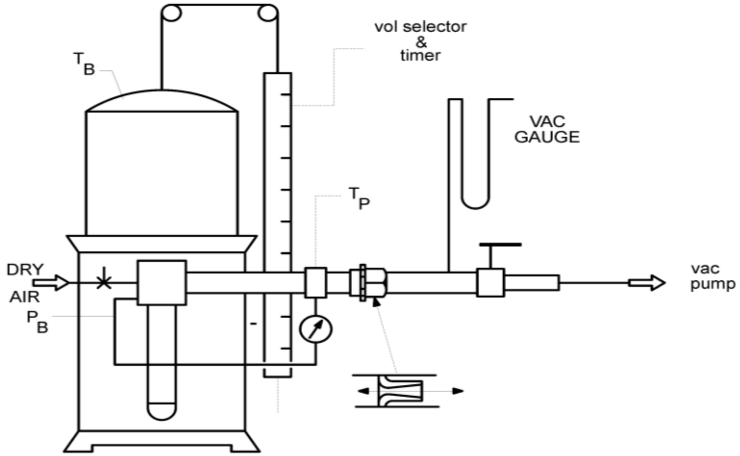


Figure 2.2: VACUUM PROVING BELL CALIBRATION OF NOZZLES

รูปที่ 16 การสอบเทียบแบบมาตรา Sonic Nozzle เทียบกับแบบมาตราชั้นที่สูงกว่าในที่นี่คือ Bell Prover ซึ่งจะใช้วิธีการสอบเทียบแบบอัดด้วยความดัน (Pressure) (รูปบน) หรือการดูดสุญญากาศ (Vacuum) (รูปล่าง)

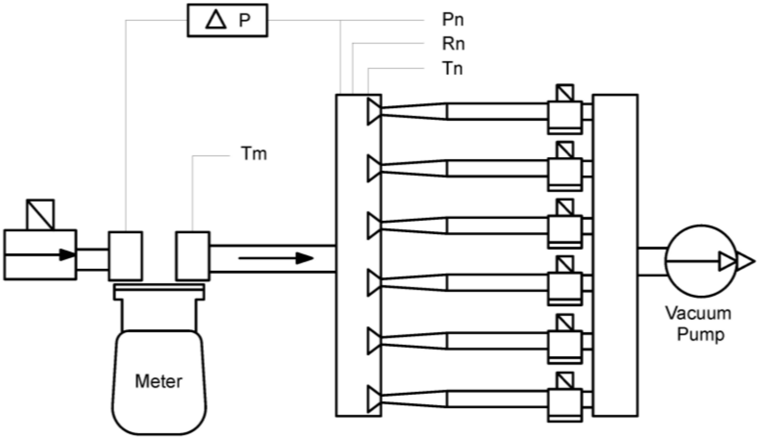


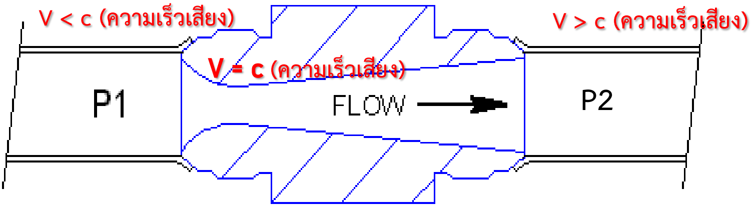
Figure 2.3: SCHEMATIC OF A SONIC NOZZLE PROVING SYSTEM

รูปที่ 17 การตรวจสอบ DGM ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับแบบมาตรา Sonic Nozzles ด้วยระบบส่งจ่ายก๊าซทดสอบแบบระบบการดูดสุญญากาศ

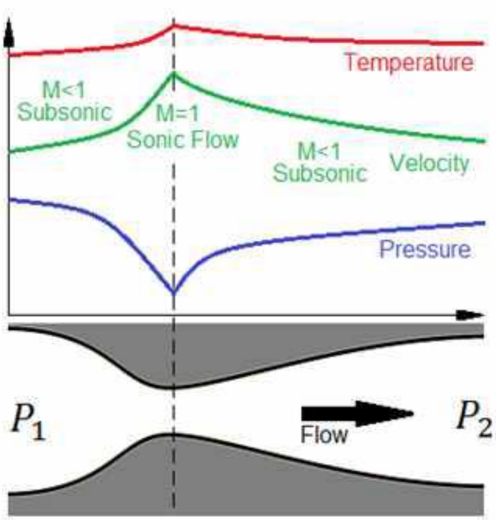
"Sonic Nozzle" หรือ "Critical Flow Meter"

ตัว "**Sonic Nozzle**" หรือ "Sonic Flow Nozzle" หรือ "Sonic Flow Venturi Nozzle" หรือ "Critical Flow Nozzle" หรือ "Critical Flow Venturi Nozzle" หรือ "Sonic Venturi" เดิมทีเป็นหลักการเครื่องวัดการไหลของอากาศในอุตสาหกรรมการบิน (the aerospace industry)

มาตรวัด Sonic Nozzle ถึงเป็นมาตรวัดที่ใช้หลักการของธรรมชาติที่น่าทึ่งมาก (ดูรูปที่ 18 และรูปที่ 19) เนื่องจาก Sonic Nozzle มีรูปร่างปากทางเข้าค่อยๆลู่ลงทำให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลงเรื่อย ๆ จนถึงพื้นที่หน้าคอคอดเล็กสุด (a minimum throat area) จากนั้นท่อเริ่มขยายตัวมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นจนถึงปากทางออก (Divergent portion) ซึ่งปากทางออกเรียกว่า "Diffusor" เมื่อก๊าซไหลเข้า Sonic Nozzle ซึ่งมีปากทางเข้ากลมมนแล้วค่อยๆลู่ให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลงจนถึงพื้นที่หน้าคอ



รูปที่ 18 หลักการทำงานของ Sonic Nozzle



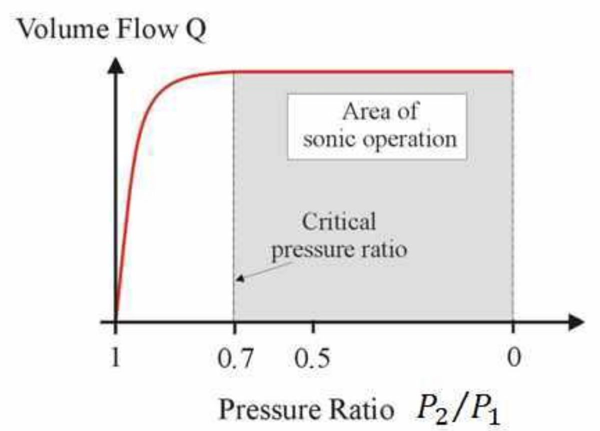
รูปที่ 19 สถานะอุณหภูมิ ความเร็ว และความดันของก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle ขณะเกิด “Choked”

คอดเล็กสุด ก๊าซจะถูกบังคับให้ไหลไปในช่องทางดังกล่าวและถูกเร่งให้ไหลจนมีความเร็วเพิ่มสูงขึ้นจึงถึง Sonic หรือความเร็วเสียง (ความเร็วเสียงในอากาศมีค่าประมาณ 346 เมตร/วินาที) ณ ตำแหน่งพื้นที่หน้าคอคอดเล็กสุด (a minimum throat area) ของ Sonic Nozzle จากนั้นเมื่อไหลต่อไปยังปากทางออก ท่อจะขยายบานออกไปมีพื้นที่หน้าตัดค่อยๆขยายเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของก๊าซจะค่อยๆลดลงสู่ความเร็ว Subsonic (ความเร็วต่ำกว่าเสียง) หรือก๊าซอาจยังคงเร่งความเร็วเป็น

Supersonic (ความเร็วสูงกว่าเสียง) แล้วแต่กรณี แต่เมื่อความเร็วของก๊าซลดลงสู่ความเร็ว Subsonic จะทำให้ความดันก๊าซค่อยฟื้นตัวสูงกลับมา แต่หากเกิดการไหลมีความเร็ว Supersonic ที่บริเวณดังกล่าวจะเกิด Shock wave เคลื่อนตัวออกไปตามปากทางออกและทำให้ก๊าซลดความเร็วจาก Supersonic (ความเร็วสูงกว่าเสียง) สู่ความเร็ว Subsonic (ความเร็วต่ำกว่าเสียง) (ดูรูปที่ 21) ประเด็นนี้ถือเป็นประเด็นที่ถกเถียงกันว่าการไหลผ่าน Sonic N0zzle นั้นเป็นไปไม่ได้ที่จะเกิดความเร็วถึงระดับ Supersonic บริเวณทางออกไม่เช่นนั้นเราจะต้องได้ยินเสียงดังสนั่นเช่นเดียวกับเครื่องบินขับไล่ที่ทำความเร็วสูงกว่าความเร็วเสียงและเกิด Sonic Boom ดังสนั่น แต่บางผู้รู้ก็บอกว่าสามารถเกิดการไหลมีความเร็วถึงระดับ Supersonic บริเวณทางออกได้แต่จะไม่เกิดเสียงดังเหมือนเครื่องบินเจ็ทให้เราได้ยินหรอก เราเป็นผู้เรียนรู้ก็รับฟังไว้ก่อนแล้วค่อยๆคิดตาม

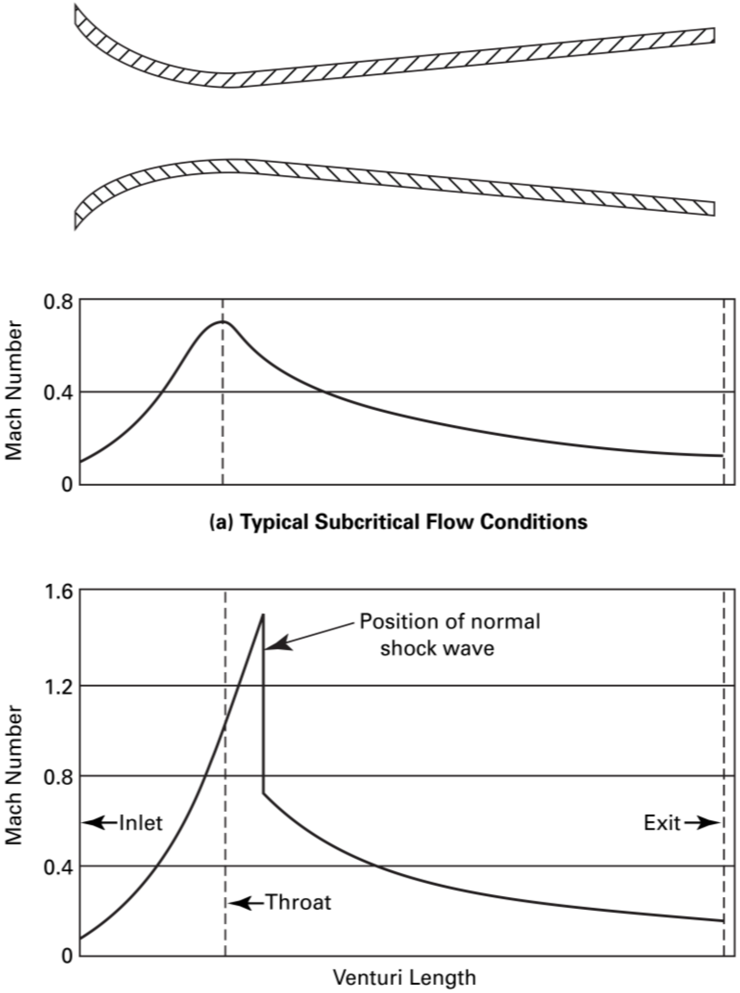
การทำให้ความเร็วของก๊าซที่บริเวณพื้นที่หน้าคอคอดเล็กสุดมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียงหรือ Mach number; M = 1.0 เราเรียกสภาวะดังกล่าวว่าการเกิด**สภาวะวิกฤต (the critical flow condition)** หรือสภาวะ **"choked" หรือ "sonic" state** ของ Sonic Nozzle (ดูรูปที่ 18 และรูปที่ 19) ส่งผลให้อัตราการไหลผ่าน Sonic Nozzle ที่สภาวะดังกล่าวถูกจำกัดให้มีค่าอัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่งและยังทำให้การเปลี่ยนแปลงใด ๆ บริเวณหลังหรือด้าน downstream ของบริเวณพื้นที่หน้าคอคอดเล็กสุด ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซและอุณหภูมิก๊าซด้านทางออก Sonic Nozzle หรือเกิดการไหลเป็นช่วง ๆ หรือการไหลไม่สม่ำเสมอ (flow pulsations or fluctuations) ทางด้าน Downstream ของ Sonic Nozzle ปัจจัยดังกล่าวทั้งหมดนี้ก็จะไม่ส่งผลกระทบผ่านคอคอดตัว Sonic Nozzle ไปกระทบต่อค่าความดันด้านทางเข้าและอัตราการไหลของ Sonic Nozzle แต่อย่างใดหรือพูดได้ว่าปัจจัยเหล่านั้นไม่สามารถทะลุกำแพงเสียง (M=1.0) ที่คอคอดนั้นได้ แต่เมื่อมีข้อดีแล้วก็ต้องมีข้อเสียนั้นก็คือการออกแบบและการคำนวณต้องมีความยุ่งยากในการเลือก Sonic Nozzle เมื่อใช้กับก๊าซที่มีคุณสมบัติทาง Thermodynamics ที่แตกต่างกันทั้งนี้ก็เพื่อต้องออกแบบให้เกิดสภาวะวิกฤต หรือเกิด Choked หรือเกิดความเร็วไหลผ่านคอ

คอดเล็กสุดให้มีค่าความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง



รูปที่ 20 อัตราส่วนความดันระหว่างความดันทางเข้า (P_1) ต่อความดันทางออก (P_2) ตัว Sonic Nozzle มีค่า $P_1/P_2 \geq 1.2$ หรือ $P_2/P_1 \leq 0.833$ (แต่ในบางผู้ผลิตอาจไม่ได้ค่านี้) เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากหลักการทำงานของ Sonic Nozzle บริเวณที่อัตราการไหลมวลคงที่

ตัวอย่างเช่นเมื่อติดตั้ง Sonic Nozzle เข้าไปในระบบท่อวัดปริมาณของก๊าซ จะต้องรักษาให้**อัตราส่วนความดันระหว่างความดันทางเข้า (P_1) ต่อความดันทางออก (P_2) ตัว Sonic Nozzle** (ดูรูปที่ 20) **มีค่า $P_1/P_2 \geq 1.2$** (ค่าแตกต่างจากนี้ได้บางตามแต่ผู้ผลิต) ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางที่ต้องการวัดอัตราการไหลอากาศที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle เมื่อเรารักษาอัตราส่วนความดันทางเข้าต่อความดันทางออกให้มีค่า $P_1:P_2 \geq 1.2$ นั้นหมายถึงเรารักษาสถานะ **"choked" หรือ "sonic" state** ตลอดเวลาที่ทำการวัดอัตราการไหลก๊าซ ซึ่งที่สถานะดังกล่าวเราเพียงใช้ค่าความดันด้านทางเข้า P1 และอุณหภูมิอากาศด้านทางเข้า T1 มาใช้คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศผ่าน Sonic Nozzle นั้นหมายถึง **อัตราการไหลของก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle จะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงของความดันด้านทางเข้า หากอุณหภูมิก๊าซมีค่าคงที่และพื้นที่หน้าตัดคอคอดเล็กสุดมีค่าคงที่** แต่หาก



(a) Typical Subcritical Flow Conditions

(b) Typical Critical Flow Conditions

Fig. 8-1-1 Ideal Mach Number Distribution Along Venturi Length at Typical Subcritical and Critical Flow Conditions

รูปที่ 21 สถานะความดันของก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle ขณะเกิด "Choked" ในทางทฤษฎี

อุณหภูมิก๊าซไม่คงที่ก็จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเทียบกับความดันทางเข้า และอุณหภูมิทางเข้า Sonic Nozzle ว่า

$$Q_m \propto \frac{P_1}{\sqrt{T_1}}$$

ดังนั้นถ้าไม่เกิด Choked ที่คอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle เครื่องวัดนี้ก็โยนลงถังขยะได้ทันที ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องคอยตรวจสอบและรักษาความดันด้านทางออก**ให้มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า**ค่าความดันที่ต้องการรักษาความเร็วเสียงบริเวณคอตอดให้เกิดขึ้นตลอดเวลา ดูรูปที่ 20

ในขณะที่เกิดสถานะ **“choked” หรือ “sonic” state** ของ Sonic Nozzle นั้นพบว่าสถานะอุณหภูมิ ความเร็ว และความดันของก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle ดังรูปที่ 22 ถึง รูปที่ 25 เมื่อดูรูปที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับในกรณีของเราที่ใช้ Sonic Nozzle เป็นแบบมาตราจะเกิดขึ้นในกรณีเดียวคือ ก่อนทางเข้า Sonic Nozzle ความเร็วของก๊าซเป็น Subsonic (M<1) เมื่อไหลผ่านคอคอดแล้วความเร็วของก๊าซเป็น Sonic (M = 1) จากนั้นเมื่อก๊าซไหลผ่านคอคอดไปความเร็วของก๊าซเป็น Subsonic (M<1) เพราะถ้าความเร็วก๊าซด้านทางออกของเรามีความเร็วมากกว่าความเร็วเสียงหรือ Supersonic (M > 1) เราคงหูหนวกจนหูดับแน่ ๆ ครับ เพราะจะเกิด Sonic Boom แต่คิดว่าชาตินี้เราก็ไม่เจอความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วเสียงเหมือนตัวเครื่องบินขับไล่ที่มีความเร็วเหนือเสียง March 5 (เร็วแต่ตัวเครื่องบินน่ะ แต่อากาศมันจะเร็วกว่าความเร็วเสียงหรือเปล่าอันนี้ยัง งง... เพราะอากาศไม่ได้ติดจมูกไปกับจมูกเครื่องบินนี้ตอนที่ทำความเร็ว March 5) หรืออาจไม่ได้ยิน หรือเราก็อาจได้ยินเสียงดังบางในระดับที่รำคาญ เสมือนได้ยินเมียบ่น..... บ่ ย่าน...... ชั่งตวงวัดทนได้.......

มาตรฐานที่กำหนดรูปร่างขนาดและลักษณะของ Sonic Nozzle ที่ได้รับการยอมรับ คือ ISO 9300, ASME MFC-7M และถูกอ้างอิงใน PTB Testing Instruction Volume 25 ด้วยเช่นกัน (ดูรูปที่ 26.1 - รูปที่ 26.3)

โดยปกติแล้ว Sonic Nozzle จะได้รับการขึ้นรูป เช่นการกลึงที่มีความเที่ยง

สูง อีกทั้งต้องทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อนจากความเร็วของก๊าซที่มีค่าสูงถึงความเร็วเสียง โลหะที่ใช้อย่างน้อยควรเป็น Stainless Chromium-Nickel Steel

แต่อย่างไรก็ตามอาจมีรูปลักษณะภายนอกที่แตกต่างตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น เป็นเกลียวหัวท้ายตัว Sonic Nozzle หรือสอดเข้าไปในระหว่างหน้าแปลนของระบบท่อ เป็นต้น ตัวอย่างดังในรูปที่ 27 และรูปที่ 28

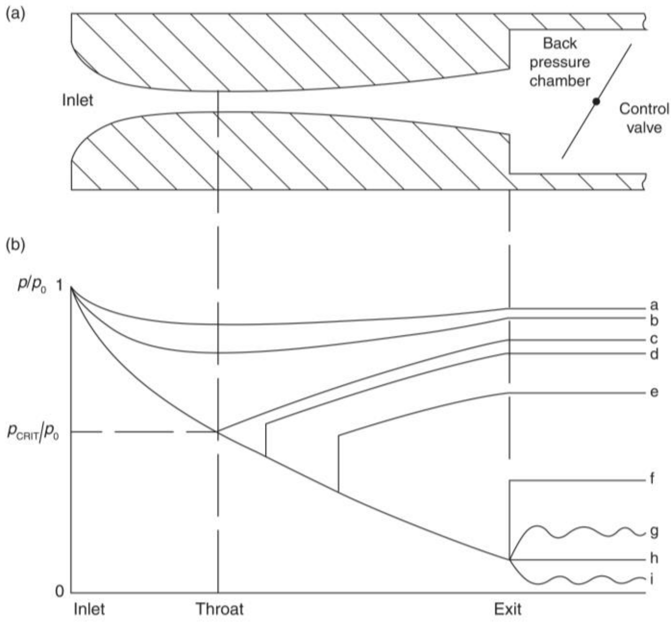


Figure 2.6. Convergent-divergent nozzle: (**a**) geometry; (**b**) p/p_0 against distance through convergent-divergent nozzle.

รูปที่ 22 สถานะความดันของก๊าซที่ไหลผ่านแต่ละตำแหน่งใน Sonic Nozzle

- ก่อนเกิด “Choked”(M < 1) และความเร็วของก๊าซด้านทางออก M < 1 (เส้น a, b)
- ขณะเกิด “Choked”(M = 1) และความเร็วของก๊าซด้านทางออก M < 1 (เส้น c)
- หลังเกิด “Choked”(M > 1) และความเร็วของก๊าซด้านทางออก M < 1 (เส้น d)
- หลังเกิด “Choked”(M > 1) และความเร็วของก๊าซด้านทางออก M > 1 (เส้น h)

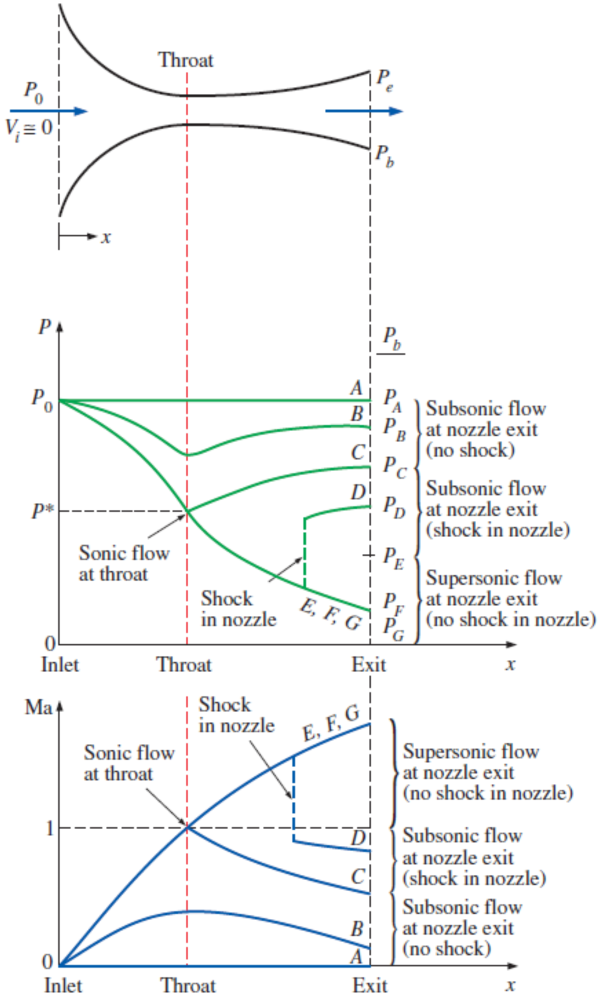
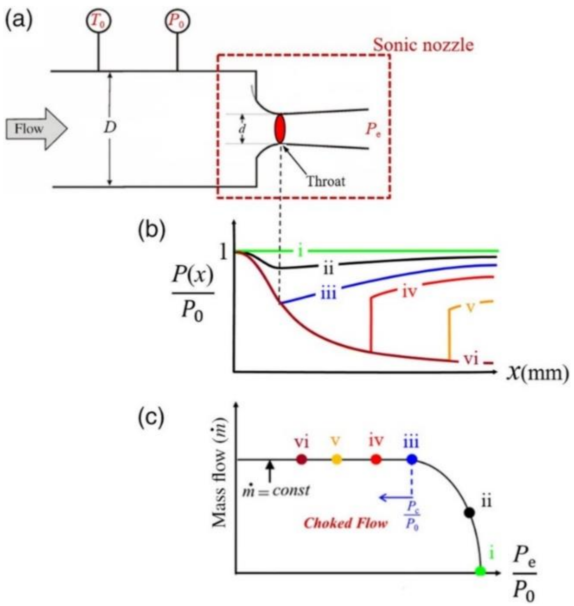


FIGURE 17–27
The effects of back pressure on the flow through a converging–diverging nozzle.

รูปที่ 23 ผลกระทบของความดันย้อนกลับด้านทางออก Sonic Nozzle โดยเปรียบเทียบความดันก๊าซกับความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle (converging-diverging nozzle)



รูปที่ 24 รูป (b) สถานะอัตราส่วนความดัน และ รูป (c) อัตราการไหลมวลก๊าซที่ไหลผ่าน Sonic Nozzle

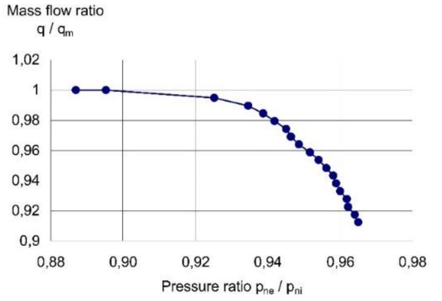
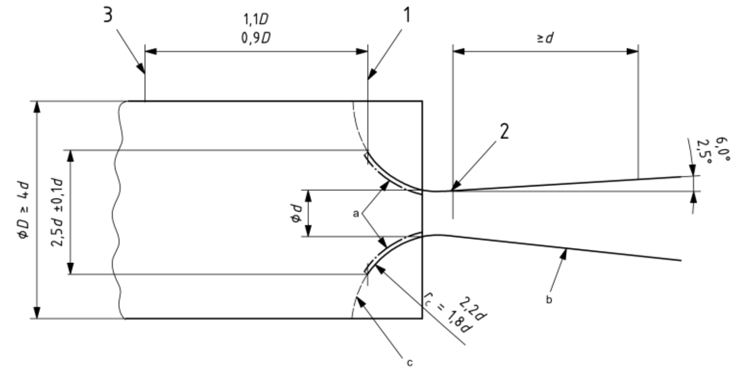


Figure 2. Referenced mass flow q / q_m through the nozzle in dependence of the pressure ratio p_{ne} / p_{ni} along the nozzle.

รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอัตราการไหลมวลก๊าซเทียบกับอัตราการไหลมวลอ้างอิง กับอัตราส่วนความดันด้านทางออกเทียบกับความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle



Key

1 inlet plane

2 intersection of toroidal surface and divergent section

3 location of pressure indicating device

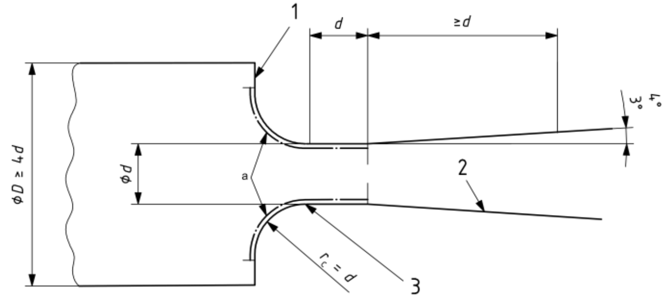
a In this region the arithmetic average roughness Ra shall not exceed $15 \times 10^{-6}\,d$ and 0,04 µm for normally and accurately machined Venturi nozzles, respectively, and the contour shall not deviate from toroidal form by more than ± 0,001d.

b In this region the arithmetic roughness value shall not exceed $10^{-4}d$.

c Inlet surface shall lie outside this contour.

Figure 1 — Toroidal-throat Venturi nozzle

รูปที่ 26.1 ขนาดรูปร่างมาตรฐานของ Sonic Nozzle ตาม ISO 9300



Key

1 inlet plane

2 conical divergent section with an arithmetic average relative roughness not exceeding $10^{-4}d$

3 transition region

a In this region the arithmetic average roughness Ra shall not exceed $15 \times 10^{-6}\,d$ and the contour shall not deviate from toroidal and cylindrical forms by more than ± 0,001d.

Figure 2 — Cylindrical-throat Venturi nozzle

รูปที่ 26.2 ขนาดรูปร่างมาตรฐานของ Sonic Nozzle ตาม ISO 9300

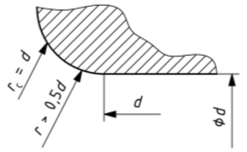
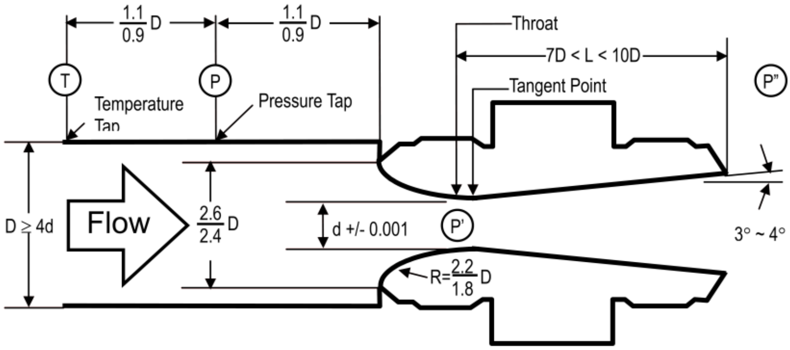


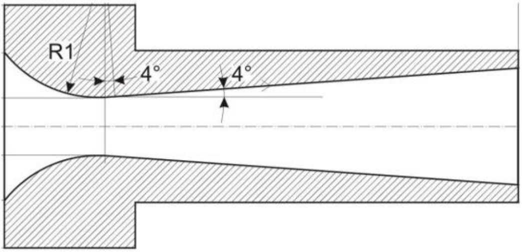
Figure 3 — Detail of connection between quarter of torus and cylindrical throat (transition region)

รูปที่ 26.3 ขนาดรูปร่างมาตรฐานของ Sonic Nozzle ตาม ISO 9300



Schematic Diagram of a Sonic Nozzle

รูปที่ 27 ตัวอย่าง Sonic Nozzle รูปลักษณะภายนอกแบบต่าง ๆ



รูปที่ 28 ตัวอย่าง Sonic Nozzle รูปลักษณะภายนอกแบบต่าง ๆ

สภาวะวิกฤต (the critical flow condition) หรือสภาวะ **"choked" หรือ "sonic" state**

เริ่มต้นจากทฤษฎี Thermodynamics ของการไหลแบบอัดตัวของของก๊าซอุดมคติ (Compressible Flow of an Ideal Gas) พบว่าการไหลผ่านท่อสั้นด้วยความดันทางเข้า P_0 และความดันด้านทางออก P_2 จะมีอัตราการไหลมวลเท่ากับ

$$q_m = F\sqrt{2g\frac{\gamma}{\gamma-1}\frac{P_0}{v_0}\left[\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{2/\gamma}-\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{(\gamma+1)/\gamma}\right]} \qquad (1)$$

เมื่อ

F	=	Velocity of approach factor
g	=	Acceleration of gravity

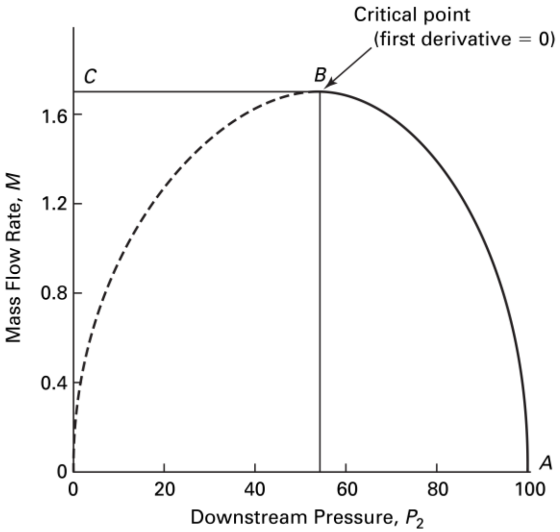
γ	=	Ratio of specific heats, constant pressure/constant volume
ν	=	kinematic viscosity
P	=	Pressure
T	=	Temperature
0	=	Inlet sonic nozzle
2	=	Outlet sonic nozzle

เมื่อนำสมการข้างบนไปทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลมวลเทียบกับความดันด้านทางออก Sonic Nozzle P_2 (ดูรูปที่ 29) เมื่อเริ่มต้นการไหลก๊าซในระบบท่อเข้า Sonic Nozzle ถ้าหากให้ความดันด้านทางออก P_2 มีค่าเท่ากับ P_0 เมื่อตอนเริ่มการไหลของก๊าซคิดความดัน P_2 เป็น 100% เทียบกับ P_0 พบว่ามีอัตราการไหลมวลเท่ากับ 0 (จุด A) จากนั้นปล่อยให้ก๊าซไหลผ่านท่อคอคอดแล้วลดความดันด้านทางออกจนกระทั่งเมื่อความดันด้านทางออกเทียบกับควาดันด้านทางเข้ามีค่าเท่ากับ 0% พบว่ามีอัตราการไหลมวลเท่ากับจุด C แต่ระหว่างจุด A และจุด C จะพบว่ามีจุด B ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลมวลเทียบกับความดันด้านทางออก Sonic Nozzle P_2 ตรงจุดสูงสุดนี้เราเรียกว่า **"Critical Pressure"** แม้ลดความดันด้านทางออก Sonic Nozzle P_2 เท่าใดก็ไม่สามารถเพิ่มความดันทางเข้า ดังนั้นเมื่อทำการ Diff สมการ (1) แล้วให้เท่ากับศูนย์ เนื่องจากจุดบนสุดของกราฟ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟเท่ากับศูนย์ เราจะได้

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)_{cr} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma+1}} \equiv r* \qquad (2)$$

ที่สภาวะนี้จุด B ซึ่งเป็นจุดที่มีอัตราการไหลมวลก๊าซสูงสุด เกิดการไหลสภาวะวิกฤตหรือการเกิด choked ใน Sonic Nozzle นั้นคือสภาวะที่เกิดความเร็วของ

ก๊าซที่ไหลผ่านคอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle ไหลด้วยความเร็วเสียงจะเกิดขึ้นเมื่อเกิด**อัตราส่วนความดันวิกฤต (Critical Pressure Ratio);** r_* ภายในตัว Sonic Nozzle ซึ่งมีเป็นค่าอัตราส่วนความดันสมบูรณ์ด้านทางออกหรือด้านปลายน้ำ (Downstream) ของ Sonic Nozzle; P_2 เทียบกับความดันด้านสมบูรณ์ทางเข้าที่มีค่าความดันนิ่งคงที่ทางด้านต้นน้ำ (Upstream) ของ Sonic Nozzle; P_0 หรือ $(P_2 / P_0)_{cr}$ หรือ r_* ดังสมการ (2)



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์อัตราการไหลมวลก๊าซกับความดันทางออก Sonic Nozzle

ผลการศึกษาการวิเคราะห์การไหลก๊าซแบบอัดตัว (Compressible flow analyses) ด้าน Gas Dynamics ได้ตระหนักถึงประโยชน์ในการนำค่าความเร็วเสียง (M) มาเป็นตัวแปรหนึ่งในสมการการไหล ดังนั้นสมการ Isentropic flow function ของ Ideal gases ด้วยเงื่อนไขสภาวะ Constant ratio of Specific Heats จะได้

$$\frac{P}{P_0} = \left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)^{-\gamma/(\gamma-1)} \tag{3}$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)^{-1/(\gamma-1)} \tag{4}$$

$$\frac{T}{T_0} = \left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)^{-1} \tag{5}$$

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M}\left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)\left(1+\frac{\gamma-1}{2}M^2\right)\right]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \tag{6}$$

เมื่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัดภายใน Sonic Nozzle; m^2
c	=	ความเร็วเสียง ณ พื้นที่นั้น ; m/s
M	=	Mach Number V/c; dimensionless
P	=	ความดัน ; Pa
T	=	อุณหภูมิ ; K
V	=	ความเร็วก๊าซ; m/s
γ	=	ration of specific heats; C_p/C_v (Isentropic); dimensionless
C_p	=	specific heat at constant pressure
C_v	=	specific heat at constant volume
0	=	Stagnation position (ทางเข้า)

สำหรับการไหลวิกฤติของ Sonic Nozzle แล้ว **M** = 1 (ความเร็วเสียง) ดังนั้นสมการ Isentropic flow function ของก๊าซอุดมคติ (Ideal gases) ด้วยเงื่อนไขสภาวะ Constant ratio of Specific Heats จึงลดรูปเหลือ

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{\gamma+1} \tag{7}$$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (8)$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{1/(\gamma-1)} \quad (9)$$

TABLE 17–2

The critical-pressure, critical-temperature, and critical-density ratios for isentropic flow of some ideal gases

	Superheated steam, $k = 1.3$	Hot products of combustion, $k = 1.33$	Air, $k = 1.4$	Monatomic gases, $k = 1.667$
$\frac{P^*}{P_0}$	0.5457	0.5404	0.5283	0.4871
$\frac{T^*}{T_0}$	0.8696	0.8584	0.8333	0.7499
$\frac{\rho^*}{\rho_0}$	0.6276	0.6295	0.6340	0.6495

รูปที่ 30 เมื่อเกิดการไหลวิกฤติของ Sonic Nozzle จะมีอัตราส่วนความดันวิกฤต อัตราส่วนอุณหภูมิวิกฤต และอัตราส่วนความหนาแน่นก๊าซวิกฤต ตามชนิดก๊าซบนสมมุติฐานว่าเป็นก๊าซอุดมคติ ($k = \gamma$)

อ่านเอกสารหลายแหล่งตัวเองก็เริ่มกลัวสับสนสัญลักษณ์ กลัวว่าอาจใช้รูป หรือ สมการจากหลายที่แล้วสร้างความสับสนในเนื้อหา ก็ขอสรุปในเบื้องต้นเป็นแนวทางข้างล่างไปก่อนเผื่อเหลือเผื่อขาดหากไม่สามารถทยอยแก้ไขตัวแปรได้หมด

ทางเข้า Sonic Nozzle	**คอคอดเล็กสุด Sonic Nozzle**	**ทางออก Sonic Nozzle**
P_0 , T_0 , ρ_0 , A_0	P_1 , T_1 , ρ_1 , A_1 P_t , A_d, Re_d	P_2 , T_2 , ρ_2 , A_2

จากที่เคยได้กล่าวมาแล้วว่าหากต้องการรักษาสภาวะ Choked ที่คอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle เราต้องคอยตรวจสอบและรักษาความดันด้านทางออก**ให้มีค่า**

เท่ากับหรือต่ำกว่าค่าความดันที่ต้องการรักษาความเร็วเสียงบริเวณคอตอดให้เกิดขึ้นตลอดเวลา ดังนั้น**อัตราส่วนความดันที่ก่อให้เกิดสภาวะ Choked (Choking Pressure ratio)** จึงเป็นอัตราส่วน P_0/P_2 ที่ความเร็วการไหลของก๊าซบริเวณคอคอดยังมีความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง (sonic) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนที่มีค่าต่ำสุดที่**ต้องรักษาไม่ให้มีค่าต่ำกว่าค่านี้**ถ้าต่ำกว่าค่านี้ก็ไม่เกิด Choked ในทางกลับกัน **Unchoking back-pressure ratio** คืออัตราส่วนความดันด้านทางออก (downstream static pressure) ต่อความดันด้านทางเข้า (the inlet stagnation pressure) ในขณะที่ความเร็วการไหลของก๊าซบริเวณคอคอดยังมีความเร็วไม่ถึงความเร็วเสียง (subsonic) เมื่อใช้งาน Sonic Nozzle ต้องรักษาให้ **back-pressure ratio** มีค่าต่ำกว่า Unchoking back-pressure ratio เพื่อให้เกิดสภาวะ Choked ดังในรูปที่ 31 กราฟนี้ถือว่ามีใช้แพร่หลายและมีประโยชน์ในการตรวจสอบการออกแบบ Sonic Nozzle

ด้วยเหตุนี้ภายใต้เงื่อนไขที่ครบถ้วนดังนี้ Sonic Nozzle ที่มีมิติตามรูปที่ 26 และมีตำแหน่งคอคอดเล็กที่สุดต้องมีการไหลของก๊าซมีค่า Reynold’s number; Re_d **สูงมากกว่า 2×10^5** และ**ด้านทางออกที่เป็นทรงกรวยมีความยาวมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดเล็กที่สุด d** และมี**อัตราส่วนความดันเพียงพอสำหรับเข้าสู่สภาวะ critical flow โดยมีค่ามากกว่าค่าในสมการ (10)**

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)_{max} = 0.8 \bullet \left[\left(\frac{P_2}{P_0}\right)_i - r*\right] + r* \qquad (10)$$

โดยค่า $(P_2/P_0)_i$ ในสมการ (10) เป็นค่าที่เราต้องหาและคำนวณจากความสัมพันธ์ทาง thermodynamic ของการไหลของก๊าซในอุดมคติตามฟังก์ชันของอัตราส่วนจริงของด้านทางออกของ Sonic Nozzle หรือที่เรียกว่า Diffusor ซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะสมเพื่อให้ก๊าซที่ไหลผ่านคอคอดเล็กสุดที่มีความเร็วเสียงเมื่อไหลผ่านออกมาสามารถฟื้นฟูความดันกลับมาให้มากที่สุดและมีความเร็วต่ำกว่าเสียง (subsonic) ไม่เช่นนั้นหูคงดับเพราะเสียงจะดัง (จริงหรือเปล่าก็ไม่รู้) สำหรับค่า

$(P_2/P_0)_{max}$ สามารถใช้จากรูปที่ 31 ($\kappa = \gamma = 1.4$ สำหรับอากาศ) ส่วน r_* ได้จากสมการ (2)

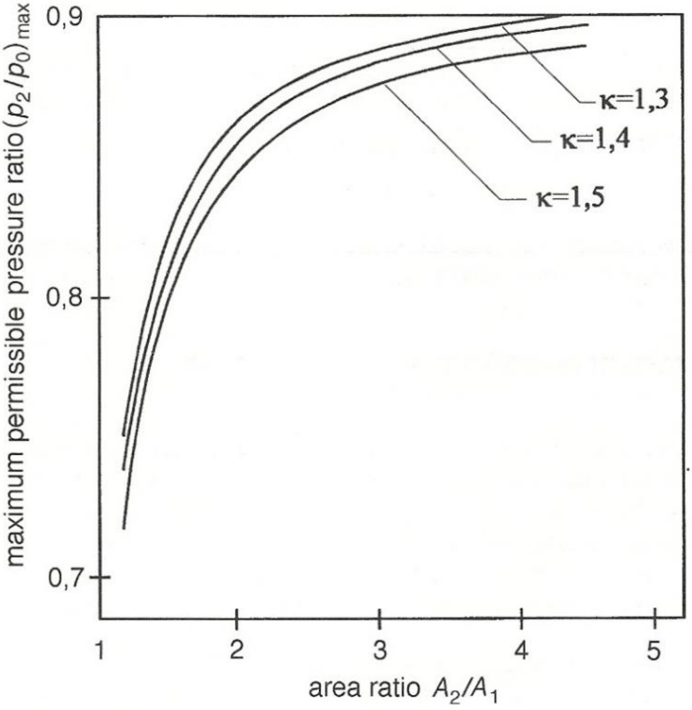
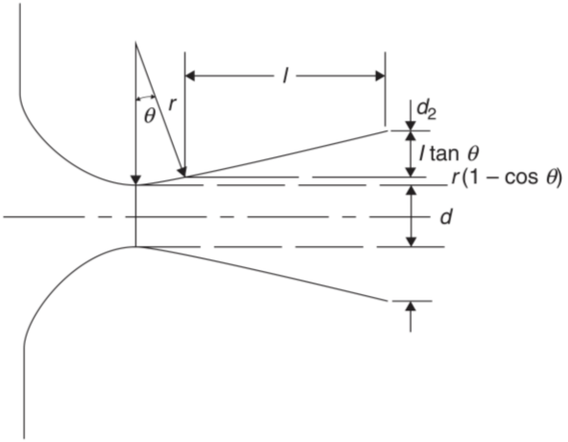


Figure 4: Maximum permissible pressure ratio for critical Venturi nozzles [3]

รูปที่ 31 ความสัมพันธ์สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดด้านทางออก (A_2) ต่อพื้นที่หน้าตัดคอคอดเล็กสุด (A_1) กับอัตราส่วนสูงสุดระว่างความดันด้านทางออก (P_2) กับความดันด้านทางเข้า (P_0) ของ Sonic Nozzle ($\kappa = \gamma$)

สำหรับอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดด้านทางออกเทียบกับพื้นที่หน้าตัดคอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle (diffuser outlet area to nozzle throat area) ซึ่งเป็นค่าบนแกน X ในรูปที่ 31 คำนวณได้จาก

(a) Sonic Nozzle รูปร่างคอคอดแบบ Toroidal Throat



รูปที่ 32 รูปทางเรขาคณิตของ Toroidal-throat Venturi nozzle

$$d_2 = d + 2\left[r \cdot (1 - \cos\theta) + l \cdot \tan\theta\right] \tag{11}$$

หรือ

$$\frac{d_2}{d} = 1 + \frac{2r \cdot (1 - \cos\theta)}{d} + \frac{2l \cdot \tan\theta}{d} \tag{12}$$

จากนั้น $\theta = \propto_{Diff}$, $l = L_{Diff}$, $r = r_c$

$$\frac{A_2}{A_d} = \left[\frac{2 \cdot L_{Diff} \cdot \tan\alpha_{Diff}}{d} + \frac{2r_c}{d} \cdot (1 - \cos\alpha_{Diff}) + 1\right]^2 \tag{13}$$

(b) Sonic Nozzle รูปร่างคอคอดแบบ Cylindrical Throat

$$\frac{A_2}{A_d} = \left[\frac{2 \cdot L_{Diff} \cdot \tan\alpha_{Diff}}{d} + 1\right]^2 \tag{14}$$

โดย

L_{Diff} , l ความยาวด้านทางออกของ Sonic Nozzle (Length of diverging part)

$\propto_{Diff}$, θ — ค่ามุมครึ่งหนึ่งของมุมที่บานออกของด้านทางออกของ Sonic Nozzle (Half angle of diverging part

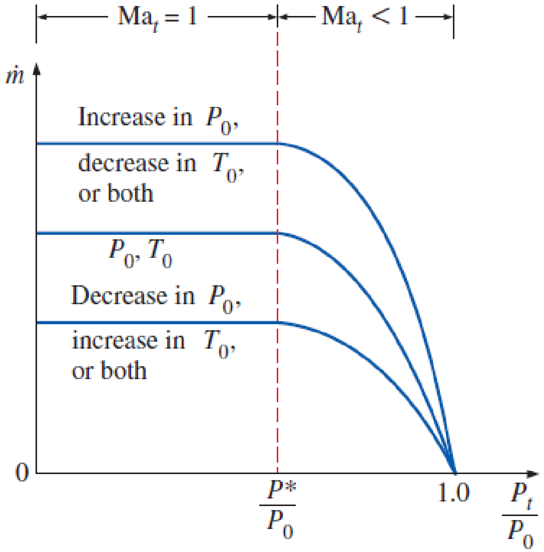
d หรือ d_0 — throat diameter

d_2 — เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของ Sonic Nozzle (Diffuser diameter)

$r = r_c$ — radius of inlet quarter circle of nozzle (ดูรูปที่ 26)

ถ้า Reynold's number; Re_d ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขก็ควรหันไปหา Sonic Nozzle รูปร่าง, รุ่น, ยี่ห้อ และ ฯลฯ ต่างออกไปจนสามารถสร้าง Re_d ได้สูงมากพอตรงคอคอด ทั้งนี้เราสามารถตรวจสอบการทำงานของ Sonic Nozzle หากสงสัยว่ายังคงทำงานอยู่ในสภาวะ Choked หรือไม่ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันด้านทางออก Sonic Nozzle หากอัตราการไหลมวลก๊าซไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าเกิดสภาวะ Choked สามารถใช้งาน Sonic Nozzle ได้ หากอัตราการไหลมวลก๊าซเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นก็ต้องปรับจนกระทั่งอัตราการไหลมวลก๊าซคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง หรือทดสอบใด ๆที่ผู้ผลิตกำหนด

ดังนั้นด้วยระบบการทำงานที่เรียบง่ายที่สุดของ Sonic Nozzle เช่นนี้เอง การควบคุมการทำงานจึงเพียงใช้ตัวควบคุมความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle พร้อมกับติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันดี ๆ ด้านทางเข้า Sonic Nozzle (ดูรูปที่ 43 และรูปที่ 44) เราก็สามารถควบคุมอัตราการไหลก๊าซผ่าน Sonic Nozzle ให้คงที่ หรือเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้แล้ว เช่น หากเพิ่มความดันขึ้น 2 เท่าจากความดันเดิมจะทำให้อัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเช่นกัน (โดยหลักการ) แต่ในทางปฏิบัติการต้องมีการปรับแต่งบ้างซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความเป็น Compressible Fluid ของก๊าซ เป็นต้น ท้ายสุดเป็นระบบที่ให้ผลการวัดให้ผลผิดน้อยในระดับที่น่าพอใจและเพียงพอ ($MPE_{std.} \leq 1/3\ MPE_{DGM}$) ต่อความต้องการในงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมาย (legal Metrology) จนสามารถนำมาเป็นแบบมาตราได้



รูปที่ 33 กราฟแสดงผลการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลมวลก๊าซผ่าน Sonic Nozzle ด้วยการปรับเปลี่ยนความดันทางเข้าภายใต้เงื่อนไขยังคงอยู่ใต้สภาวะวิกฤต (P^*/P_0)

ข้อควรระวัง

จากรูปที่ 33 เมื่อก๊าซไหลผ่าน Sonic Nozzle และมีสัดส่วนความดันทางออกต่อความดันทางเข้า Sonic Nozzle เกิดสถานะ **“choked”** หรือ **“sonic” state** ของ Sonic Nozzle ที่สถานะดังกล่าวอาจจะเรียกว่า **“Sonic Limit”** หรือ **“Choked Flow Limit”** นั้นคือไม่สามารถเพิ่มอัตราการไหลมวลก๊าซโดยลดความดันด้านทางออก Sonic Nozzle เพื่อสร้างความต่างระหว่างความดันทางเข้าให้มากขึ้นเพื่อสามารถเพิ่มอัตราการไหลมวลก๊าซ แต่การเพิ่มอัตราการไหลมวลก๊าซสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle เท่านั้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลมวลก๊าซจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle เมื่อยังคงรักษาสภาวะเกิด “choked” หรือ “sonic” state ของ Sonic Nozzle เช่น

เพิ่มความดันขึ้น 1 เท่าจะทำให้อัตราการไหลมวลเพิ่มขึ้น 1เท่า ทั้ง ๆที่โดยปกติการไหลในระบบท่อที่มีความเร็วของของไหลต่ำกว่าความเร็วเสียง (Subsonic Flow) โดยทั่วไปเราจะพบว่าอัตราการไหลของไหลจะเป็นสัดส่วนกับรากฐานที่ 2 ของอัตราส่วนระหว่างผลต่างความดันด้านทางเข้าเทียบกับความดันด้านทางเข้าหลังเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับผลต่างความดันด้านทางเข้าเทียบกับความดันด้านทางเข้าก่อนเปลี่ยนแปลงความดัน นั้นแสดงว่าเราสามารถเพิ่มอัตราการไหลมวลก๊าซได้มากกว่าเมื่อความเร็วการไหลสูงเท่ากับความเร็วเสียง

ตัวอย่างเช่นการไหลผ่าน Nozzle มีความดันด้านทางเข้า 50 psia และความดันด้านทางออก 40 psia ด้วยความเร็วการไหลต่ำกว่าเสียง (Subsonic; M<1) เมื่อเพิ่มความดันทางเข้าให้สูงเป็น 70 psia โดยรักษาความดันด้านทางออกให้คงที่ที่ 40 psia เพื่อเพิ่มผลต่างความดันเพิ่มขึ้น 3 เท่า (ΔP_1 = 50-40 = 10 psia, ΔP_2 = 70-40 = 30 psia ดังนั้น $\Delta P_2/\Delta P_1$ =3) ดังนั้นอัตราการไหลเพิ่มขึ้น $3^{1/2}$ = 1.73 เท่าเอง แต่หากเกิดการไหลเกิดสถานะ “choked” หรือ “sonic” state สมมุติให้เกิดขึ้นเมื่อสัดส่วนความดันทางเข้าต่อความดันด้านทางออกเท่ากับ 2 เท่าส่งผลให้ความเร็วไหลผ่านคอคอดเล็กสุดของ Nozzle จะมีค่าเท่ากับความเร็วเสียง (Sonic; M = 1) และไม่สามารถเพิ่มความเร็วสูงกว่าความเร็วนี้ได้อีกแล้ว ซึ่งนั้นคือความดันด้านทางเข้า 80 psia โดยรักษาความดันด้านทางออกให้คงที่ที่ 40 psia (80/40 = 2 เท่า) จากรูปที่ 33 หากเราเพิ่มความดันทางเข้าเป็น 160 psia จะทำให้ก๊าซเพิ่มความหนาแน่นสูงขึ้นเป็น 2 เท่าโดยประมาณ เมื่อก๊าซไหลผ่าน Nozzle ที่ความเร็วเสียงคงที่ (Sonic; M = 1) นั้นคือยังคงอยู่ในสภาวะวิกฤต แต่ด้วยความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลมวลเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถึงแม้จะพยายามลดความดันด้านทางออกให้ลดลงก็ไม่เพิ่มอัตราการไหลมวลก๊าซแต่อย่างใดแต่จะยิ่งไปเพิ่มการสูญเสียที่เรียกว่า “Sonic front losses” ซึ่งต่างกับการไหลก๊าซขณะที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียง (Subsonic) หากในกรณีนี้ก็จะเพิ่มอัตราการไหลเพียง $3^{1/2}$ = 1.73 เท่าเอง (ΔP_1 = 80-40 = 40 psia, ΔP_2 = 160-40 = 120 psia ดังนั้น $\Delta P_2/\Delta P_1$ =3) ดังนั้น**การไหล**

ผ่าน Sonic Nozzle เมื่อเกิดสถานะ "choked" หรือ "sonic" state จะเป็นการจำกัดความเร็วการไหลไม่เกินความเร็วเสียงแต่ไม่ได้จำกัดการไหลมวลก๊าซ

จากรูปที่ 33 สังเกตว่าการปรับเปลี่ยนเปลี่ยนอัตราการไหลไหลมวลก๊าซผ่าน Sonic Nozzle หลังจาก Choked Flow แล้วทำการปรับความดัน และ/หรือ อุณหภูมิของก๊าซ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อความหนาแน่นของก๊าซนั้นเอง

พูดถึงการเกิดสถานะ “choked” หรือ “sonic” state ของ Sonic Nozzle เลยย้อนไปนึกถึงเรื่อง Flow Control Valve ซึ่งเราต้องออกแบบไม่ให้เกิด “choked” บริเวณระหว่างลิ้นวาล์กับบ่าวาล์วเพราะถ้าเกิด “choked” แล้ว จะไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้นั้นคือ Flow Control Valve ไม่สามารถทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบให้ทำหน้าที่เนื่องจากจะเกิดอัตราการไหลคงที่ผ่านลิ้น Flow Control Valve ถึงตอนนั้นก็โยน Flow Control Valve ทิ้งไปครับเพราะใช้งานไม่ได้แล้วต้องเลือก Flow Control Valve ใหม่ แต่ตรงข้ามกับ Sonic Nozzle ซึ่งเราต้องการออกแบบและควบคุมการทำงานให้เกิด “choked” หรือ “sonic” state บริเวณคอคอด ทุกอย่างมีโทษและมีคุณ แต่ไม่ใช่มีแต่ตัว(กู)น่ะ......

ด้วยเหตุนี้ขณะใช้งานจึงต้องรักษาสภาวะ Critical flow ของ Sonic Nozzle ตลอดเวลาโดยต้องรักษาให้อัตราส่วนความดันด้านทางออกเทียบกับความดันด้านทางเข้า**น้อยกว่า**อัตราส่วนความดันที่ยอมรับได้สูงสุด $(P_2/P_0)_{max}$ ตลอดเวลา โดยเลือกได้ 2 โหมดการทำงาน (ตามที่อ่านเจอ)

(1) **โหมดสุญญากาศ** โดยติดตั้ง Vacuum Pump ด้านทางออกของ Sonic Nozzle เพื่อลดความดันด้านทางออก (P_2) ในการปรับอัตราส่วนความดัน P_2/P_0 เป็นโหมดการทำงานที่ PTB Testing Instruction Volume 25 แนะนำ (ดูรูปที่ 41)

(2) **โหมดความดัน** โดยติดตั้ง Pump ด้านทางเข้า Sonic Nozzle เพื่อสร้างความดันด้านทางเข้า (P_0) ในการปรับอัตราส่วนความดัน P_2/P_0 (ดูรูปที่ 40)

ช่วงการวัดของ Sonic Nozzle (Range of Measurement)

ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO Standard 9300 มีข้อจำกัดช่วงการใช้งาน Sonic Nozzle โดยพิจารณาจากค่า Reynold's number; $\mathbf{Re_d}$ ณ ตำแหน่งคอคอดเล็กสุด (Throat) ของ sonic Nozzle ดังนี้

$10^5 < \mathbf{Re_d} < 10^7$	สำหรับ Toroidal Throat
$3.5 \times 10^5 < \mathbf{Re_d} < 2 \times 10^7$	สำหรับ Cylindrical Throat

แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้ Sonic Nozzle ได้นอกเหนือจากช่วงค่า Reynold's number ที่กำหนดไว้ดังข้างต้น เช่นในการใช้กับงานที่มีค่า $Re_d = 10^5$ ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการไหล Q_V ประมาณ 33 m^3/h สำหรับสภาวะภายใต้ความดันบรรยากาศ โดย Sonic Nozzle ที่ใช้ในงานดังกล่าวตัวเล็กที่สุดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดเล็กสุดประมาณ 0.17 mm ใช้กับอัตราการไหล Q_V ประมาณ 1.5 dm^3/h ด้วย $Re_d \approx 2 \times 10^3$

PTB Testing Instruction Volume 25 แนะนำให้แยกทดสอบ Sonic Nozzle เป็นรายตัวหากใช้งานอัตราการไหลที่มีค่า $Re_d < 10^5$ หรือในกรณีที่ใช้งานที่มีความถูกต้องในการวัดสูงกว่า ± 0.5 % หรือสงสัยในรูปทรง มิติของ Sonic Nozzle

อัตราการไหลของ Sonic Nozzle

ในทางทฤษฎีมีสมการสำหรับหาอัตราการไหลก๊าซของ Sonic Nozzle ทั้งในเทอมปริมาตรและในเทอมของมวลหรือน้ำหนักคือ

ในเทอมของอัตราการไหลปริมาตรก๊าซ; Q_V

$$Q_V = A_d \cdot C^* \cdot \sqrt{R \cdot T_0} \quad (15)$$

ในเทอมของอัตราการไหลมวลก๊าซ; Q_m

$$Q_m = A_d \cdot C^* \cdot \frac{P_0}{\sqrt{R \cdot T_0}} \qquad (16)$$

โดยมี Critical Flow Function; C^*

$$C^* = \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \qquad (17)$$

เมื่อ

R	=	the universal gas constant (8.3143 kJ/kmol K)
A_d	=	พื้นที่หน้าตัดคอคอด (throat cross-sectional area)
T_0	=	อุณหภูมิสมบูรณ์ทางเข้า (absolute stagnation temperature)
P_0	=	ความดันสมบูรณ์ทางเข้า (absolute stagnation pressure)

จากสมการ (15) - สมการ (17) อยู่บนพื้นฐานของการไหลของก๊าซอุดมคติ นั้นคือการไหลที่ไม่มีแรงเสียดทาน ไม่มีการสูญเสียความร้อน (Adiabatic flow), เป็นการไหลในทิศทางเดียวตลอดเวลา (One-dimensional flow) โดยมีก๊าซที่อยู่ทางต้นน้ำที่มีสภาวะเริ่มต้นนิ่งๆ (Stagnation state) โดยมีความดันและอุณหภูมิคงที่ (P_0, T_0) นั้นคือสภาวะเริ่มต้นเสมือนก๊าซถูกอัดอยู่ภายในถังความดันดังนั้นสภาวะเริ่มต้นก๊าซจึงมีความเร็วเท่ากับศูนย์นั้นเอง แต่เมื่อต้องนำมาสมการ (15) - สมการ (17) มาใช้งานกับการไหลของก๊าซในโลกของความเป็นจริง พบว่าการไหลของก๊าซจริง ๆแล้วจะมี Boundary layer บริเวณผนัง Sonic Nozzle และเมื่อก๊าซไหลเข้าทางปากทางเข้าก็มีมีการทิ้งโค้งไปตามรูปร่างของ Sonic Nozzle นั้นทำให้การไหลก๊าซจริง ๆก็ไม่ใช่ One-dimensional flow อีกต่อไป (ดูรูปที่ 35) จึงได้มีพารามิเตอร์เพิ่มเข้ามาอีก 1 ค่าในการแก้ไขปรับปรุงสมการดังกล่าว เราเรียกว่า “Discharge Coefficients; C” ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนั้นมีที่มาจากหลายแหล่ง ทั้งมาจากการทดสอบจริงในเอกสารผลงานวิจัยต่าง ๆ หรือจากตารางของเอกสารมาตรฐานต่าง ๆ ซึ่งเราต้องเลือกใช้ด้วย

ความระมัดระวัง ทำให้สมการ (15) - สมการ (17) ถูกแก้ไขให้สามารถใช้งานกับการไหลของก๊าซในความเป็นจริงตามธรรมชาติดังสมการต่อไปนี้

ในเทอมของอัตราการไหลปริมาตรก๊าซ

$$Q_V = A_d \cdot C \cdot C^* \cdot \sqrt{R \cdot T_0} \quad (18)$$

ในเทอมของอัตราการไหลมวลก๊าซ

$$Q_m = A_d \cdot C \cdot C^* \cdot \frac{P_0}{\sqrt{R \cdot T_0}} \quad (19)$$

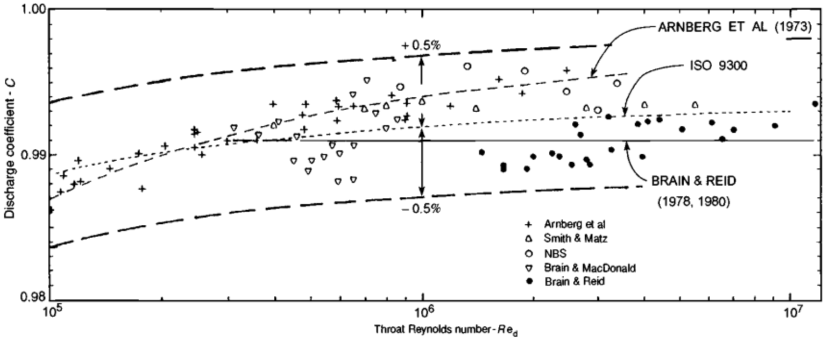


Figure 7.6. Discharge coefficient for toroidal throat venturi nozzles (after Brain and Reid 1978 with permission from NEL).

รูปที่ 34 ค่า Discharge coefficients; C จากผลงานการศึกษาวิจัยหลายผลงานรวมถึงงานของ ISO 9300

ดังนั้นหากผู้ผลิตได้จัดสร้าง Sonic Nozzle มีคุณสมบัติด้านมิติ วัสดุและความหยาบละเอียดของผิวโลหะที่ใช้ทำแล้ว และใช้งานภายในช่วง Reynold's number; $\mathbf{Re_d}$ ที่อ้างถึงตามข้างบนเราสามารถหา Discharge Coefficients; **C** เพื่อแก้ไขสมการอัตราการไหลของก๊าซในอุดมคติเพื่อให้สามารถปรับใช้กับการไหลของก๊าซจริง ๆตามธรรมชาติจากผลงานของ Smith and Matz (1962), Arnberg et al. (1973), Brain and MacDonal (1975) และ Brain and Reid (1978, 1980) นำมา

เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 34 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นข้อมูลกระจัดกระจาย จึงทำการ Fitted Curve เป็นสมการที่ 20 ดังข้างล่าง คือ

$$C = (a - b) \cdot Re_d^{-n} \tag{20}$$

ค่าสำหรับ a, b และ n ดูได้จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3

Sonic Nozzle แบบ Toroidal Throat (ISO 9300, 1995)		Sonic Nozzle แบบ Cylindrical Throat	
$10^5 < Re_d < 10^7$	a = 0.9935 b = 1.5250 n = 0.5	$3.5 \times 10^5 < Re_d < 2.6 \times 10^6$	a = 0.9887 b = n = 0
		$2.6 \times 10^6 < Re_d < 2.0 \times 10^7$	a = 1 b = 0.2165 n = 0.2

ค่าความไม่แน่นอนในการวัดสำหรับการคำนวณ Discharge coefficients ตามสมการ (20) คือ 0.5% (95% confidence level)

ตารางที่ 2 ค่า a, b และ n ใน Discharge coefficients; C (PTB)

Table 1 — Coefficients a, b and n

Toroidal-throat Venturi nozzle	
$2,1 \times 10^4 < Re_{nt} < 3,2 \times 10^7$	$a = 0,995\,9$ $b = 2,720$ $n = +0,5$
Accurately machined toroidal-throat Venturi nozzle	
$2,1 \times 10^4 < Re_{nt} < 1,4 \times 10^6$	$a = 0,998\,5$ $b = 3,412$ $n = +0,5$
Cylindrical-throat Venturi nozzle	
$3,5 \times 10^5 < Re_{nt} < 1,1 \times 10^7$	$a = 0,997\,6$ $b = 0,138\,8$ $n = +0,2$

ตารางที่ 3 ค่าค่า a, b และ n ใน Discharge coefficients; C (ISO 9300)

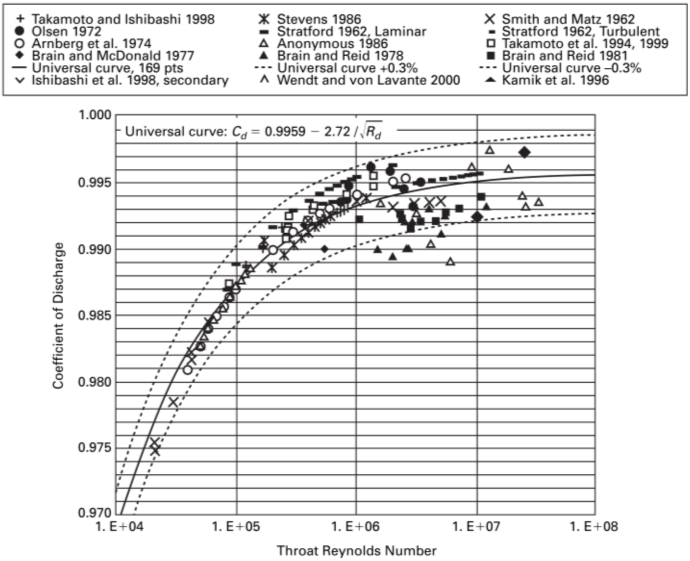
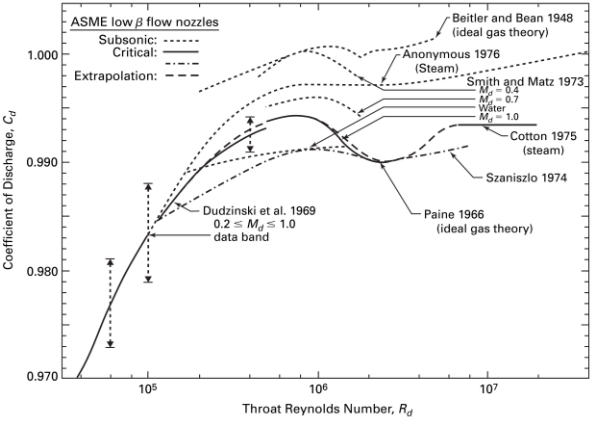


Fig. 8-7-1 Composite Results for Toroidal-Throat Venturi Nozzles



GENERAL NOTE: Reprinted with permission from Research on Flow Nozzles, Engineering Experiment Station Bulletin 131, Ohio State University, Columbus, Ohio.

Fig. 8-7-3 Composite Graph of Discharge Coefficients for the ASME Low-β Throat-Tap Flow Nozzles [11]

รูปที่ 35 รวบรวมผลงานศึกษาวิจัยหาค่า Discharge coefficients; **C** (ASME PTC 19.5-2004)

ในการคำนวณอัตราการไหลปริมาตร หรืออัตราการไหลมวลของก๊าซจริงตามธรรมชาตินั้น เราพบว่ามีความยากง่ายและซับซ้อนมากกว่านี้ซึ่งในที่นี่ยังไม่ต้องการลงในรายละเอียดมากน่ะแต่ในเอกสาร PTB Testing Instruction Volume 25 ที่เราใช้เป็นแกนหลักในการทำโครงการนั้นน่าจะเพียงพอที่จะเดินต่อไปได้ การจัดอบรมบุคคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจก็ต้องเป็นขั้นตอนต่อไปและเป็นขั้นตอนที่ละเลยไม่ได้เพราะคาดหวังให้งานนี้เป็นก้าวแรกที่พัฒนาบุคคลากรไปยังการไหลของก๊าซที่มีอัตราการไหลสูง ความดันสูง และ/หรืออุณหภูมิสูง ต่อไปในอนาคตเพื่อความก้าวหน้าของงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายของราชอาณาจักรไทยต่อไป

ปัจจัยต่าง ๆที่มีผลต่อการทำงานของ Sonic Nozzles

จากผลงานศึกษาวิจัยที่ได้เผยแพร่เอกสารออกมานั้นซึ่งเป็นผลงานจากทางซีกตะวันตกเสียเป็นส่วนใหญ่ เราพบผลงานการศึกษาวิจัยและทดลองจริงดังกล่าวนั้นให้ผลลัพธ์ออกมาในบางแง่มุมที่เราต้องคำนึงและรับรู้เพื่อประกอบการทำงานและใช้งาน Sonic Nozzle เป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (DGM) ตัวอย่างเช่น

- ค่า Critical Pressure (P_2/P_0) ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น Reynold number บริเวณคอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle, มุมด้านทางออกของ Sonic Nozzle (divergence angel), ชนิดของก๊าซหรือความหนาแน่นของก๊าซ เป็นต้น
- ความชื้นของก๊าซที่ทำการวัดปริมาตรก็มีผลต่อ Discharge coefficient; C ของ Sonic Nozzle หากความชื้นในก๊าซเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ Discharge coefficient ของ Sonic Nozzle ลดลง
- Discharge Coefficient; C ของ Sonic Nozzle มีผลกระทบและสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Reynold number ในระบบท่อที่ติดตั้ง Sonic Nozzle
- ก๊าซชนิดเดียวกันหากไหลด้วยความเร็วที่ก่อให้มีค่า Reynolds Number สูงขึ้นจะช่วยลดค่าความไม่แน่นอนผลการวัด (Uncertainty) ลง ในประเด็นนี้เท่าที่

ทำงานในด้านนี้มาแทบจะบอกได้เลยครับว่ามาตรวัดปริมาตรของไหลแทบทุกชนิดได้รับผลกระทบจากค่า Reynolds Number ของของไหลในระบบท่อแทบทั้งนั้น

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดเล็กสุด (Throat diameter) ใน Sonic Nozzle มีผลต่อการทำงานโดยพบว่าเมื่อขนาด Throat diameter เพิ่มสูงขึ้นจะช่วยลดค่าความไม่แน่นอนผลการวัด (Uncertainty) ลงเพราะมีปรากฏการณ์จากทางด้าน Thermodynamic, Boundary Layer flow, Centrifugal Force เป็นต้น

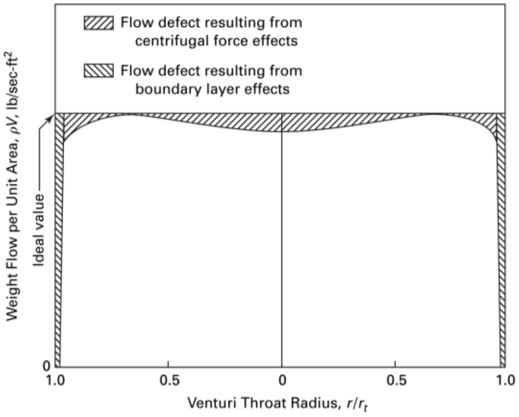


Fig. 8-3-1 Schematic Representation of Flow Defects at Venturi Throat (Smith and Matz 1962)

รูปที่ 36 กราฟแสดงผลการกระทบเมื่อรูปแบบการไหลไม่สมบูรณ์บริเวณคอคอดเล็กสุดของ Sonic Nozzle จาก Boundary layer effects และ Centrifugal force effects

- ความยาวด้านทางออก Sonic Nozzle และมุมทางออกของ Sonic Nozzle (divergence angel) มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของ Sonic Nozzle
- ความดันย้อนกลับด้านทางออก Sonic Nozzle ก็ต้องคำนึงว่าควรมีค่าในระดับใดจึงให้ผลการวัดที่ดี
- การเกิด Normal Shock ภายใน Sonic Nozzle หลังจากเกิด Choked Flow ซึ่งจะส่งให้ผลการวัดอัตราการไหลมวลผิดพลาดไป (ดูรูปที่ 21)

สภาวะอ้างอิงของ Sonic Nozzle (Sonic Nozzle Reference)

Sonic Nozzle Reference เป็นสภาวะอ้างอิงซึ่งกำหนดให้ **Nozzle inlet pressure 1,000 mbar (1 bar), Nozzle inlet temperature 20 °C, Relative humidity of the test air 50 %, Maximum Permissible Error ของแบบมาตรามาตรวัดก๊าซที่มีสถานะไอต้องมีค่าไม่เกิน ±0.5%,** แบบมาตรามาตรวัดก๊าซที่มีสถานะไอต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานสถาบันมาตรวิทยาประจำชาติของผู้ผลิตหรือเจ้าของผลิตภัณฑ์, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) หรือเทียบเท่า

การกำหนดอัตราการไหลตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เทียบกับแบบมาตรา Sonic Nozzle

Sonic Nozzle แต่ละขนาดก็สามารถรองรับช่วงอัตราการไหลได้ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบ ดังนั้นเราก็หาข้อมูลหรือทำใจลอย ๆไปเพราะเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แล้วมันเกี่ยวข้องอะไรกับเราละเกี่ยวซิครับเพราะถ้ากลับไปดู DGM กลุ่มเป้าหมายของเราตามตารางที่ 1 พบว่าจะครอบคลุมอัตราการไหลตั้งแต่ 0.016 – 40 m^3/h ซึ่งเป็นช่วงอัตราการไหลกว้างมาก ดังนั้นเราตีกรอบลงมาโดยกำหนดอัตราการไหลตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ตามแนวทางของ OIML R31 และสอดคล้องกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดในรูปที่ 9 ซึ่งแบ่งช่วงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดออกเป็น 2 ช่วงคือ คือ Q_{min} - 0.1 x Q_{max} และ 0.1 x Q_{max} - Q_{max} และจากประสบการณ์ของชั่งตวงวัด และ/หรือ ข้อมูลรอบด้านเท่าที่หาได้โดยกำหนดอัตราการไหลทดสอบสอบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมีค่าภายในช่วงขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุดถึงอัตราการไหลสูงสุดของมาตรวัดฯ นั้น ๆ ดังในตารางที่ 4

ดังนั้น DGM แต่ละขนาดจะต้องถูกทดสอบที่อัตราการไหลทดสอบจำนวน 4 ค่า เมื่อพิจารณา DGM กลุ่มเป้าหมายของเราตามตารางที่ 1 เมื่อเราจัดทำรายการอัตราการไหลทดสอบออกมา อาจมีอัตราการไหลทดสอบที่ใกล้เคียงกันเมื่อ DGM ที่มีขนาดแตกต่างกันดังนั้นเพื่อความสะดวกเราก็ยุบรวมอัตราการไหลทดสอบที่มีความแตกต่างๆ และหลายค่าให้เหลือจำนวนค่าอัตราการไหลทดสอบให้มีน้อยค่ามากที่สุด

จากนั้นทำเป็นตารางอัตราการไหลทดสอบเพื่อดูว่าจะต้องมีอัตราการไหลทดสอบมีกี่ค่า ดังในตารางที่ 5 เราจึงพบว่าเราไม่สามารถใช้ Sonic Nozzle เพียง 1 ตัวเป็นแบบมาตราเพื่อใช้ตรวจสอบ DGM ได้ครบทุกขนาด ตอนนี้ก็เป็นศิลปะศาสตร์ละครับตอนจัดกลุ่มอัตราการไหลการเลือกขนาด Sonic Nozzle แต่ละขนาด จำนวนรวมกันกี่ตัว มีได้มีเสีย มีได้ดังใจและไม่ได้ดังใจก็ยืดหยุ่นกันไป...555 คำถามก็อาจเกิดขึ้นในใจหลายคนว่าถ้าอย่างนั้นต้องมีแท่นตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เป็น 10 – 20 แท่นต้องติดตั้ง-ถอดออก DGM จากแท่นทดสอบนั้นไปยังแท่นทดสอบโน้น ทั้งเหนื่อยทั้งวุ่นวาย ข้าราชการอย่างเราจับปะแจปากตาย มือเปื้อนจารบีได้อย่างไรเห็นแล้ว....เลิกๆ ๆ กลับบ้าน ถ้าคิดเป็นอย่างนั้นก็.........ครับ ตามมาอ่านต่อในเนื้อหาต่อไป

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด แบ่งตามช่วงอัตราการไหล	อัตราการไหลตรวจสอบให้คำรับรอง
$Q_{min} \leq Q < 0.1 \times Q_{max}$	- Q_{min} - $3 \times Q_{min}$
$0.1 \times Q_{max} \leq Q < Q_{max}$	- $0.2 \times Q_{max}$ - Q_{max}

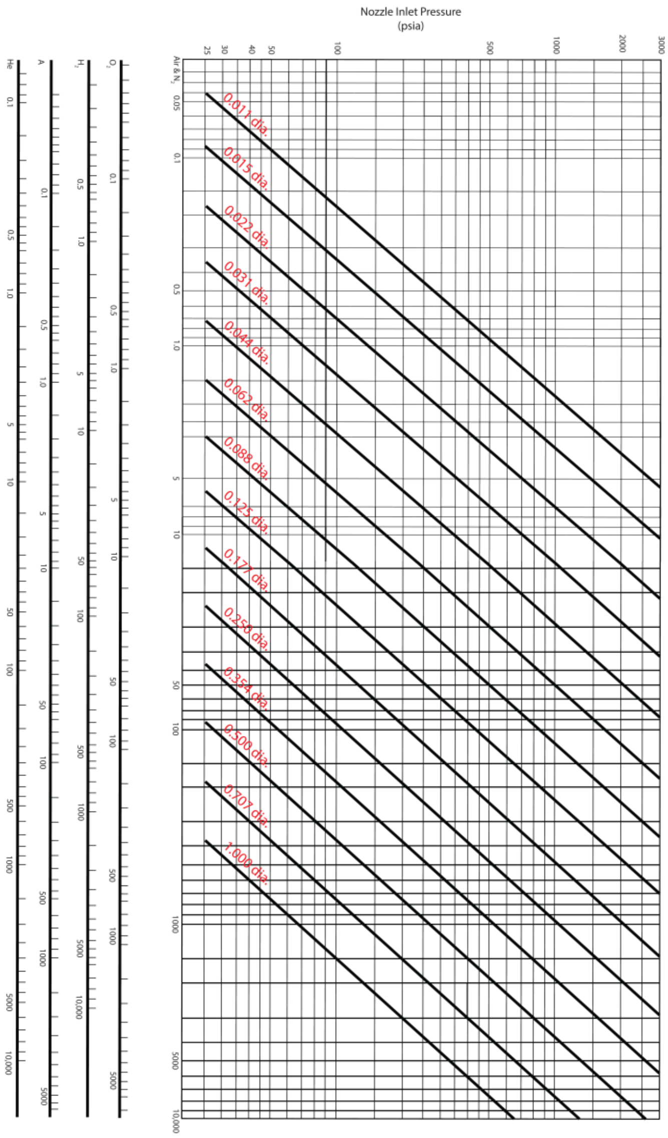
ตารางที่ 4 เลือกอัตราการไหลทดสอบ DGM ในแต่ช่วงอัตราการไหล

DGM	Q_{min} (m^3/h)	$3Q_{min}$	$0.2Q_{max}$	$0.4Q_{max}$	$0.7Q_{max}$	Q_{max} (m^3/h)
G0.6	0.016	0.05	0.20	0.40	0.70	1
G1.0	0.016	0.05	0.32	0.64	1.12	1.6
G1.6	0.016	0.05	0.50	1.00	1.75	2.5
G2.5	0.025	0.08	0.80	1.60	2.8	4
G4.0	0.04	0.12	1.20	2.40	4.20	6
G6.0	0.06	0.18	2	4.00	7.00	10
G10	0.1	0.30	3.20	6.40	11.20	16
G16	0.16	0.48	5.00	10.00	17.50	25
G25	0.25	0.75	8.00	16.00	28.00	40

ตารางที่ 5 สรุปอัตราการไหลสำหรับตรวจสอบให้คำรับรองกลุ่มเป้าหมาย DGM

Designed Flow Rate for Each Nozzle							
Throat Diameter (mm)	1 bar Nℓ /h	2 bar Nℓ /h	3 bar Nℓ /h	4 bar Nℓ /h	5 bar Nℓ /h	6 bar Nℓ /h	6.5 bar Nℓ /h
0.1	6	12	18	24	30	36	39
0.14	12	24	36	48	60	72	78
0.2	24	48	71	96	120	144	158
0.28	48	96	144	192	240	288	316
0.4	96	192	288	384	480	576	624
0.56	192	384	576	768	960	1152	1248
0.8	384	768	1152	1536	1920	2304	2496
1.12	768	1536	2304	3072	3840	4608	4992
1.6	1536	3072	4608	6144	7680	9216	9984
2.24	3072	6144	9216	12288	15360	18432	19968
3.2	6144	12288	18432	24576	30720	36864	39936
4.48	12288	24576	36864	49152	61440	73728	79872

รูปที่ 37 ตัวอย่างผู้ผลิต Sonic Nozzle กำหนดความสัมพันธ์ขนาด, ความดันทางเข้า และอัตราการไหล



รูปที่ 38 ตัวอย่างการเลือกขนาด Sonic Nozzle จากความสัมพันธ์ขนาด, ความดันทางเข้า และอัตราการไหล

Gegenstand: *Object:*	Kritisch betriebene Venturidüse *Critical venturi nozzle*
Hersteller: *Manufacturer:*	-
Typ: *Type:*	640 l/h
Kennnummer: *Serial No.:*	Ø 1,079-452-0,64m3/h
Prüfmittel: *Test medium:*	Atmosphärische Luft *Atmospheric air*

Messraumbedingungen

Measurement room conditions

Barometerdruck: *Barometric pressure:*	1002,1 mbar ± 0,1 mbar
Raumtemperatur: *Room temperature:*	22,2 °C ± 0,1 °C
Taupunkttemperatur: *Dew point:*	12,8 °C ± 0,1 °C

Prüfergebnisse: *Results:*	**Düsenkennzahl:** *Nozzle characteristic:*	$Q_{V,20,tr,1000}$ **= 621,19 l/h**
	Messunsicherheit: *Uncertainty of measurement:*	U_{rel} **= 0,15 %**
	Korrekturfaktor für Eingangsdruckabhängigkeit: *Correction factor:*	$c_{pE} = 2,2 \cdot 10^{-5}\ \text{mbar}^{-1}$

Angegeben ist die erweiterte relative Messunsicherheit U_{rel}, die sich aus der relativen Standardmessunsicherheit u_{rel} durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (ISO, 1995) ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt im Regelfall mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 95 % im zugeordneten Werteintervall.

Alle angegebenen Werte einschließlich Messunsicherheit gelten bei Einhaltung des kritischen Druckverhältnisses und sind auf eine Eingangstemperatur von 20 °C, eine relative Feuchte von 0 % und einen Eingangsdruck von 1000 mbar bezogen.

Die zugehörigen Gleichungen zur Berechnung des Volumen- bzw. Massestromes befinden sich auf Seite 3 dieses Prüfscheines.

The uncertainty stated is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k = 2. It has been determined in accordance with the „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (ISO, 1995). The value of the measurand lies within the assigned range of values with a probability of 95%.

All values specified including the uncertainty of measurement are applicable as long as the pressure ratio is critical and are converted to an input temperature of 20 °C, a relative air humidity of 0 % and a reference pressure of 1000 mbar.

The describing equations for the calculation of the volume- resp. mass-flowrate are to be found on the third page of this calibration certificate.

รูปที่ 39 ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ Sonic Nozzle ที่ค่าอ้างอิง $Q_{V,20,tr,1000}$

Die zugehörigen Gleichungen für die Berechnung des durch die Düse bei ihrer Anwendung am Einbauort des Prüflings erzeugten Durchflusses lauten:
For the theoretical value of the flow rate of the nozzle, converted to the thermodynamic state on the test unit, the following equation applies:

- Für den Volumendurchfluss $Q_{V,P}$
  for volume flow rate

$$\frac{Q_{V,P}}{m^3/h} = \frac{\frac{\rho_D}{kg/m^3}}{\frac{\rho_P}{kg/m^3}} \cdot (1+0{,}169 \cdot x_v) \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{T_D}{°C}+273{,}15\right)}{293{,}15}} \cdot \left[1+\frac{c_{pE}}{1/mbar} \cdot \left(\frac{p_D}{mbar}-1000\right)\right] \cdot \frac{Q_{V,20,\,tr,1000}}{m^3/h}$$

- Für den Massedurchfluss $Q_{m,P}$
  for mass flow rate

$$\frac{Q_{m,P}}{kg/h} = \frac{\rho_D}{kg/m^3} \cdot (1+0{,}169 \cdot x_v) \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{T_D}{°C}+273{,}15\right)}{293{,}15}} \cdot \left[1+\frac{c_{pE}}{1/mbar} \cdot \left(\frac{p_D}{mbar}-1000\right)\right] \cdot \frac{Q_{V,20,\,tr,1000}}{m^3/h}$$

mit *with*		
	p_D	absoluter Düseneingangsdruck *absolute nozzle inlet pressure*
	T_D	Düseneingangstemperatur *nozzle inlet temperature*
	x_v	molarer Anteil des Wasserdampfes in feuchter Luft *molar fraction of water vapour in humid air*
	ρ_D bzw. ρ_P	Dichte der Prüfluft an der Düse bzw. am Prüfling *density of humid air at meter or nozzle*

Prüfluftdichte und molarer Wasserdampfanteil sind gemäß der BIPM-Empfehlung für die Bestimmung der Dichte von feuchter Luft (*Giacomo, P.:* Formel für die Bestimmung der Dichte von feuchter Luft. In: PTB-Mitteilungen **89**, 4/79, S. 271 ff.) zu bestimmen.
*The density of air and molar fraction of water vapour are to be determined in compliance with the BIPM- recomendation for the determination of the density of humid air (Giacomo, P.: Formel für die Bestimmung der Dichte von feuchter Luft. PTB-Mitteilungen **89**, 4/79, S. 271 ff.)*

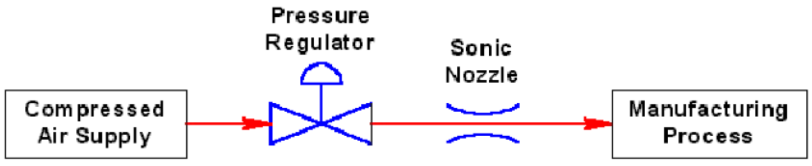
Eine Rekalibrierung wird entsprechend PTB-Prüfregel Band 25: „Messgeräte für Gas – Prüfstände mit kritisch betriebenen Düsen“ bis Ende Juli 2021 empfohlen.
A recalibration is recommended to be done before end of July 2021 according PTB testing instructions Vol. 25: "Gas meters – Test rigs with critical nozzles".

รูปที่ 39 (-ต่อ-) ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ Sonic Nozzle ที่ค่าอ้างอิง $Q_{V,20,tr,1000}$

รูปแบบการติดตั้งแบบมาตรา Sonic Nozzle
(Typical Sonic Nozzle Installation Configurations)

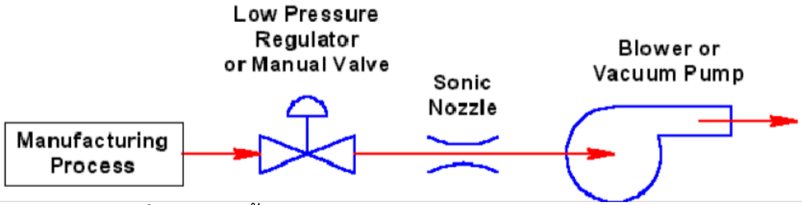
เราจึงต้องมาดูการจัดวางระบบและการติดตั้งตลอดการจัดทำแท่นทดสอบ DGM ว่าจะมีกี่แบบในสังคมโลกที่เค้ามีอยู่ แต่ยอมรับน่ะครับว่าเราสอบถามไปทุกเจ้าในโลกใบนี้ไม่ได้ เอาเป็นว่างานนี้เป็นงาน Specialists ล้วนๆครับ รูปแบบการจัดวางและทำงานเพื่อใช้งาน Sonic Nozzle จะมี 3 แบบหลักคือ

1. **Pressurized System : ระบบความดัน** เป็นระบบที่พบเห็นได้ในการใช้งาน Sonic Nozzle จริงในการวัดอัตราการไหลและพบเห็นได้บ่อยในภาคอุตสาหกรรม โดยจะมีปั๊มอัดก๊าซอยู่ด้าน Upstream ของ Sonic Nozzle โดยใช้ตัวควบคุมความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle ส่วนด้านทางออกของ Sonic Nozzle อาจมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าก็แล้วแต่การใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามต้องรักษาสัดส่วนอัตราส่วนความดันระหว่างความดันทางเข้า (P_0) ต่อความดันทางออก (P_2) ตัว Sonic Nozzle มีค่า $P_0/P_2 \geq 1.2$ (ตัวเลขค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ Sonic Nozzle ที่เลือกใช้) ซึ่งในทางปฏิบัติอาจใช้ $P_0/P_2 \geq 1.4$ การติดตั้งระบบทำงานแบบนี้เมื่อเกิดการไหลเป็นจังหวะช่วง ๆ หรือการไหลไม่สม่ำเสมอ (flow pulsations or fluctuations) เกิดขึ้นทางด้าน Downstream ของ Sonic Nozzle ปัจจัยดังกล่าวก็ไม่ส่งผลกระทบผ่านคอคอดตัว Sonic Nozzle ไปกระทบต่อค่าความดันด้านทางเข้า P_0 แต่อย่างใด เพราะไม่สามารถทะลุด่านกำแพงเสียง (M=1.0) ดังนั้นช่วงอัตราการไหลของก๊าซที่ Sonic Nozzle สามารถทำงานได้จึงขึ้นอยู่กับความดันสูงสุดของระบบปั๊มที่อยู่ด้าน Upstream ของ Sonic Nozzle เป็นปัจจัยสำคัญนอกเหนือจากขนาดของ Sonic Nozzle



รูปที่ 40 ติดตั้ง Sonic Nozzle ในระบบ Pressurized System

2. **Vacuum System : ระบบสุญญากาศ** จะเห็นการใช้งาน Sonic Nozzle **ในการวัดอัตราการไหลในกรณีที่ระบบนั้น ๆ มีความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ** ก็สามารถติดตั้งปั๊มดูดหรือ Blower ทางด้าน Downstream ของตัว Sonic Nozzle โดยใช้ตัวควบคุมความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle เช่นเดิม (ดูรูปที่ 41 และรูปที่ 42) ข้อดีของระบบสุญญากาศคือ**สามารถรักษาการไหลของอากาศผ่าน Sonic Nozzle ได้คงที่มีเสถียรภาพสูงดีมาก** แต่ทำให้มีช่วงอัตราการไหลใช้งานถูกจำกัดทั้งนี้เพราะความดันด้านทางเข้า Sonic Nozzle ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้หรือปรับได้แต่เป็นระบบที่ให้ช่วงการปรับไม่กว้างมากนักนั้นเอง

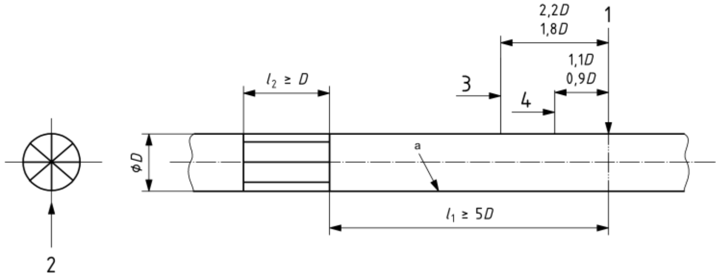


รูปที่ 41 ติดตั้ง Sonic Nozzle ในระบบ Vacuum System

3. **Multiple Nozzle System : ระบบชุด Sonic Nozzle** บางทีก็อาจเจอเรียกว่า **Bank of Sonic Nozzle Flowmeters** (ดูรูปที่ 43 รูปที่ 44 และรูปที่ 45) เพื่อเพิ่มช่วงอัตราการไหลวัดได้ของระบบ จึงทำการออกแบบติดตั้ง Sonic Nozzle ในรูปแบบเรียงตัวขนานกันโดยมีท่อร่วมก่อนทางเข้าและท่อร่วมด้านทางออก แต่ยังคงรักษาการทำงานของ Sonic Nozzle แต่ละตัวแยกอิสระต่อกัน ส่งผลให้สามารถเลือกให้ Sonic Nozzle ทำงานพร้อมกันทุกตัวหรือเลือกจับคู่ จับกลุ่มให้ทำงาน หรือแม้แต่กำหนดเลือก Sonic Nozzle ตัวใดตัวหนึ่งให้ทำงานเพียงตัวเดียวก็ได้ตราบเท่าที่ยังคงรักษา **“choked” หรือ “sonic” state** ของ Sonic Nozzle นั้น ๆ ซึ่งก็ต้องระมัดระวังเพราะอัตราส่วนความดันระหว่างความดันทางเข้าต่อความดันทางออกตัว Sonic Nozzle แต่ละตัวถึงจะมีค่า $P_0/P_2 \geq 1.4$ แต่ค่า P_2 ก็ไม่เท่ากันถึงแม้ P_0 จะเท่ากันเพราะเป็นความดันร่วมกันตรงท่อร่วมก่อนทางเข้าชุด Sonic Nozzles ดังนั้นระบบการติดตั้งแบบนี้จึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการทำงาน เช่น

PLC สำหรับการประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty) รวมทั้งผลผิดในแต่ละอัตราการไหลในภาพรวมของระบบชุด Sonic Nozzle หรือ Bank of Sonic Nozzle Flowmeters (ดูรูปที่ 45) ต้องประเมินจากการทำงานร่วมกันของ Sonic Nozzles ทั้งหมดนอกเหนือจากการประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัดหรือผลผิดของ Sonic Nozzle แต่ละตัว เรื่องนี้ก็ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน

สรุป ด้วยข้อดีของ**ระบบสุญญากาศ**ในเทอมของความสามารถรักษาการไหลของอากาศผ่าน Sonic Nozzle ได้คงที่มีเสถียรภาพดีมาก ทำให้ PTB Testing Instruction Volume 25 แนะนำให้ใช้ระบบนี้ในการทำแท่นทดสอบ DGM ด้วย Sonic Nozzle และเราก็เชื่อฟังครับ โดยเลือก **Sonic Nozzle แบบ Toroidal Throat** ในขณะเดียวกันเราต้องตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ซึ่งต้องทำทดสอบที่หลายอัตราการไหลและช่วงอัตราการไหลกว้างมากจึงเลือกระบบชุด Sonic Nozzle ซึ่งทำงานรวมร่วมกันและผสมผสานกันเป็น **"ระบบชุด Sonic Nozzle ที่เป็นระบบดูดด้วย Blower"** ดังในรูปที่ 17 และรูปที่ 44 ทั้งนี้ก็ต้องหาทางพิสูจน์หรือหาสมรรถนะของระบบชุด Sonic Nozzle ว่ามีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดและค่าความไม่แน่นอนระดับความมั่นใจ 95% ว่าเพียงพอต่อความเป็นแบบมาตรา (MPE = Error + Uncertainty) จากนั้นพิจารณาตารางที่ 5 ก็ต้องจำใจแยกทางกันระหว่างอัตราการไหลที่กว้างเกินไป ประกอบกับพิจารณาด้านมิติและน้ำหนักของตัว DGM ซึ่งจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เสริมต่อเนื่องเพื่อรองรับการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น แท่นวางระบบไฮดรอริก การยกเข้าออก ระบบ Blower ที่ต้องมีขนาดและมีประสิทธิภาพ เรื่องของเสียงดัง ระยะท่อทางเข้าและทางออก DGM และ ฯลฯ ที่สำคัญคือมีผู้ผลิตให้เราได้หรือไม่เพราะเป็นงาน Specialists ถ้าไม่มีคำสั่งซื้อบริษัทผู้ขายก็ไม่ผลิตและหากผลิตแล้วก็ไม่เหมือนกันในแต่และคำสั่งซื้อเพราะความต้องการที่เป็นทางเลือกของผู้ใช้หรือที่เรียกว่า Option มันก็แตกต่างกันอีกในแต่ละคำสั่งซื้อ เรื่องเยอะใช่มั๊ยครับ... เลยจัดให้มีชุดจัดวาง DGM เพื่อรองรับการทดสอบ (Test Bench) รองรับการตรวจสอบและตรวจสอบให้คำรับรอง DGM จำนวน 2 ชุด



Key

1 inlet plane

2 etoile straightener with vane thickness adequate to prevent buckling

3 location of temperature sensor

4 location of pressure tapping

a In this region the surface roughness shall not exceed $10^{-4}D$.

Figure 4 — Installation requirements for upstream pipework configuration

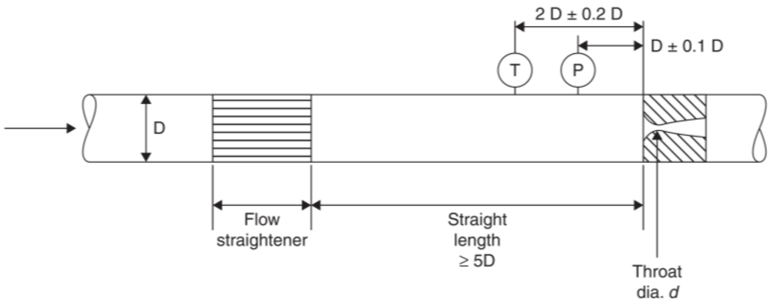
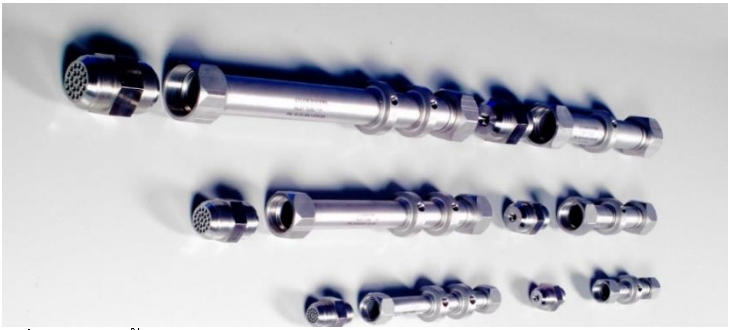


Figure 7.1. Details of Venturi nozzle installation.



รูปที่ 42 ติดตั้ง Sonic Nozzle ในระบบ (ISO 9300), โดยใน Flow Measurement Handbook, R.C. Baker แนะนำให้ค่า D ≥ 4d

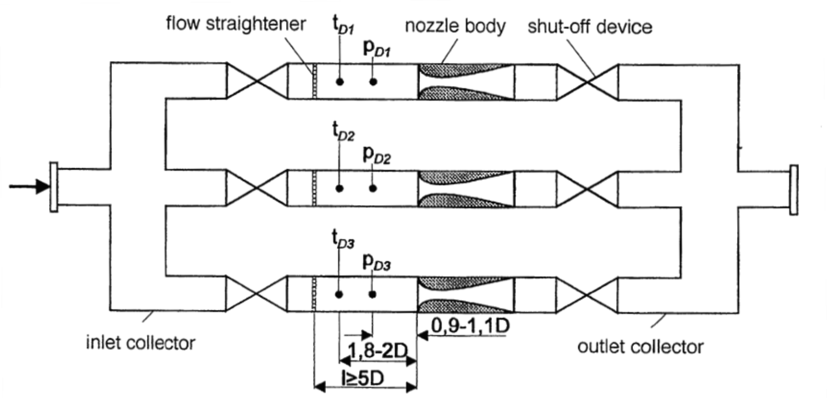


Figure 9: Example of a test rig configuration according to design 1 (separate nozzle installation)

Removable nozzle baseplate

รูปที่ 43 ติดตั้งระบบชุด Sonic Nozzle ใช้ชุดวัดอุณหภูมิและความดันแยกอิสระ

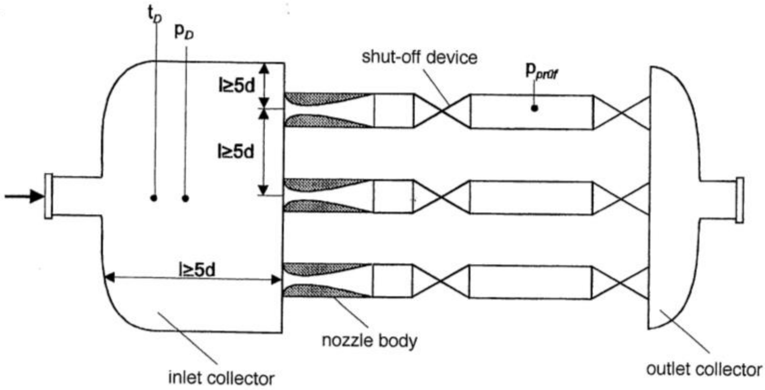
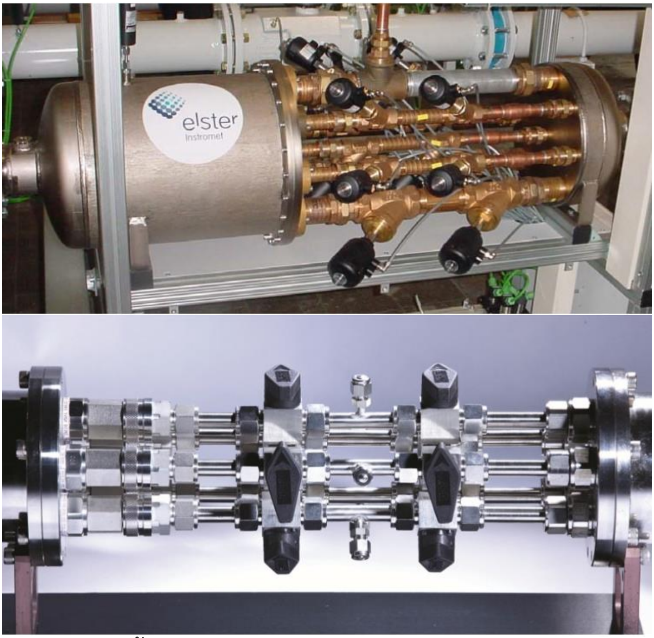
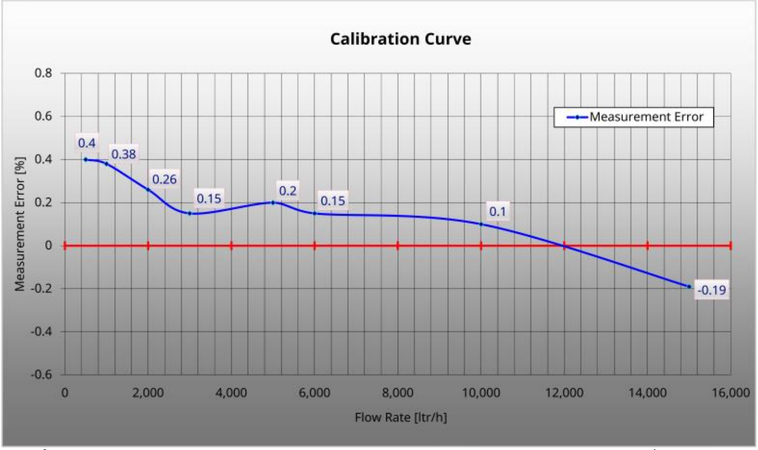


Figure 10: Example of a test rig configuration according to design 2 (nozzle collector installation)



รูปที่ 44 ติดตั้ง Sonic Nozzle ในระบบชุด Sonic Nozzle ใช้ชุดวัดอุณหภูมิและความดันร่วมกันด้านทางเข้า (ทางเข้าอยู่ทางซ้ายมือ ทางออกไปยัง Vacuum Pump ทางขวามือ)

1) **Test Bench 1** : ชุดจัดวาง DGM เพื่อรองรับการทดสอบ มาตรวัดกลุ่มเป้าหมายเป็น Domestic Used มีช่วงขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด ถึงอัตราการไหลสูงสุด 0.016 - 10 m^3/h ทดสอบมาตรวัดเรียงต่อกันเป็นอนุกรมได้ครั้งละ 6 เครื่อง เพราะกลัว Pressure Drop จะสูงมากเกินไป
2) **Test Bench 2** : ชุดจัดวาง DGM เพื่อรองรับการทดสอบ มาตรวัดกลุ่มเป้าหมายเป็น Commercial Used มีช่วงขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด ถึงอัตราการไหลสูงสุด 0.1 - 40 m^3/h ทดสอบมาตรวัดเรียงต่อกันเป็นอนุกรมได้ครั้งละ 3 เครื่อง เครื่อง DGM จะมีขนาดใหญ่และหนัก อีกทั้งแต่ละตัวจะมี Pressure Drop สูง ส่งผลต่อข้อจำกัดเรื่อง Blower



รูปที่ 45 ตัวอย่างกราฟสมรรถนะของระบบชุด Sonic Nozzle ซึ่งประกอบและทำงานร่วมกันของ Sonic Nozzles หลายตัวดังในรูปที่ 44 เมื่อทำงานร่วมกัน 1 ตัว หรือมากกว่า 1 ตัว จนถึงทำงานร่วมกันทุกตัวแล้วให้อัตรากรไหลสูงสุด ประมาณ 15,000 l/h หรือเมื่อรวมกันได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ

นอกจากนี้ระบบชุด Sonic Nozzle ประกอบด้วย Sonic Nozzle หลายตัว การให้มันทำงานร่วมกันได้สมบูรณ์โดยยังสามารถรักษาความเป็น Sonic Nozzle ต้องดูที่ว่าเรายังรักษา “choked” หรือ “sonic” state ของ Sonic Nozzle นั้น ๆ ได้ตลอดเวลาการทำงานหรือไม่ จึงต้องกำหนดให้มีชุด Control Unit & Software ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการ ดูแลและควบคุมให้ระบบฯ ดำเนินการไปได้ตามวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เสร็จสิ้น ถูกต้องและสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดทั้งหมดภายในระบบ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความดัน เครื่องวัดความดันตกคร่อม เครื่องวัดความชื้นสัมพันธ์และเครื่องวัดอื่น ๆ ที่จำเป็น ยังรวมไปถึงระบบควบคุมการทำงานของ Vacuum Pump, ระบบควบคุมการไหลและความปลอดภัยในระบบท่อ เช่น วาล์วควบคุมแรงดัน วาล์วควบคุมอัตราการไหล วาล์วนิรภัย เป็นต้น นอกจากนี้ให้จัดหาโปรแกรมคำนวณผลการตรวจสอบให้คำรับรองโดยสามารถรับสัญญาณข้อมูลแรงดันและอุณหภูมิของอากาศรวมทั้งสัญญาณพัลส์และสัญญาณอื่น ๆ ทั้งจาก DGM และเครื่องวัดประจำ Test Benches ที่จำเป็นเข้ามาประมวลผลในการคำนวณดังกล่าว ระบบรายงานผลการตรวจสอบมาตรวัด การจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น คือคิดว่านอกจากงานยก DGM เข้า-ออกแท่นทดสอบแล้วที่เหลือให้ระบบมันทำงานอัตโนมัติไปเลย จำนวนข้าราชการและลูกจ้างมันน้อย......... ครับเจ้านาย แต่รักษาระบบให้ทำงานต่อเนื่องยาก Chip หายแน่ ๆ

ชุดจัดวางมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรมเพื่อรองรับการทดสอบ (Test Bench หรือ Test Line)

- Test Bench 1: ชุดจัดวาง DGM สำหรับกลุ่มเป้าหมาย Domestic Used ที่มีช่วงขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุดถึงอัตราการไหลสูงสุด และขนาดเท่ากันเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมด้วยท่ออ่อนเพื่อทดสอบมาตรวัดเรียงกันได้ครั้งละ 6 เครื่อง ดูรูปที่ 47

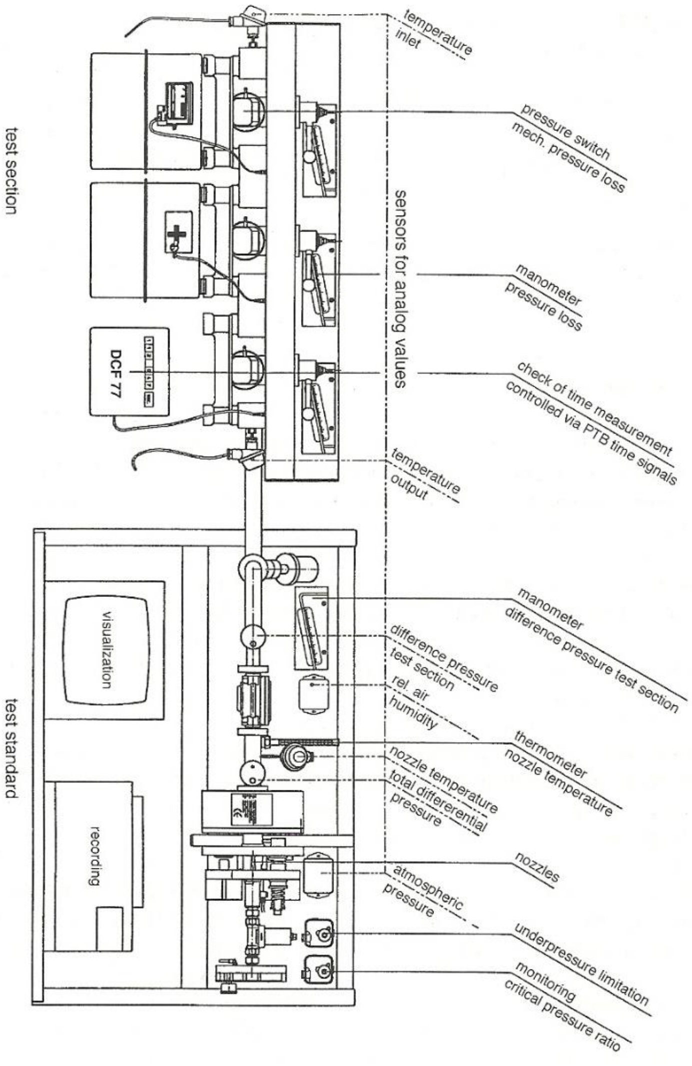


Figure 14: Design example of a nozzle test rig for diaphragm gas meters of nominal sizes G 1,6 to G 25

รูปที่ 46 การออกแบบ Test Bench หรือ Test Rig เพื่อตรวจสอบให้คำรับรอง DGM โดยใช้ระบบชุด Sonic Nozzle เป็นแบบมาตรา

รูปที่ 47 Test Bench 1: DGM สำหรับกลุ่มเป้าหมาย Domestic Used

- Test Bench 2: ชุดจัดวาง DGM สำหรับกลุ่มเป้าหมาย Commercial Used ที่มีช่วงขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด ถึงอัตราการไหลสูงสุด และขนาดเท่ากัน เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมด้วยท่ออ่อนเพื่อทดสอบมาตรวัดเรียงกันได้ครั้งละ 3 เครื่อง ดูรูปที่ 48

รูปที่ 48 Test Bench 2: DGM สำหรับกลุ่มเป้าหมาย Commercial Used

ทั้งนี้โดยมีรายละเอียดปลีกย่อยเพื่อความสะดวกและการให้ผลลัพธ์ของการตรวจสอบให้คำรับรองถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือ อีกทั้งเป็นระบบที่ให้ผลการวัดที่เสถียรยาวนานในระดับหนึ่ง ได้แก่

ทางเข้าแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ให้ติดตั้งวาล์วซ้อนกัน 2 ตัว (Block and bleed valves) พร้อมติดตั้งเครื่องวัดความดัน (pressure transmitter) ชนิดความเที่ยงสูงระหว่าง Block and bleed valves ก่อนทางเข้าแบบมาตรามาตรวัดฯ ดูรูปที่ 44

ขนาดท่อทางเข้าแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดเล็กสุดของแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles มากกว่า 4 เท่า

ต้องจัดให้มีระบบตรวจสอบ Critical Pressure Ratio ของแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ในขณะทำงานทุกตัวว่ายังคงอยู่ในค่าที่ยอมได้หรือไม่ และระบบต้องแจ้งเตือนหรือหยุดการทำงานเมื่อ Critical Pressure Ratio ของแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ตัวนั้น ๆ มีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ เพื่อมั่นใจได้ว่าระบบแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ยังคงให้ผลการวัดที่ถูกต้อง อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทำการตรวจสอบระบบว่ามีการรั่วไหลของอากาศหรือไม่ เป็นต้น

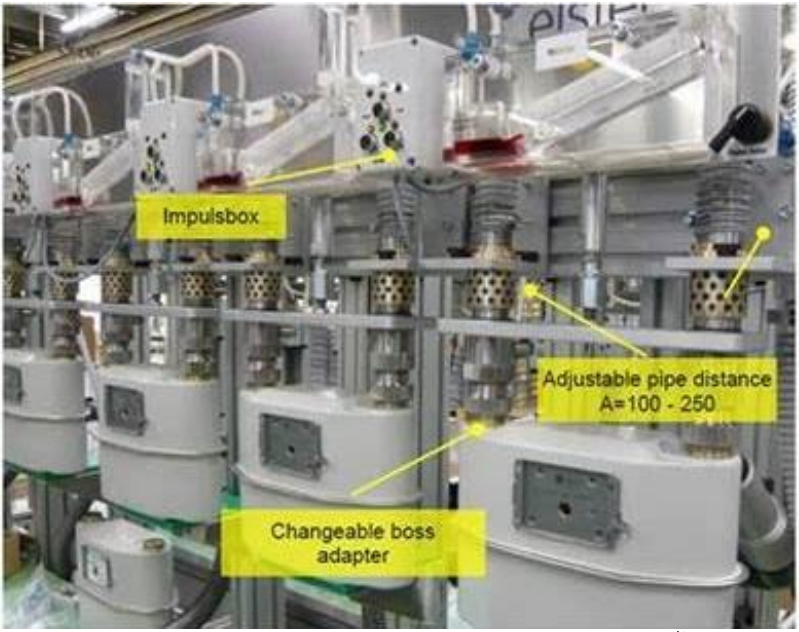
มาตรวัด แบบมาตรา Sonic Nozzles ต้องประกอบด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิสูงสุดไม่น้อยกว่า 50 °C และอ่านละเอียดเท่ากับหรือละเอียดกว่า 0.5°C

อุณหภูมิของอากาศที่ถูกส่งจ่ายเข้ามาตรวัดแบบมาตราต้องไม่แตกต่างจากอุณหภูมิห้องไม่เกิน ± 1.0 °C หรือใกล้เคียง

จัดให้มีเครื่องวัดความดันและเครื่องวัดอุณหภูมิประจำ DGM ทุกเครื่องซึ่งถูกติดตั้งและตรวจสอบอยู่บน Test Bench (ดูรูปที่ 49) ทั้งนี้เครื่องวัดอุณหภูมิ, เครื่องวัดความดัน เครื่องวัดความดันต่าง (Differential Pressure Sensor), Digital Pulse counters & Pulse Generator และเครื่องวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบและมีผลต่อขีดความสามารถของระบบสอบเทียบต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานสถาบันมาตรวิทยาประจำชาติของผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการที่ได้รับมาตรฐาน ISO 17025 หรือห้อง

ปฏิบัติที่น่าเชื่อถือ

จัดให้มีท่อทางเข้าและท่อทางออกจาก DGM ให้สามารถรองรับขนาดท่อทางเข้า (Connection Sizes) ได้ตั้งแต่ ½ นิ้ว ถึง 2 นิ้ว อีกทั้งต้องสามารถปรับระยะห่างระหว่างท่อทางเข้าและท่อทางออกให้สอดรับได้กับ DGM ที่มีขนาดหลากหลายในแต่ละยี่ห้อและรุ่น โดยไม่มีการรั่วไหลของอากาศที่ใช้ทดสอบ แนวคิดตามตัวอย่างในรูปที่ 49 และรูปที่ 50



รูปที่ 49 เครื่องวัดต่าง ๆ ประจำ DGM ที่กำลังถูกตรวจสอบรวมทั้งระบบขายึดท่อทางเข้า-ทางออก DGM ที่ต้องปรับระดับสูงต่ำและระยะห่างได้เพราะ DGM แต่ละรุ่นมีมิติต่างกัน

จัดให้มีระบบป้องกันแรงดันภายใน Test Bench ไม่ให้สูงเกินกว่าที่ได้รับออกแบบไว้ เพื่อป้องกันความเสียงานต่อระบบฯ และ DGM ที่กำลังตรวจสอบ

รูปที่ 50 ปรับระยะห่างระหว่างท่อทางเข้าและท่อทางออก DGM ที่มีขนาดหลากหลายในแต่ละยี่ห้อและรุ่น

จัดให้มี Optical Sensor เพื่อทำการอ่านผลการวัดของ DGM ที่กำลังตรวจสอบ 1 ชุดต่อ 1 มาตรวัดฯ โดยไม่ต้องใช้คนไปอ่านซึ่งอาจก่อให้อ่านผิดพลาดได้เมื่อทำงานเป็นเวลานาน จากนั้นส่งผลไปประมวลผลที่ชุด Control Units เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการวัดกับผลที่วัดได้ของแบบมาตรามาตรวัด Sonic Nozzles ด้วยวิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method)

เมื่อทำการทดสอบชุดอุปกรณ์การจัดเรียง DGM (Test Benches) เมื่อประกอบร่วมเข้ากับแบบมาตรา Sonic Nozzle แล้วต้องให้ผลการวัดอัตราการไหลดังนี้

1) ที่อัตราการไหล Q_{min} จะต้องให้ผลการเบี่ยงเบนการวัดโดยคิดที่ 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของชุดการทดสอบในแต่ละครั้ง ≤ 0.6%

2) ที่อัตราการไหล $0.2Q_{max}$ และที่ Q_{max} จะต้องให้ผลการเบี่ยงเบนการวัดโดยคิดที่ 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของชุดการทดสอบในแต่ละครั้ง ≤ 0.4%

การตรวจสอบระบบการติดตั้งระบบตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม

ภายหลังจากติดตั้งระบบสมบูรณ์ ให้ทำการทดสอบระบบว่ามีการรั่วหรือไม่ โดยทดสอบอัดอากาศเข้าระบบที่ความดันปฏิบัติงานสูงสุดและต่ำสุด ความดันภายในระบบต้องไม่ลดลงภายใน 3 ชั่วโมง

ตรวจสอบอัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดของระบบฯ ต้องมีค่าคงที่ หากเปลี่ยนแปลงต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกินกว่า ±5 %

ระบบความปลอดภัย เช่นความดันสูงเกินไป ระบบ Interlock System เมื่อใช้งานระบบผิดไปจากที่ออกแบบเพื่อป้องกันและรักษาความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงานและเครื่องมืออุปกรณ์ประจำระบบ

โหมดการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)

ต้องมีโหมดการทำงานหลักอย่างน้อย 2 โหมด

1. โหมดตรวจสอบรอยรั่ว (Leakage Test) ต้องออกแบบระบบให้สามารถปล่อยอากาศเข้า DGM ที่ถูกตรวจสอบทั้งหมดใน Test Bench 1 และ Test Bench 2 ด้วยความดันทำงานของ DGM หรือสูงกว่า จากนั้นให้ปิดวาล์วทางเข้าและทางออกค้างไว้ไม่น้อยกว่า 3 นาที เพื่อตรวจสอบ DGM มีการรั่วไหลหรือไม่

2. โหมดการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก และชั้นหลัง (Verification Test) อยู่บนพื้นฐาน OIML R31

ระบบจ่ายลมทดสอบมาตรวัดปริมาตรก๊าซแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gas Meter)

เป็นระบบผลิต ควบคุมปริมาณและคุณภาพอากาศทั้งความสะอาด อุณหภูมิ ความชื้น แรงดัน และอัตราการไหลส่งจ่ายไปยังระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM อย่างน้อยควรประกอบด้วย

1. **ระบบผลิตและจ่ายอากาศเข้าระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM** เพื่อให้สามารถจัดส่งอากาศเข้าระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ด้วยอัตราการไหลสม่ำเสมอ อย่างต่อเนื่อง สำหรับการตรวจสอบสมรรถนะ DGM

1.1. ระบบส่งจ่ายลมเข้าระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ใช้หลักการทำงานแบบระบบดูดอากาศ (Vacuum Air)

1.2. อัตราการไหลสำหรับการดูดอากาศไม่น้อยกว่า 100 m^3/h ที่ความดัน 150 mbar (abs.) หรือ 100 - 0 m^3/h ในช่วงความดัน -750 - 0 mbar (gauge)

1.3. Vacuum Pump ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าระบบไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลท์ 50 เฮิร์ท กำลังไม่น้อยกว่า 2.2 kW

1.4. ตัวปั๊มและมอเตอร์ต้องประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน

1.5. ระดับความดังเสียงไม่เกิน 83 dB(A) ภายใต้ DIN 45635

1.6. ต้องสร้างอัตราการไหลทดสอบ DGM ครอบคลุมตารางที่ 5

1.7. ระบบท่อส่วนที่เป็นโลหะทั้งหมดเป็น Stainless Steel ยกเว้นหากมีเหตุผลทางเทคนิค

2. ระบบควบคุมอัตราการไหลและความดันอากาศที่ส่งจ่ายเข้าระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM (Flow Control Unit)

2.1. จัดให้มีระบบควบคุมปริมาตรและความดันอากาศที่ส่งจ่ายเข้าระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เป็น 2 วงจรหรือเทียบเท่า โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลตั้งแต่อัตราการไหลต่ำสุดถึงอัตราการไหลสูงสุด และความดันที่ปรับเปลี่ยนได้ตลอดช่วงระยะเวลาในการทำงาน

- มาตรวัดกลุ่มเป้าหมายเป็น Domestic Used อัตราการไหลตั้งแต่ 0.016 – 10 m^3/h และความดันตั้งแต่ 0 – 1,000 mbar (abs.)
- มาตรวัดกลุ่มเป้าหมายเป็น Commercial Used อัตราการไหลตั้งแต่ 0.1 – 40 m^3/h และความดันที่ตั้งแต่ 0 – 1,000 mbar (abs.)

2.2. ระบบ Flow Control Unit ดังกล่าวต้องสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศ เมื่อทำการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ทั้ง 2 กลุ่มเป้าหมายตามข้อ 1. ที่อัตราการไหลทดสอบ (โดยประมาณ) ในแต่ละช่วงระหว่างขอบเขตอัตราการไหลต่ำสุด (Upper limit of Q_{min}) ถึงอัตราการไหลสูงสุด (Q_{max}) ของ DGM โดยประมาณ คือ

2.2.1. Q_{min}

2.2.2. $3Q_{min}$

2.2.3. $0.2Q_{max}$

2.2.4. Q_{max}

2.3. การควบคุมอัตราการไหลทดสอบต้องมีขีดความสามารถรักษา

อัตราการไหลไดภายในช่วง ±5% ของอัตราการไหลทดสอบนั้น ๆ

2.4. การควบคุมอัตราการไหลทดสอบที่อัตราการไหลคงที่ค่าหนึ่งสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM เพื่อการหาค่า Repeatability นั้นต้องไม่ใช้วิธีการทำงานควบคุมอัตราการไหลทดสอบแบบปิด-เปิดอัตราการไหล (Start-Stop Mode) ทันทีทันใด แต่ต้องรักษาอัตราการไหลให้คงที่ตลอดเวลาโดยทำการปรับเปลี่ยนทิศทางอัตราการไหลอากาศไปในทิศทางอื่นด้วย Flow control valve เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงแทนเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดรอบการตรวจสอบให้คำรับรอง หรือใช้ระบบวาล์วปิด-เปิดช้า

2.5. ต้องออกแบบระบบส่งจ่าย และ การควบคุมอัตราการไหล ต้องไม่ให้ความเร็วอากาศในระบบท่อสูงเกิน 15 m/s

2.6. ต้องรักษาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างลมที่จ่ายกับตัว Sonic Nozzle และสภาวะแวดล้อมแตกต่างกันเกินกว่า 5 °C

2.7. จัดให้มีระบบป้องกันแรงดันสูงเกินกว่าที่กำหนดภายในระบบ (Safety Valve) และ/หรือ ระบบ Interlock ในแต่และส่วนของระบบท่อแรงดันส่งจ่ายและบริเวณก่อนวาล์วควบคุมแรงดันในระบบท่อ

2.8. ท่ออ่อนที่ใช้ในระบบตรวจสอบให้คำรับรอง DGM สามารถตรวจสอบและตรวจสอบให้คำรับรอง DGM ต้องรองรับอัตราการไหลสูงสุด, ความดันสูงสุด และอุณหภูมิสูงสุดของระบบ อีกทั้งต้องไม่ทำปฏิกิริยากับไอที่ใช้ในระบบ

2.9. ระบบท่อส่วนที่เป็นโลหะทั้งหมดเป็น Stainless Steel ยกเว้นหากมีเหตุผลทางเทคนิค

การควบคุมสภาวะห้องปฏิบัติการตรวจสอบให้คำรับรอง DGM

ในเบื้องต้นจะใช้ระบบ Precision Air ด้วยระบบจ่ายลม Ducts ให้ความเร็วลมจากหัวจ่ายไม่เร็วมากนัก โดยมีชั้นฝาอลูมิเนียมที่เป็น Perforated Celling เพื่อช่วยลดความเร็วลมและเพิ่มการกระจายลมเย็น อีกทั้งช่วยลดระดับเสียงภายในห้องปฏิบัติการ ระบบปรับอากาศต้องมีขีดความสามารถปรับอากาศภายใน

ห้องปฏิบัติการได้อย่างน้อยอยู่ในช่วง

- มีความสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสอบเทียบได้ภายในขอบเขต 22 °C ± 1 °C และ 50% RH ± 2% RH ตามลำดับ
- มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่เกิน 1.0 °C ต่อชั่วโมง และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 2% ต่อชั่วโมง
- ภายหลังจากติดตั้งระบบฯ แล้วเสร็จระบบฯ ควรมีความสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสอบเทียบได้ภายในขอบเขต

	อัตราการเปลี่ยนแปลง
ΔT/1hr.	± 1.0 °C
ΔT/4hr.	± 1.5 °C
ΔT/24hr.	±3.0 °C
Δh/1hr.	± 2.0 %

- ความเร็วออกทางหัวจ่ายแต่ละหัวจ่ายภายในห้องปฏิบัติการฯ ต้องมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.5-0.8 m/s

ท้ายสุด ก็แจ้งให้ทราบว่านี้คือเท่าที่นึกได้และนึกออก ณ ตอนนี้น่ะ..... ก็พยายามรวบรวมแล้วถ่ายทอดออกมาได้แค่นี้หากคิดผิดแล้วท่านตรวจเจอก็แก้ไขปรับปรุงต่อยอดเลยครับ ไม่ว่ากันแถมดีใจเพิ่มอีกต่างหากและถ้าหากมีโอกาส....ก็ขอให้สานต่อ... ขยายขอบเขตงานมาตราชั่งตวงวัดเชิงกฎหมายกันต่อไป วันนี้เราน่าจะทำได้สัก 20% เมื่อเทียบกับจำนวน OIML Recommendations ที่ใช้เป็นแนวทางการออกกฎระเบียบเพื่อการกำกับดูแลเครื่องชั่งตวงวัดของประเทศสมาชิกที่ OIML กำหนดไว้เป็นแนวทาง บทความนี้จึงไม่เพียงฝากไว้กับภาครัฐเท่านั้นครับหากภาคเอกชนสนใจก็นำไปปรับใช้หรือใช้เป็นหินก้อนแรกรองเท้าที่จะก้าวย่างต่อไปทำให้ดีขึ้นก็ไม่ขัดข้องหรอกแถมดีใจสุดๆ อีกต่างหากเพราะมันเป็น National Legal Metrology Infrastructures ครับ.....เพราะ DGM มีกฎกระทรวงฯ บังคับใช้ตั้งแต่ พ.ศ. 2546 วันนี้ยังทำไม่สำเร็จ............... รอคนรุ่นหลังน่ะครับ........... สาธุ

ชตว
CBWM

เอกสารอ้างอิง
(Bibliography)

1. พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542
2. **การชั่งตวงวัดในบ้านเมืองของเรา,** วารสารกรมทะเบียนการค้า ฉบับที่พิเศษ เนื่องในโอกาสคล้ายวันสถาปนากมทะเบียนการค้าครบรอบ 55 ปี, 16 มกราคม 2522
3. **การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Non-automatic Weighing Instruments)** วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, โสภณ โอภาสกิตติ, สาธิต ชูสุวรรณ สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า
4. **การวัดมวล**, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม และ ปัญจรี สมวงศ์, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า
5. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการในการเก็บรักษา การกำหนดบุคลากรที่รับผิดชอบ และการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สำหรับสถานที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่กรมธุรกิจพลังงานรับผิดชอบ พ.ศ. 2554
6. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดก๊าซที่มีสถานะเป็นไอ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด และอายุคำรับรอง ลงวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2562
7. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561
8. ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิด และลักษณะของมาตรวัดปริมาตรน้ำ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ผลิต และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พ.ศ. 2561, กระทรวงพาณิชย์
9. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มอก. 257-2549

10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดใบพัด มอก. 1021-2534
11. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรวัดน้ำต่อด้วยเกลียวชนิดลูกสูบ มอก. 1271-2538
12. **มารู้จักมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters)**, โสภณ โอภาสกิตติ, สาธิต ชูสุวรรณ สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า
13. ระเบียบสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข การตรวจสอบและให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรน้ำของผู้รับใบอนุญาตเป็นผู้ตรวจสอบและให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรน้ำที่ตนผลิตหรือซ่อม พ.ศ. 2562, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด กระทรวงพาณิชย์
14. **สารานุกรม เปิดโลกปิโตรเคมี Petrochemical Encyclopedia**, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554
15. **หลักการทำงานและสมรรถนะ Turbine & Positive displacement Meters**, พงษ์ศักดิ์ อำไพพรรณ, ณรงค์ สร้อยทอง, สาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า
16. https://www.maxsteelthai.com/ทองแดงผสมอัลลอย-copper-alloy/
17. www.telepart.net คุณสมบัติของพลาสติก Plastic ชนิดต่างๆ
18. http://www.doeb.go.th/knowledge/knowledge_article_Natural2.htm
19. http://www.doeb.go.th/v3/knowledge/knowledge_article_Natural1.htm
20. **AGA Engineering Technical Note Catalog No. XQ0308** The Theory and Operations of Meter Shop Sonic Nozzle Proving Systems for the Natural Gas Industry, 2003, American Gas Association
21. **An Efficient Metrological Infrastructure Benefit for Industry and Society**, Professor M. Kochsiek and A. Odin, lecture held Nov 11,1998, Chiang Mai, Thailand.

22. **ANSI B109.1 DIAPHRAGM-TYPE GAS DISPLACEMENT METERS (Under 500 Cubic Feet Per Hour Capacity)**, April 13,2000, American National Standards Institute

23. **ANSI B109.2 DIAPHRAGM-TYPE GAS DISPLACEMENT METERS (500 Cubic Feet Per Hour Capacity and Over)**, April 13,2000, American National Standards Institute

24. **ANSI/ASME B 31.3 Petroleum Refinery Piping,** American Society of Mechanical Engineers

25. **APEC/APLMF Training Courses in Legal Metrology**, OIML R 49-1 Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water meters, September 23 –26, 2008 Hanoi, Vietnam

26. **API 12J, Specification for Oil and Gas Separators**, 8th Edition, October, 2008, American Petroleum Institute

27. **API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 4 - Proving Systems, Section 7** - Field Standard Test Measures, Second Edition, December 1998, American Petroleum Institute.

28. **API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 4.8** - Operation of Proving Systems, Second Edition, September 2013, American Petroleum Institute

29. **API STD 610 Centrifugal Pumps for General Refinery Service**

30. **APLMF Guide Document on Rice Moisture Measurement**, May 2017 Edition, ASIA-PACIFIC LEGAL METROLOGY FORUM (APLMF)

31. **AS 1565-1996 Copper and copper alloys-Ingots and castings**, Australian Standard

32. **AS 2345-2006 Dezincification resistance of copper alloys**, Australian Standard

33. **ASM Specialty Handbook**, Copper and Copper Alloys, J. R. Davis, Davis & Associates, 2001, ASM International

34. **ASME PTC 19.5-2004**, **Flow Measurement, Performance Test**, American Society of Mechanical Engineers

35. **ASME/ANSI MFC-7M- 1987, Measurement of Gas Flow by Means of Critical Flow Venturi Nozzles**, American Society of Mechanical Engineers

36. **AWWA MANUAL M33, Flowmeters in Water Supply,** Second Edition, 2006, American Water Works Association

37. **AWWA MANUAL M6, Water Meters — Selection, Installation, Testing, and Maintenance,** Fifth Edition, 2012, American Water Works Association

38. **Brass for European Portable Eater Applications**, A7038 XX/16, Copper Development Association (CDA)

39. **Calibration Nozzle Performance-State of The Art**, Mohammed R.Shaalan, Fatma A-M. Kassem, Saeed A. Ahmad, Reham S.Hagazy, The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology, Vol. 26 (2018) 01–13, EGYPT

40. **Calibrations of sonic nozzles**, STE: Tomáš Valenta, Chisinau, Republic of Moldova, 24.9.2015, Strengthening of the standards and metrology sector according to the best practice in the EU Member States.

41. **Cameron Hydraulic Data,** Edited by C.R. Westaway and A.W. Loomis, Ingersoll-Rand, Woodcliff Lake, N.J. 07675, 1977

42. **Classifying Explosion Prone Areas for the Petroleum**, Chemical and Related Industries, Noyes Publications, W.O.E. Korver 1995

43. **Comprehensive Mass Metrology**, Manfred Kochsiek, Michael Glaser, © WILEY-VCH Verlag Berlin GmbH, Berlin (Federal Republic of Germany), 2000
44. **Development of a New National Standard Water Flow Facility at NEL**, Project Nos: FEDE02 and 04, Report No: 2004/200, October 2004, NEL UK
45. **Drinking water lead regulations**: impact on the brass valve chain, A. A. Estelle, Material Science and Technology, 2016, Vol 32, No 17, P1763-1770
46. **ENGINEERING DATA BOOK**, FPS VERSION, Volumes I & II, 12 Edition, 2004, Gas Processors Suppliers Association
47. **Engineering Recommendations GS-ENG-08-03**: Exploration of the traceability chains used in the verification of domestic gas meters, Version 1.2, June19, 2008, Patrick (Pat) J. Hardock, P.Eng., Senior Engineer – Natural Gas Measurement Engineering and Laboratory Services Directorate, Measurement Canada
48. **Engineering Recommendations GS-ENG-10-02** Requirements for Certification through Correlation of Gas Measuring Apparatus - Working Level Sonic Nozzle Provers Used for the Purpose of Calibrating Diaphragm Meters, 2010-04-22, Patrick (Pat) J. Hardock, P.Eng, Senior Engineer – Natural Gas Measurement Engineering and Laboratory Services Directorate, Measurement Canada
49. **Flow Measurement Engineering Handbook**, Third edition, Richard W. Miller, McGraw-Hill, 1996
50. **Flow Measurement Handbook**, Roger C. Baker, 2nd Edition, Cambridge University Press, 2016

51. **Flow Measurement Infrastructure in Taiwan**, Dr. Jiunn-Haur Shaw, Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute, March 6, 2009, NMIJ, Tsukuba, Japan

52. **Flow Measurement: Practical Guides for Measurement and Control**, David W. Spitzer, 1991, Instrument Society of America.

53. **Flow Meter Calibration with Sonic Nozzles in High Pressure Natural Gas**, H. Dietrich, B. Nath, E. v. Lavante, M. Jaeschke, P. Schley , and H.-J. Hotze, Flomeko 2000 - IMEKO TC9 Conference Salvador, Bahia, BRAZIL 4-8 June, 2000

54. **Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe, Technical Paper No. 410,** 2013, Crane Co.,

55. **Flowmeters in Water Supply**, **Manual of Water Supply practices, AWWA MANUAL M33**, 2nd Edition, 2006, American Water Works Association

56. **FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF DIAPHRAGM DISPLACEMENT METERS**, Robert Bennett, American Meter Company,2001 PROCEEDINGS, AMERICAN SCHOOL OF GAS MEASUREMENT TECHNOLOGY

57. **Gas-Liquid Separators–Quantifying Separation Performance Part 1**, Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 22 – 29, Aug. 2013

58. **Gas-Liquid Separators–Quantifying Separation Performance Part 2,** Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 35 – 47, Oct. 2013.

59. **Gas-Liquid Separators–Quantifying Separation Performance Part 3**, Bothamley, M., SPE Oil and Gas Facilities, pp. 34 – 47, Dec. 2013

60. **GPA Standard 2140-97**, Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods, Gas Processors Association, 1997

61. **Gravity Flow Pipe Design Charts**, David Butler and Brian R.C. Pinkerton, Thomas Telford LTD, Thomas Telford House, 1 Heron Quay, London E14 9XF, England, 1st Published 1987

62. **Handbook of Natural Gas Transmission and Processing, Principles and Practices**, 3rd Edition, Saeid Mokhatab, William A. Poe, John Y. Mak, 2015, Elsevier Inc & Gulf Professional Publishing

63. **Handbook of Petroleum Processing**, DAVID S. J. "STAN" JONES, PETER R. PUJAD´O, 2006 Springer

64. **INTRODUCTION TO INTEGRATED WATER METER MANAGEMENT EDITION 1**, JE VAN ZYL, Water Research Commission, the Republic of South Africa, October 2011

65. **ISO 4185-1980 Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method**, 1st edition, 1980-12-15

66. **ISO 9300 Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles**, 2nd edition, 2005-08-15

67. **Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 4 - Proving Systems, Section 3 - Small Volume Provers,** First Edition, July 1988, American Petroleum Institute.

68. **Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 5 Metering, Section 2 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Displacement Meter Systems**, 1st edition , Jan 1977 ;American Petroleum Institute

69. **Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 5 Metering, Section 3 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters**, 2nd edition, Nov 1987; American Petroleum Institute.

70. **Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 7 Temperature Determination, Section 2-Dynamic Temperature;** 1985 , American Petroleum Institute

71. **Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers**, Ninth Edition, Edited by Bugene A. Avallone and Thedore Baumeister III, McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,1987

72. **Metrological Gas Meters Verification in Germany**, Ralf Schneiderat, inotech Meter Calibration Systems GmbH, Germany

73. **My Current Understanding of Sonic Velocity Limits**, W. Doug McDaniel, MPEC, Inc., January 28, 2016

74. **Natural Gas Conversion Guide**, 2012, International Gas Union (IGU)

75. **NFPA 54 National Fuel Gas Code**, 2006 Edition, National Fire Protection Association

76. **NFPA 58 Liquefied Petroleum Gas Code**, 2004 Edition, National Fire Protection Association

77. **NIST Special Publication 250-80, Gas Flowmeter Calibrations with the Working Gas Flow Standard**, John D. Wright, Jean-Philippe Kayl, Aaron N. Johnson, and Gina M. Kline, November 23, 2009, National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce

78. **NSF 372-2016 Drinking Water System Components - Lead Content**, NSF International

79. **NSF/ANSI 61-2016 Drinking Water System Components-Health Effects,** NSF International

80. **OIML BULLETIN, VOLUME LIV, NUMBER 4,** OCTOBER 2013, Organization International of Legal Metrology (OIML)

81. **OIML Bulletin, Volume LVIII, Number 4**, October 2017, OIML, Organization International of Legal Metrology (OIML)
82. **OIML R 31 Diaphragm gas meters**; Edition 1995, Organization International of Legal Metrology (OIML)
83. **OIML R 49 - 1 Water meters for cold potable water and hot water.**, **Part 1**: Metrological and technical requirements, Edition 2013 (E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
84. **OIML R 49 - 2 Water meters for cold potable water and hot water.**, **Part 2**: Test methods, Edition 2013 (E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
85. **OIML R 49 - 3 Water meters for cold potable water and hot water.**, **Part 3:** Test report format, Edition 2013 (E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
86. **OIML R 85 - 1 & 2 Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks**, Edition 2008 (E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
87. **OIML R 105, Direct mass flow measuring systems for quantities of liquids**, Edition 1995(E) , Organization International of Legal Metrology (OIML)
88. **OIML R 117, Measuring system for liquids other than water**, Edition 1995(E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
89. **OIML R 120 Standard Capacity measures for Testing Measuring Systems of Liquids Other Than Water;** Edition 1996 (E), Organization International of Legal Metrology (OIML)
90. **OIML R 137 Gas meters**; Edition 2012, Organization International of Legal Metrology (OIML)

91. **OIML V1:2013. International Vocabulary of Terms in Legal metrology (VIML)** , Organization International of Legal Metrology (OIML)

92. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, 8th Edition, McGraw-Hill Companies, Inc. New York, NY, 2008

93. **Piping Handbook** 6th Edition, Mohinder L. Nayyar, McGraw-Hill, Inc, 1992

94. **Procedure for the acceptance of metallic materials for products in contact with drinking water, Part A**, Procedure for the acceptance, 4MS Joint Management Committee, 2nd Revision, March 7, 2016.

95. **Procedure for the acceptance of metallic materials for products in contact with drinking water, Part B,** 4MS Common Composition List, 4MS Joint Management Committee, 11th Revision, March 5, 2019.

96. **Procedures of calibrations of gas meters and of gas flow meters,** STE: Tomáš Valenta, Chisinau, Republic of Moldova, 22.9.2015, Strengthening of the standards and metrology sector according to the best practice in the EU Member States.

97. **PTB Testing Instruction, Volume 25: Gas meters – Test rigs with critical nozzles**, Wendt, G; Dietrich, H.; Jarosch, B.; Joest, R.; Natz, B.; Frössl, F.; Ruwe, M., The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 2000

98. **PTB Testing Instruction, Volume 29: Measuring Instrument for Gas, Testing of Gas Volume Meters with Air at Atmospheric Pressure**, Dietrich, H.; Hotze, H.-J.; Jarosch, B.; Jünger, F.-J.; Kämpf,

M.; Kramer, R.; Mickan, B.; Nath, B.; Polzin, H.; Wendt, G.,The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 2003

99. **Publication No 120, Copper and Copper Alloys Compositions**, Applications and Properties, 2004, Copper Development Association (CDA)

100. **PUMP HANDBOOK**, second edition; Edited by IGOR J. KILLIAM C. KRUTZSCH, WARREN H. FRASER and JOSEPH P. MESSINA; McGraw-Hill BOOK COMPANY ,1986

101. **PUMPS AND PUMPING with particular reference to variable-duty pumps**; ION I. IONEL; Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo; 1986

102. **RECOMMENDATION Transitional recommendation on the provisional hygienic assessment of products made from thermoplastic elastomers in contact with drinking water** (TPE transitional recommendation), Rev02, As at: 11 March 2019

103. **Report No: 2006/268-Issue 1, REVIEW OF LPG FLOW MEASUREMENT TECHNOLOGIES AND MEASUREMENT ISSUES**, Nov 2006, A Report for National Measurement System Programme Unit, Department of Trade & Industry, NEL

104. **Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering**, 3rd Edition, William C. Lyons, Gary J. Plisga, and Michael D. Lorenz, 2016, Gulf Professional Publishing

105. **The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow**, Ascher H. Shapiro, John Willey & Sons, 1953

106. **Verification Equipment for National Metrology,** OIML: Service, March 1986, , Organization International of Legal Metrology (OIML)

107. **Verification of Accuracy of Domestic Gas Flow Meter**, Chun-Min Su, Industrial Technology Research Institute (ITRI), Flow & Energy Research Lab., CMS/ITRI, APMP 2014 TCFF Workshop, Daejeon, Korea, 2014/9/20

108. **Zone Hazardous Location**, Publication 800-WP004A-EN-POctober 2001, Allen-Bradley, Rockwell Automation