ชตว
CBWM

นานาสาระ ชั่งตวงวัด

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures
กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

นานาสาระ ชั่งตวงวัด

เรียบเรียงโดย

จรินทร สุทธนารักษ์
สาธิต ชูสุวรรณ

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures

คำนำปรารภ

งานชั่งตวงวัดว่าด้วยกฎหมาย (Legal Metrology) ถือเป็นความรับผิดชอบของรัฐในการวางรากฐานสาธารณูปโภคพื้นฐานเพื่ออำนวยกิจกรรมทางการค้าสินค้าและบริการทั้งภายในและระหว่างประเทศ การสร้างความเชื่อมั่นและความเชื่อถือในระบบชั่งตวงวัดและสินค้าหีบห่อของประเทศถือเป็นสิ่งสำคัญ ด้วยเหตุนี้การที่จะมุ่งไปสู่ยังจุดมาตรฐาน และการสร้างความเชื่อมั่นในการใช้เครื่องชั่งตวงวัด จำเป็นต้องเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจที่มีองค์ความรู้หลากหลายสาขา ประยุกต์ประสานรวมกันเป็นองค์ความรู้รวมแล้วนำไปสู่การปฏิบัติงานของข้าราชการชั่งตวงวัด ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและผู้เกี่ยวข้องงานชั่งตวงวัดว่าด้วยกฎหมายจึงเป็นสิ่งจำเป็น

หนังสือของสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเล่มนี้ได้รวบรวมประเด็นเล็กประเด็นน้อย เกร็ดความรู้ที่ต้องเข้าใจ เรื่องที่ต้องรู้ เบื้องหลังการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัด การเลือกแบบมาตราที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับปฏิบัติงาน ฯลฯ ไว้ในหนังสือ **"นานาสาระชั่งตวงวัด"** เพื่อผู้ปฏิบัติงานสามารถศึกษาค้นคว้าและใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการปฏิบัติงาน

หวังว่าหนังสือเล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัดว่าด้วยกฎหมายและผู้ที่เกี่ยวข้องตามสมควร

นางสาววิบูลย์ลักษณ์ ร่วมรักษ์
อธิบดีกรมการค้าภายใน

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ถือเป็นเรื่องนานาสาระจริงๆ เดิมทีใคร่คิดเชิญชวนเพื่อนฝูงให้ช่วยกันเขียนคนละเรื่อง สองเรื่อง แล้วนำมารวบรวมกันก็จะได้หลากหลายเรื่องราว หลายๆ มุมมอง ซึ่งสามารถนำไปเป็นบทความประจำ Homepage ของหน่วยงานได้ด้วย แต่ดูเหมือนเพื่อนๆ ยังไม่ว่างกัน จึงขอดำเนินในส่วนที่ตัวเองมีและพอเขียนได้ไปก่อน ทั้งนี้หวังว่าในอนาคตน่าจะมีเล่มต่อๆ ไปจากนี้

จากการที่ได้รับรู้และรับทราบทั้งในรูปแบบของงานที่เคยรับผิดชอบและหนังสือ บทความ หรือเอกสารต่างๆ ที่ได้อ่านผ่านสายตา พบว่าหลายเรื่องราวเป็นเรื่องที่ดีและอยากให้ผู้ที่มีความสนใจได้รับทราบด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปเนื้อหาสาระที่เรียบเรียงมาไม่ได้มีความเชื่อมต่อหรือต่อเนื่องกันเลยเสียทีเดียว ดังนั้นหากนำมาเขียนเป็นเรื่องราวร้อยเรียงเป็นชิ้นเป็นเล่มเดียวกันคงทำได้ไม่ดีนัก เมื่อใคร่ครวญก็มาจบลงที่รวมเรื่องแตกต่างกันดังกล่าวนั้นมาเสนอรวมไว้ในรูปเล่มเดียวกันในรูปแบบ ของหนังสือคล้ายรวมเรื่องย่อหรือเรื่องสั้นที่สามารถพกพาได้สะดวก ใครสนใจอ่านเรื่องใดก็อ่านเรื่องนั้น ไม่จำเป็นต้องอ่านเริ่มต้นจากบทแรกไปสิ้นสุดบทสุดท้ายแต่อย่างใด เรื่องบางเรื่องก็นำไปคิดต่อ เรื่องบางเรื่องก็นำไปศึกษาต่อ เรื่องบางเรื่องก็เป็น ข้อคิดเห็น เรื่องบางเรื่องก็เป็นเรื่องใกล้ตัวรู้ไว้ใช่ว่าจะเสียหาย และเรื่องประวัติศาสตร์ของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ในประเทศไทย เป็นเรื่องที่ต้องพึงระลึกถึงว่าโลกาภิวัตน์ (Globalization) ไม่ใช่เกิดในประเทศไทย เมื่อช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาเท่านั้น แต่เกิดขึ้นเมื่อสมัยรัชกาลที่ 5 และรัชกาลที่ 6 มาแล้วเช่นกัน

ต้องขอขอบคุณคุณสมศักดิ์ ขันทองคำ ที่อดทนอ่านและช่วยตรวจแก้ไขคำผิด

เทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ฉะนั้นจำเป็นต้องยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเรียนรู้เพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ข้าราชการชั่งตวงวัดและผู้ที่มีความสนใจ

ผู้เรียบเรียง

สารบัญ

หน้า		
คำนำ		
1	ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย	1
2	ควรเลือกถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) อย่างไรให้เหมาะสมกับงานสอบเทียบ	9
3	ห้องปฏิบัติการทางมวลความเที่ยงสูงควรเป็นอย่างไร	21
4	ข้อกำหนดและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Specifications and Maximum Permissible errors for Standard Weights)	33
5	เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงใดละเอียดมากพอสำหรับการสอบเทียบปริมาตรด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก	51
6	ระบบโหลดเซล (Loadcell system) ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ	59
7	โหลดเซลในเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Load Cells in Electronic Weighing Instruments)	65
8	ศัพท์ในการวัดสำหรับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Vocabulary in Measuring System for Legal Metrology)	81
9	ข้อกำหนดและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามชนิดโลหะแบบที่คอมีขีดขั้นหมายมาตราแสดงปริมาตร (Specifications and Maximum Permissible errors for Graduated Neck Type Volumetric Field Standards)	97
10	หน่วยมูลฐาน 7 หน่วย (Definitions of the Base Units)	125
11	ความเร่งแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration)	129
12	ความหนาแน่นอากาศ (Air Density)	135
13	พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ (Determination of Mass in Practice) ตอนที่ 1	143

14	พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ (Determination of Mass in Practice) ตอนที่ 2	147
15	พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ (Determination of Mass in Practice) ตอนที่ 3	153
16	พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ (Determination of Mass in Practice) ตอนที่ 4	161
17	ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Verification standards for non-automatic weighing instrument)	175
18	ค่าความหนาแน่นของเหลวในเทอมของ API degree (Gravity in term of API number)	185
19	ความหนาแน่นของน้ำและความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ (Water Density and Absolute Viscosity of Water)	209
20	ตารางปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ (International alcoholometric tables)	219
21	ข้อมูลของมาตรวัดของเหลวที่ควรทราบ (Flowmeter Specifications)	227
22	เครื่องชั่งใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง (Weighing Instrument for direct sale to the public)	239
23	การเลือกเครื่องชั่งที่เหมาะสมกับการบรรจุสินค้าหีบห่อในหน่วยน้ำหนัก	251
24	ระบบท่อและคุณสมบัติของท่อที่ใช้งานในระบบมาตรวัด (Piping System and Properties of Pipe)	269
25	ทางเข้าและทางออกเครื่องชั่งน้ำหนักรถยนต์บรรทุกควรเป็นอย่างไร	289
26	เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกควรมีจำนวนชั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) เท่าใดจึงเหมาะสม	293
27	เครื่องชั่งกับใบรับรองรายงานผลการทดสอบ (Certification Report)	299
28	การชั่งน้ำหนักด้วยอิเล็กทรอนิกส์และการประมวลผล ตอนที่ 1	305
29	การชั่งน้ำหนักด้วยอิเล็กทรอนิกส์และการประมวลผล ตอนที่ 2	317

30 คำนิยามและความเป็นมาของหน่วยมวล (Definition and Realisation of the Unit of Mass) 329

31 การเลือกโหลดเซลให้สอดคล้องกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Load Cell Matching Non-automatic Weighing Instrument) 341

หนังสืออ้างอิง (Bibliography) 357

ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย

สำนักชั่งตวงวัด

เดิมทีเดียวในประเทศไทยใช้วิธีชั่งตวงวัดกันหลายอย่าง ของไทยเองบ้าง ของจีนบ้าง ของฝรั่งบ้าง ต่างว่าเห็นสะดวกหรือเหมาะอย่างไหนก็ใช้อย่างนั้น นอกจากนี้ในอย่างหนึ่งๆ ก็มีพิกัดอัตราไม่แน่นอน การใช้วิธีชั่งตวงวัด ชื่อต่างพิกัดอัตรากันนี้เป็นเครื่องขัดขวางความเจริญในการค้าขาย อีกทั้งเมืองไทยขณะนั้นยังไม่มีกฎหมายควบคุมแต่อย่างใด เกิดความยุ่งยากในเรื่องการซื้อขายข้าวเปลือก ข้าวสาร เพราะเป็นอาหารประจำวันรวมทั้งการค้าขายสินค้าอื่นๆ ก็เจริญมากขึ้นมีการค้าระหว่างหัวเมืองและกับต่างประเทศ ฉะนั้น พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวจึงมีพระราชปรารภที่จะวางระเบียบการชั่งตวงวัดของประเทศขึ้นให้เป็นหลักฐาน ด้วยงานชั่งตวงวัดเป็นเรื่องของการค้าขาย จึงตกเป็นหน้าที่ของกระทรวงเกษตรพาณิชยการที่จะวางระเบียบในเรื่องนี้ เจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรีซึ่งเป็นเสนาบดีว่าการกระทรวงเกษตรพาณิชยการได้คิดที่จะใช้วิธีมาตราเมตริก เมื่อปี พ.ศ. 2440 แต่ไม่เป็นผลสำเร็จ ต่อมาในปี พ.ศ. 2443 สมัยเจ้าพระยาเทเวศน์วงษ์วิวัฒน์เป็นเสนาบดีกระทรวงเกษตราธิการ ได้ยกร่างพระราชบัญญัติอัตราถังและทะนาน ร.ศ. 119 (พ.ศ. 2444) ซึ่งเป็นเอาเฉพาะการตวงขึ้นมาพิจารณาเพราะเหตุว่าประเทศสยามมีสินค้าข้าวที่จะต้องตวง ซื้อตวงขายเป็นสินค้าสำคัญ ขึ้นทูลเกล้าฯ ถวาย ในครั้งนั้นสภาเสนาบดีได้ประชุมกันพิจารณาเห็นว่า เมื่อจะแก้ไขแล้วก็ควรจะได้รวมการชั่งและการวัดเข้าไว้ด้วย ในการพิจารณาครั้งนี้ท่านเจ้าพระยาอภัยราชา (M. Rolin Jacqumyns) ที่ปรึกษาราชการแผ่นดินกับนายชเลสเซอร์ที่ปรึกษากฎหมายได้เสนอให้ใช้วิธีเมตริกและได้แก้ไขร่างพระราชบัญญัติวัดตวงและชั่ง ร.ศ.119 ขึ้นใหม่ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงโปรดให้ตั้งคณะกรรมการขึ้นในปี พ.ศ. 2445 เพื่อพิจารณาว่าประเทศไทยควรจะใช้วิธีชั่งตวงวัดใดเป็นมาตรฐานเดียวกันจึงจะเหมาะสม คณะกรรมการที่ทรงแต่งตั้งขึ้นได้ทำรายงานทูลเกล้าฯ ถวายเมื่อปี พ.ศ. 2448 ว่าควรใช้วิธีเมตริก แต่กระนั้นร่างพระราชบัญญัติดังกล่าวก็

ไม่ได้มีผลบังคับใช้แต่อย่างใด เรื่องชะงัดไปอีกคราวหนึ่งจนถึง พ.ศ.2452 กระทรวงเกษตราธิการซึ่งในขณะนั้นเจ้าพระยาวงศานุประพันธ์เสนาบดีเป็นเสนาบดีกระทรวงได้ทำการติดต่อกับสำนักชั่งตวงวัดระหว่างประเทศเพื่อขอเข้าเป็นสมาชิก พร้อมกันนั้นก็ได้ทำหนังสือกราบบังคมทูลพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ว่าเห็นควรที่ประเทศสยามจะเข้าร่วมสัญญาสากลชั่งตวงวัดในวิธีเมตริกในปี พ.ศ. 2452 ในปีเดียวกันในการนี้พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เสนาบดีกระทรวงมหาดไทย เสนาบดีกระทรวงพระคลังและเสนาบดีกระทรวงนครบาลประชุมปรึกษากันทำความเห็นในเรื่องนี้อีกครั้งหนึ่ง ที่ประชุมทูลเกล้าฯ ถวายรายงานความเห็นเมื่อ พ.ศ. 2454 ว่าประเทศไทยเราควรเข้าเป็นสมาชิกเพื่อรับเอาวิธีเมตริกมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบชั่งตวงวัดของประเทศสอดคล้องต้องกันกับประเทศอนารยะ ทั้งหลายรวมทั้งสภาพการติดต่อค้าขายของภูมิภาคและของโลก และได้ทรงพิจารณาเห็นชอบด้วย กระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอกรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสนาบดีกระทรวงจึงได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ถูกก่อตั้งด้วยความร่วมมือของ 17 ประเทศก่อตั้งเมื่อ ค.ศ. 1875 (พร้อมกับจัดตั้งหน่วยงานรองลงมาเพื่อปฏิบัติงานอีก 3 หน่วยงานได้แก่ General Conference on Weights and Measures; (CGPM), คณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee on Weights and Measures; CIPM) และสำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM)) ที่ประเทศฝรั่งเศส ประเทศไทยได้เข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริกและรับเอาวิธีเมตริกมาเป็นหลักการชั่งตวงวัดของประเทศเมื่อ พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) เป็นต้นมาจนถึง พ.ศ. 2543 โดยสำนักชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์เป็นผู้ตั้งงบประมาณประจำปีเพื่อจ่ายค่าสมาชิกประจำปีให้กับ BIPM

ต่อมาเมื่อตั้งสภาเผยแพร่พาณิชย์และกระทรวงพาณิชย์ขึ้นก็โอนงานชั่งตวงวัด มาขึ้นกับสภาเผยแพร่พาณิชย์เมื่อ พ.ศ. 2463 แล้วจึงได้มีพระบรมราชโองการประกาศให้ตราพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดขึ้นใช้เป็นครั้งแรกเมื่อ

พ.ศ. 2466 ♣(1) ในการตราพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 ได้ทรงมีพระราชปรารภไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

"พระบาทสมเด็จพระรามาธิบดีศรีสินทรมหาวชิราวุธ พระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชดำริห์ว่า พระราชอาณาจักรสยามในเวลานี้ยังไม่มีวิธีชั่งตวงวัดเป็นสมานรูป ซึ่งกำหนดเป็นแบบมาตราและบัญญัติเป็นกฎหมาย สมควรจะมีวิธีเช่นที่กล่าวนี้ขึ้น

อนึ่ง วิธีชั่งตวงวัดของประเทศสยามนั้น ควรอนุโลมตามวิธีแห่งนานาประเทศสุดแต่จะสมกับความประสงค์ภายในพระราชอาณาจักร และวิธีเมตริกนั้นปรากฏว่าได้ใช้กันไพศาลแล้ว

จึงมีพระบรมราชโองการดำรัสเหนือเกล้าฯ สั่งว่า วิธีชั่งตวงวัด ของประเทศสยาม นั้นให้เป็นวิธีเมตริก กับให้รวมจำนวนหน่วยที่เป็นประเพณีบางอย่างซึ่งได้ดัดแปลงเข้า หาวิธีเมตริกนั้นแล้วเพิ่มขึ้นชั่วกาลที่จำเป็นยังจะต้องใช้ เพื่อประสพความประสงค์ของภูมิประเทศ"

พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พระพุทธศักราช 2466 มีผลบังคับใช้มาตั้งแต่วันที่ 17 ธันวาคม 2466 โดยมอบหมายให้เสนาบดีกระทรวงพาณิชย์เป็นเจ้าหน้าที่ จัดการทั้งปวงตามพระราชบัญญัตินี้ ต่อมาภายหลังที่ได้มีประกาศพระบรมราชโองการ ตั้งกรมทะเบียนการค้าขึ้นในกระทรวงพาณิชย์เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2466 แล้ว ในปีถัดมาเมื่อวันที่ 13 กันยายน พุทธศักราช 2467 จึงได้มีการประกาศกฎเสนาบดีออกตามความในพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 ขึ้นเป็นฉบับแรก โดยได้กำหนด ให้จัดตั้งสำนักงานกลางขึ้นในกระทรวงพาณิชย์ และให้อยู่ในความบังคับบัญชาของอธิบดีกรมทะเบียนการค้า การบริหารงานชั่งตวงวัดจึงสังกัดอยู่ในกรมทะเบียนการค้ามาตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

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

แต่กระนั้นบางในรายงานก็ได้กล่าวถึงการบังคับใช้พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดว่าได้มีการยืดระยะการบังคับใช้ออกไปอีก 5 ปีบ้างหรือ 10 ปีบ้างทั้งนี้ก็เพื่อเว้นช่วงระยะเวลาดังกล่าวเพื่อทำความเข้าใจตลอดจนเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจกับประชาชนก่อน

พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัดที่ประกาศใช้ในครั้งแรกนี้ได้เปลี่ยนแปลงประเพณีการชั่งตวงวัดของคนไทยที่เคยใช้ติดต่อกันมาเป็นเวลาช้านาน มีบทเฉพาะกาลอนุญาตให้ใช้วิธีประเพณีตามที่เคยใช้อยู่ต่อไปอีกได้โดยไม่ผิดกฎหมายอีกระยะหนึ่งเว้นเสียแต่ผู้ใดมีความประสงค์ที่จะใช้วิธีชั่งตวงวัด หรือเครื่องชั่งเครื่องตวง เครื่องวัดตามพระราชบัญญัติที่ตั้งขึ้นก่อนก็จะต้องปฏิบัติตามกฎหมายให้ถูกต้อง กรมทะเบียนการค้าซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารให้เป็นไปตามความประสงค์ของกฎหมายจำเป็นต้องรีบดำเนินการโดยมิให้กระทบกระเทือนถึงความเดือดร้อนของประชาชนด้วย ภายหลังที่ได้จัดตั้งสำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัดขึ้นแล้ว ได้รับสมัครรับข้าราชการ และทำการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้มีความรู้งานชั่งตวงวัด ซึ่งเป็นของใหม่เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นผู้สอบมาตรา นายตรวจมาตราชั่งตวงวัด และนายทะเบียน ปฏิบัติงานทั้งในสำนักงานกลางและออกปฏิบัติงานในท้องถิ่นต่างๆ เพื่อแนะนำชี้แจงให้ประชาชนเข้าใจวิธีการชั่งตวงวัดตามกฎหมายที่ออกมาใหม่ ซึ่งรวมไปถึงการจัดซื้อแบบมาตราชั่งตวงวัด การจัดทำเอกสารเผยแพร่แจกจ่ายประชาชนให้มีความรู้ความเข้าใจ

ในระยะนั้นเจ้าหน้าที่จะต้องเดินทางรอนแรมออกไปแนะนำชี้แจงแก่พ่อค้า ประชาชนทุกท้องที่ทั่วประเทศไทย นับว่าได้รับความลำบากกันมิใช่น้อย เนื่องจากบ้านเมืองยังไม่เจริญ การคมนาคมก็ไม่สะดวกเหมือนในปัจจุบัน การประชาสัมพันธ์ก็กระทำได้ยากต้องใช้ติดประกาศตามย่านชุมนุมชนที่ว่าการอำเภอและตามวัด เพราะวิทยุกระจายเสียงก็ยังไม่มีแพร่หลาย

สำหรับทางด้านส่วนราชการต่างๆ ก็ได้ขอความร่วมมือให้ใช้วิธีชั่งตวงวัดให้ถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อเป็นการชักนำประชาชนให้เข้าใจและปฏิบัติตามด้วย เช่น การเรียกหน่วยความยาวของทางรถไฟ ถนนหนทาง คูคลองต่างๆ เรียกเป็นจำนวนกิโลเมตร หรือในการออกโฉนดที่ดินที่ยังคงใช้มาตราประเพณีสำหรับ

พื้นที่ดิน ไร่นา เป็นไร่ งาน เส้น วา ศอก ก็ให้เทียบเข้าหาวิธีเมตริกตามที่กำหนดไว้ในอัตราเทียบกฎหมาย

ปัญหาที่สำคัญก็คือกฎหมายบังคับใช้แล้ว แต่เครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัด ที่ถูกต้องตามกฎหมายยังไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากเครื่องชั่งตวงวัดที่ผลิตได้ ภายในประเทศมีเฉพาะเครื่องตวงบางชนิด เช่น สัดหลวง (20 ลิตร) ทะนาน (1 ลิตร) และเครื่องวัดความยาวบางชนิด เช่น ไม้วา ไม้เมตร เท่านั้น ส่วนเครื่องชั่งยังไม่มีผู้ใดผลิตขึ้นจำหน่ายเลยต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศครั้งแรก มีผู้สั่งเครื่องชั่งชนิดที่ 3♣[(2)] ที่มีลักษณะเป็นแบบชั่งจีนแต่คันชั่งเป็นเหล็ก แล้วต่อมาก็มีผู้ผลิตเครื่องชั่งจีนขึ้น โดยใช้ไม้แก้ไขดัดแปลงให้มีลักษณะถูกต้องตามกฎกระทรวงที่กำหนด สำหรับเครื่องชั่งชนิดอื่นๆ ยังคงสั่งเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น เช่น เครื่องชั่งทอง เครื่องชั่งเพชรพลอย เครื่องชั่งยา เครื่องชั่งที่ชั่งน้ำหนักมากๆ ที่ใช้ตามโรงสี โรงงานอุตสาหกรรม เพราะยังไม่มีผู้ผลิตขึ้น สำหรับการค้าขายแลกเปลี่ยนสินค้าของประชาชนทั่วไปยังคงเป็นไปตามปกติ ส่วนใหญ่เป็นผลิตผลทางการเกษตร นิยมใช้วิธีตวงเกือบทั้งสิ้น ส่วนผลไม้ก็ใช้วิธีนับจำนวนหรือขายเหมากัน

จนเวลาได้ล่วงเลยมาเกือบ 10 ปี ประชาชนเข้าใจวิธีการชั่งตวงวัดตามกฎหมายกันเป็นส่วนมากแล้ว และมีผู้สั่ง ผู้ทำ ผู้ขาย ผู้ซ่อมเครื่องชั่งตวงวัดได้เริ่มขออาชญาบัตร เพื่อประกอบธุรกิจเป็นการสนับสนุนการใช้เครื่องชั่งตวงวัดพอสมควรแล้ว กรมทะเบียนการค้าจึงได้เสนอกระทรวงพาณิชย์ดำเนินการออกประกาศพระราชกฤษฎีกา บังคับใช้วิธีมาตราชั่งตวงวัดและจำนวนหน่วยกับเครื่องชั่ง เครื่องตวง เครื่องวัด ตามพระราชบัญญัติ พระพุทธศักราช 2466 ขึ้นเป็นครั้งแรกในเขตกรุงเทพฯ มณฑลราชบุรี มณฑลปราจีนบุรี เมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2475 และภายหลังต่อมาก็ได้ขยายเขตการบังคับใช้กฎหมายโดยออกเป็นพระราชกฤษฎีกาอีกหลายคราวด้วยกันจนครบทุกจังหวัดทั่วราชอาณาจักร เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2479 รวมเวลาที่กรมทะเบียนการค้าได้ดำเนินการเผยแพร่การเปลี่ยนแปลงวิธีการชั่งตวงวัดตามประเพณีที่ใช้กันอยู่ตามประเพณีท้องถิ่น

♣[(2)]การแบ่งเครื่องชั่งตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ.2466

ต่างๆ ให้มาใช้วิธีตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด และเตรียมการบริหารงานอยู่เป็นเวลาถึง 13 ปีเศษ

เมื่อได้มีประกาศพระราชกฤษฎีกาบังคับใช้กฎหมายชั่งตวงวัดแล้วนั้นในปีเดียวกันก็ได้จัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดขึ้นในภาคใต้ก่อนที่จังหวัดสงขลาเมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2479 และรุ่งขึ้นอีกหนึ่งปีจึงได้จัดตั้งสำนักงานสาขามาตราชั่งตวงวัดขึ้นทางภาคเหนือที่จังหวัดลำปาง เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2480 ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้จัดตั้งขึ้นที่จังหวัดอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2482 ทั้งนี้เพื่อช่วยควบคุมการบริหารงานชั่งตวงวัดในส่วนภูมิภาคให้เรียบร้อย สำหรับในส่วนกลางก็ได้จัดการปรับปรุงงานเพิ่มอัตรากำลังเจ้าหน้าที่สั่งแบบมาตราเครื่องชั่ง 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 พุทธศักราช 2515 แก้ไขเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องของสินค้าหีบห่อ โดยเพิ่มเติมคำจำกัดความของคำว่า "สินค้าหีบห่อ" และ "บรรจุ" เพิ่มเติมอำนาจของรัฐมนตรีให้มีอำนาจกำหนดวิธีการซื้อขายสินค้า กำหนดวิธีการแสดงปริมาณของสินค้าหีบห่อและกำหนดขนาดการบรรจุของสินค้าหีบห้อ รวมทั้งกำหนดอำนาจหน้าที่ของเจ้าพนักงานในการควบคุมสินค้าหีบห่อ และกำหนดโทษผู้ฝ่าฝืนกฎหมายในเรื่องเกี่ยวกับสินค้าหีบห่ออีกด้วย

(4) พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2526 แก้ไขโดยการเพิ่มโทษแก่ผู้กระทำความผิดในเรื่องเครื่องชั่ง เครื่องตวง และเครื่องวัด รวมทั้งการกระทำความผิดในเรื่องสินค้าหีบห่อให้สูงขึ้น

ส่วนกฎกระทรวงที่ออกตามกฎหมายนั้น ปรากฏว่าได้มีการออกบังคับใช้รวมทั้งสิ้น 8 ฉบับ ด้วยกัน

ในวันที่ 16 มกราคม ปี พ.ศ. 2538 กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า ในนามของประเทศได้สมัครเข้าเป็นสมาชิกกับ OIML (International Organization of Legal Metrology) ประเภทสมาชิกสมทบ (Corresponding Member) ซึ่งเป็นองค์กรที่ได้รับความน่าเชื่อถือในด้านงานชั่งตวงวัดในเชิงพาณิชย์ (Legal Metrology) เป็นอย่างสูง จนถึงกระทั่งปัจจุบัน

กองชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์ ได้เสนอร่างพระราชบัญญัติชั่งตวงวัด พ.ศ. ... ต่อรัฐสภาแห่งประเทศเพื่อพิจารณา และร่างพระราชบัญญัติดังกล่าวได้ผ่านการพิจารณาที่ประชุมแห่งสภาทั้งสองคือสภาผู้แทนราษฎรและวุฒิสภา โดยมีมติเห็นชอบร่างดังกล่าวเมื่อวันศุกร์ที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 ตามมาตรา 175 (3) ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย และได้นำขึ้นทูลเกล้าฯ ถวายเพื่อพระมหากษัตริย์ทรงลงพระปรมาภิไธย และทรงลงพระปรมาภิไธยเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2542 และมีผลบังคับใช้หลังจากประกาศในพระราชกฎีกา ฉบับกฤษฎีกา เล่ม 116 ตอนที่ 29ก วันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2542 เป็นเวลา 180 วัน ตามความในมาตรา 93 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย ซึ่งจะมีผลบังคับใช้ ตั้งแต่วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2542 เป็นต้นไป

งานด้านชั่งตวงวัดนับเป็นงานที่เป็นพื้นฐานและรากฐานของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมงานหนึ่งที่ไม่อาจมองข้ามไปได้ เนื่องจากหากประเทศใดที่มีระบบงานชั่งตวงวัดไม่เข้มแข็งแล้วก็เป็นการยากที่ประเทศนั้นสามารถรักษาผลประโยชน์ของประเทศตนเองได้ในเวทีการค้าขายและอุตสาหกรรมของโลกตลอดจนการถ่ายทอดเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม งานด้านการแพทย์สาธารณะสุขเป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันผู้ผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรมเริ่มได้ผลกระทบจากการกีดกันทางการค้าในรูปแบบของต้อง เป็นไปตามข้อกำหนดตาม ISO มากขึ้น ซึ่งงานชั่งตวงวัดก็เป็นเรื่องหนึ่งในข้อกำหนดดังกล่าวด้วยเช่นกัน

ควรเลือกถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) อย่างไร ให้เหมาะสมกับงานสอบเทียบ

เนื่องจากในการสอบเทียบมาตรวัดที่ใช้สำหรับการซื้อขายไม่ว่าจะเป็นมาตรวัด (meters) ที่อยู่ประจำท่าเทียบรถสำหรับจ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมทางรถ (Loading Rack) หรือมาตรวัดสำหรับขายน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการ รวมทั้งมาตรวัดทั่วไปซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป หรือมีอัตราการไหล (flowrate) ไม่เกิน 3,000 ลิตร/นาที การเลือกใช้ถังตวงแบบมาตรา (Prover Tanks) เป็นแบบมาตราจึงเป็นเรื่องที่น่าพิจารณามากที่สุด ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาต้นทุนของแบบมาตรา หรือความแม่นยำเที่ยงตรงของการใช้งานด้วยเหตุผลที่ว่าเราได้ทำการเปรียบเทียบจากระบบการวัดที่เป็นแบบไดนามิกส์ (dynamic measuring) เทียบกับการวัดแบบสแตติกส์ (static measuring) ส่วนในแง่ของการจัดการและระบบควบคุมการทำงานของถังตวงแบบมาตราเองก็ไม่ซับซ้อนแต่อย่างไร

ในที่นี้เราจะไม่ลงลึกถึงวิธีการนำถังตวงแบบมาตราไปใช้งานการสอบเทียบ แต่จะพิจารณาถึง ขนาดของถังตวงแบบมาตรา, เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา, ขั้นหมายมาตรา (Scale Plate), ความรู้สึก(Sensitivity), การพิจารณาค่าความหนืดของเหลวที่ใช้กับถังตวงแบบมาตรา, ตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor Placement)

ขนาดของถังตวงแบบมาตรา (Capacity of Prover Tank)

พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราเพื่อใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรองระบบมาตรวัดของเหลวหรือใช้ในการตวงเปรียบเทียบกับเครื่องตวงที่ใช้งานอยู่ต้องมีขนาดพิกัดความจุให้เหมาะสมกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดและปริมาณของเหลวที่ทดสอบอีกทั้งวัสดุที่ใช้กับของเหลวนั้นๆ ต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือสิ่งแวดล้อม สำหรับการเคลือบผิวภายในเครื่องตวงแบบมาตรา

อาจกระทำได้แต่ต้องกระทำด้วยวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งานสารเคลือบผิว (lining material) ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับของเหลวที่ใช้งาน ในการเรียกเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้งานอาจจะพอแยกแยะชื่อตามพิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตราดังกล่าวได้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตรา

ชนิดแบบมาตรา	**พิกัดความจุ (Nominal capacity ; L)**
Standard flasks	0.1 – 0.2 – 0.5
	1 – 2 – 5 – 10
Standard test measures	5 – 10 – 20
Proving tanks	20 or more

นั่นคือเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures) ที่ใช้ในภาคสนามมีขนาดพิกัดกำลัง 5 ลิตร, 10 ลิตร และ 20 ลิตร สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ (Proving tanks) ที่ใช้ในภาคสนามมีขนาดพิกัดกำลัง 50 ลิตร, 100 ลิตร, 200 ลิตร, 500 ลิตร, 1,000 ลิตร, 2,000 ลิตร, 3,000 ลิตร และ 5,000 ลิตร โดยเฉพาะเครื่องตวงขนาดใหญ่ ขนาด 5,000 ลิตร เป็นเครื่องตวงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่มีและพอที่จะทำการเคลื่อนย้ายได้โดยสามารถติดตั้งบนรถบรรทุกหรือรถพ่วง ได้ในแนวตั้ง แต่อย่างไรก็ตามในบางประเทศหรือบางหน่วยงานอาจมีการออกแบบถังตวงแบบมาตราพิเศษที่มีขนาดพิกัดความจุมากกว่า 5,000 ลิตร โดยติดตั้งบนรถบรรทุกชนิดลาก (Trailer) ในที่นี้เพื่อป้องกันความสับสนเราก็จะขอเรียกทั้งเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures) และเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ (Proving tanks) ว่า "ถังตวงแบบมาตรา"

ดังนั้นการเลือกใช้ขนาดและความแม่นยำของถังตวงแบบมาตราจึงมีความจำเป็นและสำคัญ ในการพิจารณาอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องตวงแบบมาตราจึงกำหนดไว้ว่า *"ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้*

คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ± 1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น"
แต่ทั้งนี้ปริมาตรที่ทดสอบนั้นต้องมีค่ามากกว่าปริมาตรน้อยที่สุดที่วัดได้ (Minimum Measured Quantity of Measuring System) แต่อย่างไรก็ตามเราอาจเลือกให้ถังตวงแบบมาตรามีค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดน้อยกว่า ±1/5 เท่า เช่น มีค่าเท่ากับ ±1/10 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบ หรือ ปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบก็สามารถกระทำได้แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องคำนึงถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอีกทั้งต้องระลึกว่าเป็นการกระทำเกินความจำเป็นหรือไม่

ในขณะเดียวกันถังตวงแบบมาตราชั้นสูงกว่า (secondary standard) ซึ่งใช้เพื่อทำการสอบเทียบถังตวงแบบมาตราต่ำลงมา (working standard) ต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกินกว่า ±1/5 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตรา (working standard)

ตัวอย่าง 1 ถังตวงแบบมาตรา (working standard) ที่มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ ±0.1% ของพิกัดความจุ ต้องใช้ถังตวงแบบมาตราชั้นสูงกว่า (secondary standard) เพื่อนำมาใช้สอบเทียบถังตวงแบบมาตรา (working standard) มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่าใด

ถังตวงแบบมาตราชั้นสูงกว่า (secondary standard) มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกิน ±1/5×0.1 % = ± 0.02%

หากถังตวงแบบมาตราชั้นสูงกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (Capacity) 20 L และมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ ± 0.02% ของพิกัดความจุซึ่งมีค่าเท่ากับ ±4 ml ***ANS***

เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The neck diameter of Prover Tank)

เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราต้องกว้างเพียงพอ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการล็อกของของเหลวหรืออากาศ (Vapor Lock) ขณะใส่ของเหลวลงไปหรือถ่ายของเหลวออกอีกทั้งต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับการทำความสะอาดและตรวจสอบภายในถังตวงแบบมาตราได้ แต่ขณะเดียวกันขนาดของคอถังตวงแบบมาตราก็ต้องมีขนาดเล็กเพียงพอต่อการวัดปริมาตรด้วยความเที่ยงตรงตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด อีกทั้งมีความไวและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราได้รวดเร็วและง่ายต่อการอ่านค่าปริมาตรภายในถังตวงแบบมาตรา ในแง่ของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราให้ได้ระดับก็จำเป็นต้องให้ความสนใจเช่นกันเนื่องจากหากคอถังใหญ่เกินไปผลผิดของการอ่านค่าเนื่องจากอิทธิพลของความลาดเอียงของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราก็มีผลมากกว่าถังตวงแบบมาตราที่มีคอถังขนาดเล็กกว่า ดังนั้นอาจพอกำหนดได้ว่า *"ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอเครื่องตวงแบบมาตราอย่างน้อยที่สุด 3 มม. จะต้องมีค่าเท่ากับค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราที่พิกัดนั้น ๆ"* ก็สามารถกระทำได้

แต่เนื่องจากการกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราเป็นเรื่องที่มีความยืดหยุ่นเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราที่เป็นการออกแบบปกติทั่วไปนั้นพอกำหนดให้มีขนาดได้ในช่วงกว้างช่วงหนึ่งดังนี้คือ

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

เมื่อ

Δh = ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอถังตวงแบบมาตรา (mm.)

MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

ตัวอย่าง 2 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังตวงแบบมาตราที่มีขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 200 ลิตรควรมีขนาด ? เพื่อใช้ตรวจสอบตัวมาตรวัดปริมาตรของ เหลวชั้นความเที่ยง 0.5 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% ก่อนถูกติดตั้งเข้ากับระบบการวัดปริมาตรของเหลว

เนื่องจากใช้ตรวจสอบตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% จากที่ว่า "ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น" ดังนั้นอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 20 ลิตรมีค่าเท่ากับ

	±0.3%×(1/5)	= ±0.06%
หรือ	±0.06%×200 ลิตร	= ±120 ml.

จากสูตร

ปริมาตร ΔV = พื้นที่หน้าตัดคอถังตวงแบบมาตรา × ความสูงของคอถังตวงแบบมาตรา (Δh)

และใช้ความสัมพันธ์

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

โดยในที่นี้เราเลือกเงื่อนไขที่ 5 mm.

$$\frac{\Delta h}{\Delta V} = \frac{5\,\text{mm.}}{\text{MPE.}} = \frac{5\,\text{mm.}}{120\,\text{ml.}}$$

เมื่อ 1 ml. = 1 cm^3 = 1000 mm^3

ดังนั้น 120 ml. = 120×10^3 mm^3

ดังนั้นเป็นการพิจารณาเงื่อนไขที่ $\frac{5\,\text{mm.}}{\text{MPE.}}$

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

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

$$D^2 = \frac{120\times10^3}{5} \times \frac{4}{\pi} = 30557.75$$

$$D = 174.81 \quad \text{mm.}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 200 ลิตรมีขนาดเท่ากับ 174.81 มิลลิเมตร

พิจารณาเงื่อนไขที่ $\frac{30\,\text{mm.}}{\text{MPE.}}$

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

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

$$D^2 = \frac{120 \times 10^3}{30} \times \frac{4}{\pi} \quad = \quad 5092.96$$

$$D \quad = 71.36 \quad \text{mm.}$$

ในกรณีนี้เราได้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 20 ลิตรมีขนาดเท่ากับ 71.36 มิลลิเมตร อาจถือว่ามีขนาดเล็กเกินไปและอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานในทางปฏิบัติจึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรหรือผู้รับผิดชอบที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างประกอบ เช่นของเหลวมีฟองมากเกินไปหรือไม่, วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่สำหรับจัดทำถังตวงแบบมาตรา, ความสะดวกของการอ่านค่าบริเวณคอถังตวงแบบมาตรา, ความไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเหลวภายในถังตวงแบบมาตรา เป็นต้น ***Ans.***

***ขั้นหมายมาตรา* (Scale Plate)**

แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ของตัวถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±1% ของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา สำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านล่าง (bottom neck) ของถังตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ควรสามารถแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±0.5% ของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา

หรืออาจจะพิจารณาให้แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ต้องแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยจาก 5 ถึง 30 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราก็สามารถกระทำได้

ตัวอย่าง 3 ถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 10 ลิตรใช้ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% ในกรณีที่ยังไม่ถูกติดตั้งเข้าระบบการวัดปริมาตร แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราชนิดอยู่ด้านบนถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงได้กี่มิลลิลิตร

ดังนั้นอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 10 ลิตรมีค่าเท่ากับ $\pm 0.3\% \times (1/5) = \pm 0.06\%$ หรือ $\pm 0.06\% \times 10$ ลิตร $= \pm 6$ ml.

เมื่อเลือกเงื่อนไขของการแสดงปริมาตรของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรามีค่าเท่ากับ 12 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตรา แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอเครื่องตวงแบบมาตราอยู่ด้านบน (top neck) ต้องแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยเท่ากับ

$$12 \times (\pm 6 \text{ ml}) = \pm 72 \text{ ml}$$

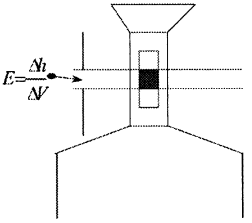
นั้นคือ แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราต้องแสดงขั้นหมายมาตราด้วยปริมาตร 72 ml เหนือและใต้ขีดแสดงพิกัดความจุถังตวงแบบมาตราที่มีค่าเท่ากับ 10 ลิตร ***Ans.***

ความรู้สึก (Sensitivity)

ความรู้สึก (Sensitivity) ของถังตวงแบบมาตรา คือ สัดส่วนความกว้างของสเกลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเหลว

$$E = \frac{\Delta h}{\Delta V}$$

จากความสัมพันธ์ของสมการข้างบนนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อความรู้สึกมีค่าสูงนั้น หมายถึงการเปลี่ยนระดับของเหลวภายในถังตวงแบบมาตรามีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาตรของเหลวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงภายในคอของถังตวงแบบมาตรา ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย สำหรับข้อดี ทำให้เราสามารถตรวจสอบและอ่านค่าปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง ในปริมาณน้อยได้อย่างถูกต้องแม่นยำ, ไม่มีความไวต่อการตอบสนองของการวางหรือติดตั้งถังตวงแบบมาตราในที่ที่ไม่ได้ระดับที่ถูกต้องสมบูรณ์ เป็นต้น ข้อเสีย เช่นยากต่อการทำความสะอาดถังตวงแบบมาตรา, ไม่สามารถระบายอากาศออกจากถังตวงแบบมาตราได้ทันเมื่อใส่ของเหลวเข้าถังตวงในกรณีที่ของเหลวมีฟองมาก ส่งผลให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเกิดปัญหาของการล็อกของของเหลวหรืออากาศ (Vapor Lock) ได้ง่าย



การพิจารณาค่าความหนืดของเหลวที่ใช้กับถังตวงแบบมาตรา

เนื่องจากความหนืดของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวนับเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการกำหนดขนาด, ชนิดรวมทั้งรูปร่างลักษณะของถังตวงแบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลว ซึ่งถ้าหากไม่สามารถเปลี่ยนขนาด, ชนิดหรือรูปร่างลักษณะของถังตวงแบบมาตราได้แล้วจำเป็นต้องเปลี่ยนชนิดของเหลวสำหรับเป็นตัวกลางในการสอบเทียบที่มีค่าความหนืดแตกต่างไปจากเดิมเพื่อที่จะสามารถให้ดำเนินทำงานต่อไปได้

ข้อแนะนำในการเลือกถังตวงแบบมาตราสำหรับใช้ในการสอบเทียบมาตรวัดปริมาตรของเหลวหรือถังตวงใดๆ ให้เหมาะสมกับของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบเป็นไปตามตารางที่ 2 โดยต้องมีค่าดัชนีความหนืดสูงกว่าค่าในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบถังตวงแบบมาตรา

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัด หรือ ถังตวงแบบมาตราที่เราต้องการสอบเทียบ %	ดัชนีความหนืด $\left[\frac{V}{\nu\sqrt{\nu}}\right]_{min}$ l.s/mm^2
0.3	0.85
0.5	0.18
1.0	0.023

ตัวอย่าง 4 เราสามารถใช้ถังตวงแบบมาตราพิกัดความจุ 10 ลิตร (v) โดยใช้ของเหลวที่ที่มีความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) μ : 15 mPa.s และความหนาแน่นของเหลว ρ 0.8 kg/l เป็นของเหลวตัวกลางในการสอบเทียบมาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่ยอมให้ได้มีค่าเท่ากับ ± 0.5 % ได้หรือไม่

ความหนืดจลน์ (Kinematics Viscosity) $\nu = \frac{\text{Dynamic Viscosity; } \mu}{\text{Densidiy; } \rho}$

$$\nu = \frac{15 \text{ m.Pa.s}}{0.8 \ \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 18.75 \text{ mm}^2/\text{sec}$$

ตรวจสอบเงื่อนไข

$$\frac{V}{\nu * \sqrt{\nu}} = \frac{10}{18.75 * \sqrt{18.75}} = \frac{10}{81.2} = 0.123 \quad \text{l.s/mm}^2$$

$$0.123 \text{ l.s./mm}^2 \leq 0.18 \text{ l.s./mm}^2$$

จากการสอบตรวจพบว่าของเหลวที่เราใช้เป็นตัวกลางสำหรับการสอบเทียบมาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดสูงเกินไปที่ใช้กับถังตวงแบบมาตราขนาด 10 ลิตร จึงไม่อนุญาตให้ใช้ของเหลวชนิดดังกล่าว เนื่องจากอาจต้องใช้ระยะเวลาในการถ่ายของเหลวออกจากถังตวงแบบมาตรานานจนเกินไป หรือของเหลวอาจยังคงค้างอยู่ภายในถังตวงแบบมาตรามากจนเกินไปทำให้ผลการสอบเทียบในครั้งต่อ

มาให้ผลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ ให้เปลี่ยนชนิดของเหลวใหม่สำหรับใช้เป็นตัวกลาง

จากอัตราส่วนพิกัดความจุถังตวงแบบมาตราที่ใช้กับความหนืดจลน์ (Kinematics Viscosity) ν ของเหลวที่ใช้เป็นสารตัวกลางในตารางข้างบนนั้นพอสังเกตได้ว่ามาตรวัดชั้นความเที่ยง 0.5 และมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด 0.5 % นั้นมีอัตราส่วนระหว่างพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตรากับความหนืดนั้นเองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.18 l.s. / mm^2 ***Ans.***

ตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor Placement)

เมื่อเราต้องการหาค่าอุณหภูมิของเหลวซึ่งอยู่ภายในถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) เพื่อใช้ค่าอุณหภูมิดังกล่าวสำหรับการแก้ไขปรับค่าปริมาตรอันเนื่องจากอิทธิพลทางความร้อน (thermal effect) ซึ่งมีผลต่อของเหลวภายในถังตวงแบบมาตรา และวัสดุที่ใช้ทำถังตวงแบบมาตรา ดังนั้นโดยเฉพาะจำนวนและตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยจำนวนของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (temperature sensor) ที่ควรมีสำหรับถังตวงแบบมาตราทั้งชนิดที่มีฉนวนหุ้มและไม่มีฉนวนหุ้ม ดังนี้

- ถังตวงแบบมาตรา ตั้งแต่ขนาด 5 ลิตร จนถึง 500 ลิตร 1 จุด
- ถังตวงแบบมาตรา ตั้งแต่ขนาด 500 ลิตร จนถึง 2,000 ลิตร 2 จุด
- ถังตวงแบบมาตรา ตั้งแต่ขนาด 2,000 ลิตร ขึ้นไป 3 จุด

ในกรณีที่ทำการติดตั้งตัวตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 1 จุด ตำแหน่งที่ควรติดตั้ง ได้แก่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของถังตวงแบบมาตรา

ในกรณีที่ทำการติดตั้งตัวตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 2 จุด ให้ทำการแบ่งความสูงของถังตวงแบบมาตราออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้นติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 วัดจากส่วนปลายถังตวงแบบมาตราลงมาและติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 วัดจากส่วนล่างถังตวงแบบมาตราขึ้นไป

ในกรณีที่ทำการติดตั้งทำการวัดอุณหภูมิจำนวน 3 จุด ตำแหน่งที่ควรติดตั้งให้ทำการแบ่งความสูงของถังตวงแบบมาตราออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้นติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 ของความสูงวัดจากส่วนบนถังตวงแบบมาตราลงมา 1 ตำแหน่ง และตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของถังตวงแบบมาตรา 1 ตำแหน่ง และที่ระยะ 1 ใน 3 ของความสูงวัดจากส่วนล่างของถังตวงแบบมาตราขึ้นไป

สำหรับในกรณีที่ทำการติดตั้งตัวตรวจวัดอุณหภูมิมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป ระยะห่างของการติดตั้งของตัวตรวจวัดอุณหภูมิต้องแบ่งให้มีระยะห่างเท่าๆ กันในแต่ละระยะเส้นรอบวงของถังตวงแบบมาตราหรือหากต้องการติดตั้งที่เส้นรอบวงถังตวงแบบมาตราที่เส้นเดียวกันก็ให้แบ่งระยะห่างของเส้นรอบวงให้เท่าๆ กันด้วย

เป็นที่รู้กันและยอมรับว่าถ้าหากถังตวงแบบมาตราเป็นชนิดหุ้มฉนวน และ/หรือ รอบการทำการสอบเทียบเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ต้องอ่านผลการวัดอุณหภูมิอย่าง รวดเร็วด้วย การใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิเพียง 2 ตัวสำหรับถังตวงแบบมาตราที่มีขนาด มากกว่า 2,000 ลิตร ก็เพียงพอแล้ว

ระยะยื่นเข้าไปในถังตวงแบบมาตราของตัวตรวจวัดอุณหภูมิควรยื่นเข้าไปในถังตวงแบบมาตราไม่น้อยกว่า 30 ซม. แต่อย่างไรก็ตามส่วนของตัวตรวจวัดอุณหภูมิดังกล่าวจะต้องไม่ยื่นล้ำเลยจุดศูนย์กลางของถังตวงแบบมาตราอย่างเด็ดขาดเพื่อป้องกันเกิดการหมุนวนปั่นป่วน (Turbulent) ของของเหลวที่ไหลเข้าถังตวงซึ่งอาจทำให้ต้องรอคอยด้วยระยะเวลานานจนกว่าของเหลวจะอยู่นิ่งจนสามารถอ่านค่าได้ ในขณะเดียวกันหากผลต่างของอุณหภูมิของของเหลวภายในถังตวงแบบมาตรากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมยิ่งต่างกันมาก หากอ่านอุณหภูมิช้าเกินไปอุณหภูมิของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราก็ยิ่งมีโอกาสเปลี่ยนแปลง ส่วนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิของของเหลวกับสิ่งแวดล้อม ณ ขณะนั้น ที่เคยเจอพบว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 16°C อุณหภูมิน้ำภายในถังตวงแบบมาตราประมาณ 10°C หากอ่านอุณหภูมิภายในถังตวงแบบมาตราช้าไปประมาณ 1 นาที อุณหภูมิของเหลวเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5°C เป็นต้น

สำหรับถังตวงภาคสนาม (Field Standards) โดยปกติแล้วขนาดของถังตวงภาคสนาม (field standards) มีหลายขนาดจนถึง 50 ลิตร แล้วแต่ประเภทที่

ใช้งาน ดังนั้นการใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบจุ่มเข้าไปในจุดกึ่งกลางของถังตวงภาคสนาม (field standards) ผ่านคอหรือปากทางเข้าก็พอเป็นที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุนี้จึงควรเลือกใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว ในส่วนของการอ่านค่าปริมาณควรอ่านทันทีก่อนที่นำเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วจุ่มลงไปในถังตวงภาคสนาม (field standards) แต่ข้อควรระวังอีกอย่างหนึ่งก็คือ ต้องให้แน่ใจว่าไม่ได้อ่านค่าปริมาตรจากถังตวงภาคสนามขณะที่เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วจุ่มอยู่ และควรอ่านค่าปริมาตรที่วัดได้ก่อนแล้วรีบทำการวัดอุณหภูมิของเหลวภายในถังตวง

สำหรับถังตวงภาคสนาม (field standard) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นการวัดอุณหภูมิของเหลวภายในถังตวงภาคสนามปกติจะกระทำโดยจัดให้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ อยู่ภายในแนวทางการไหลของเหลวซึ่งถูกระบายออกจากถังตวงภาคสนามในตำแหน่งทันทีหลังจากของเหลวออกจากถังตวงภาคสนาม อย่างไรก็ตามอาจจะมีอีกหลายวิธีการที่จะหาอุณหภูมิของเหลวภายในถังตวงภาคสนาม (field standard) ตามความต้องการและขึ้นอยู่กับผลการวัดซึ่งมีเงื่อนไขการทำงานพิเศษ หรือแล้วแต่ผลของการวัดของตัวตรวจวัดอุณหภูมิเป็นเฉพาะๆ ชนิดไป แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นก็ต้องได้รับความเห็นชอบจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องด้วย

หากพิจารณาถึงช่องเสียบเครื่องวัดอุณหภูมิ (thermo well) ของถังตวงภาคสนาม (field standard) ซึ่งมีขนาดใหญ่ๆ ก็ควรติดตั้งตัวเรือนของตัวตรวจวัดอุณหภูมิเข้ากับตัวถังและมีสารหล่ออยู่ภายในช่องเสียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ทั้งนี้เพื่อให้มีการส่งผ่านความร้อน (heat transfer) ได้ดีและลดการสูญเสียความร้อนในการวัดอีกทั้งช่วยให้สามารถอ่านผลได้รวดเร็วขึ้นและใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเหลว ภายในถังตวงมากที่สุดอีกด้วย

ห้องปฏิบัติการทางมวลความเที่ยงสูง ควรเป็นอย่างไร

การที่จะมีห้องปฏิบัติการทางมวลความเที่ยงสูงนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดหาห้องและสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับงานที่ต้องดำเนินการหาค่าปริมาณทางฟิสิกส์กายภาพความเที่ยงตรงสูง ห้องดังกล่าวไม่ใช่เป็นห้องที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ทำงานได้เพียงชั่วคราวหรือการจัดการการใช้ห้องด้วยวัตถุประสงค์อื่นๆ ร่วมกับการใช้เป็นห้องปฏิบัติการทางมวลความเที่ยงสูง เช่นใช้เป็นห้องเก็บของ หรือห้องเก็บเอกสาร ห้องพักผ่อน หรือแม้เป็นห้องสมุดควบคู่กันไปก็เป็นอันไม่สมควรอย่างยิ่ง ในขณะเดียวกันเนื่องจากงานที่ต้องดำเนินการนั้นจำเป็นต้องมีระบบการจัดการทางด้านเอกสาร หรือมีการติดต่อระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับบุคคลภายนอก ดังนั้นควรจัดให้มีห้องสำหรับการเตรียมงานดังกล่าวแยกต่างหากออกไปอีกหนึ่งห้องถัดไปหรือแม้แต่ห้องที่ต้อง เตรียมมวลหรือตุ้มน้ำหนักที่ต้องการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการแกะกล่องเพื่อนำตุ้มน้ำหนักออกมา หรือไม่ว่าในกรณีที่ต้องทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักก็ควรแยกห้องออกจากห้องปฏิบัติการต่างหากไว้อีกห้องหนึ่ง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการทำงานสำหรับการออกรายงานผลการสอบเทียบหรืองานเอกสารทั้งหมดก็ควรดำเนินการแยกห้องออกไปอีกต่างหาก

เนื่องจากความถูกต้องและการตั้งอยู่บนมาตรฐานเดียวกันเป็นที่น่าเชื่อถือการดำเนินการวัดผลการสอบเทียบจึงต้องอยู่บนสภาวะจำเพาะเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่กระทำได้ ด้วยความจริงนี้เรามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้มีค่าที่แน่นอนคงที่ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ควรจะถูกนำมาพิจารณา เพื่อที่จะได้มาตรฐานทางเทคนิคมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ในการควบคุมสภาวะจำเพาะของการสอบเทียบ

1. ข้อกำหนดทั่วไปในการใช้งานของห้องปฏิบัติการทางมวล

- งานที่จะกระทำในห้องปฏิบัติการต้องเป็นงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการทดสอบหรือการปรับแต่งตุ้มน้ำหนักหรือเครื่องชั่ง

- ไม่ว่าในกรณีใดๆ ห้องปฏิบัติการทางมวลต้องไม่ใช้เป็นทางผ่านหรือเก็บของสำหรับการใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆ หรือใช้เป็นห้องปฏิบัติการสำหรับการทดสอบ อื่นๆ
- การทำความสะอาดของตุ้มน้ำหนักก่อนการสอบเทียบ การทำความสะอาดหรือการประทับตราที่กล่องตุ้มน้ำหนักหรือการประทับตราที่ตุ้มน้ำหนักต้องกระทำนอกห้องปฏิบัติการ
- งานด้านเอกสารหรือการจัดพิมพ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำใบรายงานผลหรือผลการสอบเทียบต้องกระทำนอกห้องปฏิบัติการทางมวล เพื่อป้องกันการก่อตัวของฝุ่นในห้องปฏิบัติการ
- ห้ามรับประทานอาหารหรือสูบบุหรี่ในห้องปฏิบัติการ

2. ขนาดของห้องปฏิบัติการทางมวล

- ขนาดของห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ ที่สามารถติดตั้งเครื่องชั่งหรืออุปกรณ์เสริมร่วมทำงานต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม และเพียงพอ ขนาดที่พอเหมาะสมประมาณ 40-50 ตารางเมตร หรืออาจเล็กกว่านี้เล็กน้อยก็ได้
- ตำแหน่งของห้องปฏิบัติการทางมวลควรอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากถนนที่มีรถยนต์ วิ่งอยู่ตลอดเวลาหรือโรงงานอุตสาหกรรมหนัก เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนหรือหากเป็นตัวอาคารควรจัดห้องบริเวณชั้นล่างสุดของตัวอาคารเป็นห้องปฏิบัติการทางมวลยิ่งเป็นชั้นที่อยู่ใต้ดินยิ่งดี เนื่องจากพื้นดินโดยรอบข้างตัวอาคารจะเป็นตัวหน่วง (Damper) ของการสั่นสะเทือนจากแหล่งภายนอกได้ดียิ่ง ในกรณีที่ไม่สามารถจัดหาสถานที่ได้ดังกล่าวเราสามารถจำลองภูมิทัศน์รอบๆ ห้องปฏิบัติการ ดังกล่าวได้ เช่น อาจจัดทำสร้างเนินดินจำลองหรือแนวคูร่องน้ำล้อมรอบตัวห้องปฏิบัติการดังกล่าวเพื่อเป็นตัวช่วยลดภาวะแรงสั่นสะเทือนจากแหล่งภายนอก นอกจากนี้ควรตั้งให้ห่างจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง, ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า, สถานีไฟฟ้าย่อย (Sub-Station), สถานีส่งคลื่นวิทยุโทรทัศน์ หรือเครื่องมือสื่อสารแรงสูง ต่างๆ
- นอกเหนือจากโต๊ะวางเครื่องชั่ง ห้องปฏิบัติการทางมวลต้องมีเนื้อที่ว่างเพียงพอ

สำหรับติดตั้งตู้ที่ใช้ในการเก็บตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Standard Weights) และตุ้มน้ำหนักที่ต้องการสอบเทียบ ทั้งนี้เพื่อทำให้ตุ้มน้ำหนักที่ต้องการสอบเทียบอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราและนานพอที่สภาวะเงื่อนไขแวดล้อมของตุ้มทั้งสองมีเสถียรภาพ นอกจากนี้ควรมีโต๊ะสำหรับการเขียนแบบฟอร์มของการชั่งฯ ในระหว่างการทดสอบ ซึ่งแยกออกขาดจากกันกับโต๊ะวางเครื่องชั่ง

- ส่วนเนื้อที่สำหรับการเตรียมตุ้มน้ำหนัก เช่น การแกะตุ้มน้ำหนักออกจากกล่องหรือการทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักและการเตรียมตุ้มน้ำหนักที่จะถูกสอบเทียบต่างๆ ต้องอยู่ในพื้นที่ที่แยกต่างหากจากห้องปฏิบัติการ
- ถ้าเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงถูกใช้งานเป็นประจำในช่วงเวลาพร้อมในเวลาเดียวกันหลายเครื่อง ห้องปฏิบัติการต้องถูกแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อป้องกันการรบกวน กันระหว่างเครื่องชั่ง หรือเว้นระยะของเครื่องชั่งดังกล่าวให้ห่างกันพอสมควร

3. รายละเอียดภายในห้องปฏิบัติการทางมวล

ในกรณีที่ต้องการจัดทำห้องปฏิบัติการทางมวลให้สามารถสอบเทียบได้ครอบคลุมตุ้มน้ำหนักตั้งแต่ 1 mg ถึง 50 kg ควรจัดแยกห้องออกเป็น 2 ห้อง ด้วยกันคือห้องแรกสำหรับใช้สอบเทียบตุ้มน้ำหนักตั้งแต่ 1 mg จนถึง 5 kg และสำหรับห้องที่สองให้สามารถสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมากกว่า 5 kg ขึ้นไป เนื่องจากจำเป็นต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์เสริมร่วมการทำงานซึ่งอาจก่อให้เกิดการรบกวนเครื่องชั่งชนิดมีความละเอียดสูงได้ในช่วงระหว่างการยกขึ้นยกลงในขั้นตอนการสอบเทียบ นอกจากนี้ต้องคำนึง

- ห้องปฏิบัติการควรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากภายนอก และต้องมีการป้องกันและดูดซับการสั่นสะเทือนจากภายนอกที่จะมีผลกระทบต่อห้องปฏิบัติการทางมวล เช่น แผ่น ดูดซับการสั่นสะเทือนรองที่โต๊ะเครื่องชั่ง
- หน้าต่างและประตูของห้องปฏิบัติการควรจะเป็นแบบ 2 ชั้น (Air Locks) เพื่อสร้างสภาวะการกักอากาศให้อยู่ระหว่างแต่ละหน้าต่างหรือแต่ละประตู

เนื่องจากอากาศเป็นสารนำความร้อนต่ำที่สุดหรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุดในโลกใบนี้นั่นเอง ในขณะเดียวกันยังช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณประตูทางเข้าออกไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากจนเกินไปอีกทั้งยังช่วยป้องกันฝุ่นละอองได้อีกด้วย นอกจากนี้ตัวบานกระจกควรเป็นชนิด 2 แผ่นประกบกันห่างกันด้วยระยะประมาณ 1 ซม. โดยมีสุญญากาศระหว่างกลาง (กระจกสุญญากาศ) เพื่อช่วยรักษาสภาวะอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการให้คงที่ตลอดเวลาการทำงาน และต้องไม่มีม่านปิดบริเวณประตูเนื่องจากจะเป็นแหล่งสะสมฝุ่น

- ต้องมีการป้องกันฝุ่นให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ม่านหรือฉากหรือมูลี่ใดๆ ที่ไม่มีความจำเป็นควรหลีกเหลี่ยง
- ห้องปฏิบัติการควรจะปูพื้นด้วยอุปกรณ์ปูพื้นที่ราบเรียบและมีสีเดียว เช่น linoleum หรือวัสดุที่ทำจากพลาสติกเชื่อมรอยต่อติดกันให้เป็นชิ้นเดียว ด้วยเหตุผลที่ว่าเมื่อตุ้มน้ำหนักขนาดเล็กๆ มาก เช่นพิกัดกำลัง 1 mg หากตกลงพื้นแล้วโอกาสที่จะสามารถหาพบได้มีสูง นอกจากนี้ยังลดบริเวณที่ก่อให้เกิดการดักเก็บฝุ่นบนพื้นให้น้อยลงด้วยเช่นกัน และง่ายต่อการทำความสะอาดอีกด้วย
- ถ้าเป็นไปได้ส่วนที่เป็นหน้าต่างกระจกของห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่หรือผนังด้านที่สร้างภาระการทำความเย็นมากที่สุดเมื่อเทียบกับผนังด้านอื่นๆ ของห้องควรอยู่ด้านทิศเหนือเท่านั้น เนื่องจากทิศเหนือเป็นทิศที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยที่สุด ส่งผลให้ลดภาระการทำความเย็นภายในห้องได้มากและโอกาสที่อุณหภูมิภายในห้องที่จะเสถียรภาพตลอดการทำงานเป็นไปได้สูง แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องจัดหาแผงกันแสงแดดหรือสร้างกันสาดด้วยเช่นกัน และในขณะเดียวกันต้องหลีกเลี่ยงหันกระจกไปทางด้านทิศใต้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องจัดทำกันสาดให้ยื่นปกคลุมให้เงากันสาดบังแสงแดดบริเวณหน้าต่างให้มากที่สุด หรืออาจรื้อหน้าต่างออกแล้วก่ออิฐฉาบปูนปิดช่องหน้าต่างดังกล่าวก็สามารถกระทำได้
- สำหรับผนังด้านนอกของห้องปฏิบัติการเองอาจติดตั้งอุปกรณ์หรือวัสดุกันความร้อนไว้อีกมาตรการหนึ่งก็ได้ หรือออกแบบให้ผนังของห้องปฏิบัติการ

เป็นแบบก่ออิฐเป็นผนัง 2 ชั้นและใส่วัสดุกันความร้อนหรือฉนวนระหว่างกลาง เช่น ทำการฉีด Urethane Foam ก็ได้

- ผนังภายในห้องควรทาสีโทนสีสว่างเพื่อลดจำนวนหลอดไฟฟ้าภายในห้อง
- ระบบแสงสว่าง ควรเลือกใช้หลอดไฟแบบ Fluorescent และหลีกเลี่ยงการใช้หลอดไฟแบบมีใส้หลอดเพราะหลอดไฟแบบนี้จะทำให้เกิดความร้อนมากเมื่อเทียบกับหลอดไฟแบบ Fluorescent
- การเดินสายไฟฟ้าและปลั๊กสำหรับเครื่องชั่งควรเดินเรียบผนังให้อยู่ในแนวใต้โต๊ะวางเครื่องชั่งทั้งนี้เพื่อไม่ให้สายไฟของเครื่องชั่งตึงจนเกินไปหรือต้องทำการขดเป็นม้วนซึ่งไม่มีผลดีแต่อย่างใด นอกจากนี้ปลั๊กไฟฟ้าต้องมีสายกราวด์ด้วย
- ฉากกั้นในห้องปฏิบัติการสำหรับกั้นแบ่งแยกส่วนเครื่องชั่งกับส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง นั้น ต้องมีการจัดให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของการหมุนเวียนของอากาศที่พื้นและเพดาน หากต้องติดตั้งฉากกั้นต้องติดตั้งให้สูงจากพื้นประมาณ 20 ซม. และมีความสูง 2 ม. แต่เพื่อความแน่ใจควรปรึกษาวิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการเสียก่อน เนื่องจากหากฉากดังกล่าว ขวางแนวการไหลวนของอากาศจะทำให้ Temperature gradient ภายในห้องไม่เหมาะสม หรืออาจทำให้บางส่วนภายในห้องปฏิบัติการมีความเร็วลมของระบบปรับอากาศสูงหรือต่ำจนเกินไป

4. ระบบปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการ

ระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการทางมวลที่ควรเป็นระบบพิเศษมีเงื่อนไขเพิ่มเติมจากระบบปรับอากาศที่ใช้อยู่ตามสถานที่อยู่อาศัยทั่วๆ ไป แต่ตั้งอยู่บนหลักการที่ว่า ต้องเป็นระบบปรับอากาศที่สามารถรักษาอุณหภูมิไว้อย่างคงที่เสถียรภาพและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและคงที่อย่างพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นเป็นตัวที่สร้างปัญหาให้กับงานสอบเทียบมวลเป็นอย่างมากเพราะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้องปฏิบัติการทางมวล อีกทั้งการควบแน่นของไอน้ำภายในอากาศซึ่งจะเป็นปัจจัยก่อให้เกิดสนิมได้ง่ายกับเครื่องชั่งและอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่ทำงานอยู่ภายในห้อง

ระบบปรับอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการทางมวลควรเป็นระบบแยกส่วนอิสระต่างหากจากห้องอื่นๆ และควรเป็นชนิด Central Air Conditioning System ในห้องปฏิบัติการทางมวลของสถาบัน PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) ได้ตั้งกฎเกณฑ์ไว้ว่า ระบบปรับอากาศต้องมีขีดความสามารถทำให้การเกิดเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศไม่ให้เกินกว่า ±10% ที่อุณหภูมิรอบๆ ค่าที่ 20°C

- **อุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการทางมวล**
  - ➢ ค่าอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการทางมวลควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20-23°C โดยยอมให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 0.5 K แต่สภาวะเงื่อนที่ดีที่สุดก็คือ 20 °C ± 0.5 K และเหมาะสำหรับการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงตั้งแต่ F1 (จัดชั้นตาม OIML R111) ขึ้นไป และห้องปฏิบัติการทางมวลต้องมีอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่มีช่วงการวัดครอบคลุมค่าอุณหภูมิ 0-30°C ที่ค่าความละเอียด 0.1°C และได้รับการสอบเทียบในช่วงการวัด 0-30°C ทำการติดตั้งไว้ในที่ๆ เหมาะสมเพื่อที่จะทำการควบคุมและบันทึกอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการทางมวล

เนื่องจากห้องปฏิบัติการทางมวลก็ต้องเกี่ยวข้องกับเครื่องชั่ง ดังนั้นมาดูข้อกำหนดของเครื่องชั่งพบว่า ในการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ OIML R76 นั้นได้กำหนดขอบเขตให้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติทำงานด้วยความแม่นยำเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงภายในช่วงขอบเขตหนึ่งที่กำหนดไว้ซึ่งทั้งนี้ก็เพราะความหนาแน่นอากาศ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปล้วนแล้วแต่มีผลต่อความแม่นยำของการทำงานของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีใช้ภายในห้องปฏิบัติการทางมวล ดังสรุปไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตาราง ช่วงการเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ยังคงทำงานได้ถูกต้อง

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ชั้นความเที่ยง	ช่วงขอบเขตอุณหภูมิ ที่กำหนดอย่างน้อย	อุณหภูมิ เปลี่ยนแปลง	Relative Air Density Change $\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}$
I	5°C	± 2.5°C	± 0.9%
II	15°C	± 7.5°C	± 2.6%
III และ IIII	30°C	± 15°C	± 5.1%

ดังนั้นหากสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการทางมวลมีสภาวะ 20°C ± 0.5 K (± 0.5°C) จะเห็นได้ว่าครอบคลุมสภาวการณ์ได้โดยรวมและสามารถสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงตั้งแต่ F1 ขึ้นไป ด้วยเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II หรือ I ได้

- ***Temperature Stability*** การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิ ในห้องปฏิบัติการทางมวลควรมีค่าคงที่ ค่าอุณหภูมิควรควบคุมให้ไม่มีค่าเปลี่ยนขึ้นลงมาก ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทั้งนี้เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดละอองน้ำหรือการเกิดสนิมที่ตุ้มน้ำหนัก สำหรับการวัดที่ต้องการความเที่ยงตรงมากค่า Temperature Stability ควรมีค่าไม่เกิน ± 0.2C/hr. เมื่อคำนึงถึงช่วงเวลาที่ทำการวัดและมีค่าไม่เกิน ± 0.5°C/day เมื่อคำนึงถึงพื้นที่ของห้องปฏิบัติการ สำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากยอมให้ Temperature Stability ได้ถึง ± 1°C เมื่อคำนึงถึงเวลาและพื้นที่เป็นสิ่งที่ยอมรับได้

- **ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการทางมวล**
  - ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative air-moisture) ในห้องปฏิบัติการทางมวลต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 40-60% และควรมีค่าคงที่ สำหรับการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงตั้งแต่ F1 ขึ้นไป (จัดชั้นตาม OIML R111) ยอมให้

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative air-moisture) มีค่าเท่ากับ 50% +10%/-20% แต่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative air-moisture) ที่ดีและเหมาะสมควรมีค่าเท่ากับ 45% ± 5% ในการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ในขอบเขต ± 5% ค่าอุณหภูมิควรมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 1°C นอกจากนี้ยังพบว่าการที่แสงแดดส่องกระทบเข้ามาในห้องปฏิบัติการทางมวลโดยตรง ค่าความชื้นสัมพัทธ์อาจจะมีค่าลดลงถึง 10% การควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์จะช่วยทำให้ไฟฟ้าสถิตย์มีค่าไม่สูงเกินไปในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และผลกระทบ Hygroscopic ซึ่งจะลดค่าความต้านทานการนำความร้อน ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง

➢ ห้องปฏิบัติการทางมวลต้องมีอุปกรณ์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (hygrometer) นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการทางมวลควรมีอุปกรณ์วัดความดัน Barometer ความละเอียดมากกว่าหรือเท่ากับ 1 mBar เพื่อที่จะใช้วัดความดันบรรยากาศด้วย

- **ฝุ่น** มีผลต่องานด้านการสอบเทียบโดย ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 micrometer จะตกลงสู่พื้นภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ เข้าด้วยกัน การกรองอนุภาคฝุ่นขนาดตั้งแต่ 1 Micrometer เป็นค่าที่เพียงพอสำหรับงานด้านการสอบเทียบทางชั่งตวงวัด หรือใช้ Filter type G4/F7(EU4/EU7) ก็พอยอมรับได้ นอกจากนี้การทำประตูเหล็กทึบสองชั้น (Airlock) เพื่อดักและเก็บฝุ่นที่พื้นด้านทางเข้าห้องปฏิบัติการทางมวล และการทำให้ความดัน ห้องปฏิบัติการทางมวลมีค่ามากกว่าความดันด้านนอกเล็กน้อยจะช่วยลดการเข้าของฝุ่นไปยังห้องปฏิบัติการทางมวลได้ อีกทั้งควรหมั่นทำความสะอาดพื้นระหว่างประตูที่ทำเป็น air lock เป็นประจำ
- ความเร็วด้านทางออกหัวจ่ายลม (distributors) (ประมาณ 0.5-0.8 m/s) นับเป็นปัจจัยหนึ่งในการออกแบบระบบปรับอากาศชนิดนี้ เนื่องจากหากลมที่ออกจากหัวจ่ายมีความเร็วสูงมากเกินไปนอกจากจะมีเสียงแล้วยังไปรบกวนการทำงานของ เครื่องชั่งด้วยในกรณีที่เครื่องชั่งสามารถทำการชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 g ซึ่งจะให้ผลการชั่งจะเปลี่ยนแปลงไปมาตลอดเวลาเนื่องจากเครื่องชั่งดังกล่าวมีความรู้สึกไวต่อแรงที่มากระทำต่อถาดชั่งหรือส่วนรับ

น้ำหนักของเครื่องชั่งดังกล่าว ดังนั้นความเร็วด้านทางออกหัวจ่ายลมเมื่อถึงบริเวณวางเครื่องชั่งหรือ mass comparator แล้วต้องมีค่าไม่เกิน 10 m/hr (ยิ่งความเร็วต่ำยิ่งดี) ในกรณีที่ปริมาณลมออกเพื่อทำความเย็นมีค่าน้อยไปไม่ทั่วถึงก็ให้ทำการเพิ่มปริมาณหัวจ่ายแต่ทั้งนี้และทั้งนั้นก็ขอให้ปรึกษาวิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศด้วย เช่นกัน

- การรักษาระดับความดันภายในห้องปฏิบัติการทางมวลต้องออกแบบให้มีค่าสูงกว่าความดันภายนอกอยู่ที่ระดับประมาณ 10 Pa.
- ปริมาณลม Fresh air supply ควรมีค่าเท่ากับ 10% ของปริมาณลมหมุนเวียนทั้งหมด (the circulating air)
- การระบายอากาศ (Ventilation) ควรมีค่าประมาณ 10 changes/hour
- ระดับเสียงการทำงานระบบปรับอากาศของห้องปฏิบัติการทางมวลควรมีค่าอยู่ไม่เกิน 45 dB(A)
- ระบบแสงสว่างในห้องปฏิบัติการทางมวล ค่าความสว่างขนาด 1000 lux ที่ระดับโต๊ะเครื่องชั่งหรือที่ระดับอ่านหนังสือเป็นความสว่างที่เพียงพอสำหรับการทำงานด้านการสอบเทียบและเพื่อความเหมาะสมของระบบแสงสว่าง แสงสว่างอาจถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ ดังนี้ 2x500 lux, 2x250 lux + 500 lux สำหรับห้องปฏิบัติการที่ต้องการความถูกต้องสูงค่าความสว่างขนาด 70 lux เป็นค่าต่ำสุดสำหรับห้องปฏิบัติการทางมวล

  การออกแบบแสงสว่างนั้น ไม่เฉพาะความสว่างเท่านั้นแต่ต้องคำนึงถึงทิศทางของแสง ผลกระทบของการแผ่รังสีของพลังงานที่กระจายโดยหลอดไฟ หลอดไฟ Fluorescent ให้แสงสว่างสูงโดยที่มีการแผ่พลังงานความร้อนน้อย แต่อย่างไรก็ตาม หลอดไฟ Fluorescent จะทำให้เกิด Electromagnetic นอกจากนี้ผลกระทบอื่นก็ต้องพิจารณาด้วย เช่น การสะท้อนของแสงจากผนังพื้นห้อง และ สีของห้องปฏิบัติการ ในบางกรณีการใช้หลอดไฟแบบ Fluorescent ผสมกับหลอดไฟแบบไส้หลอดอาจจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด
- การติดตั้งตู้เครื่องปรับอากาศต้องทำการติดตั้งนอกตัวอาคารหรือตัวห้องปฏิบัติการทางมวลทั้งนี้เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนจาก Compressor, ลดภาระโหลดความร้อนของห้อง อีกทั้งลดระดับเสียงที่ดังมากจนเกินระดับที่ต้องการ

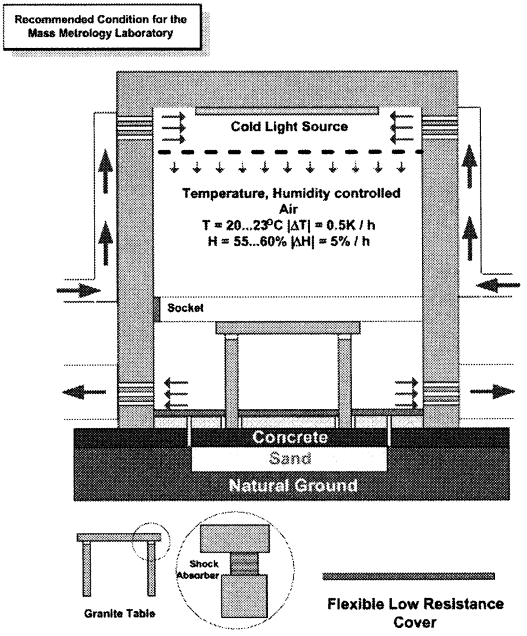
5. แหล่งพลังงานไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการ

- พลังงานไฟฟ้าสำหรับเป็นแหล่งจ่ายพลังงานเครื่องชั่งไฟฟ้า
  - ➢ ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีผลต่อความถูกต้องของการทำงานของเครื่องชั่งที่ใช้อยู่ ซึ่งส่งผลทำให้ผลการสอบเทียบผิดไป
  - ➢ การจัดระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าของตัวอาคารนั้น ต้องทำการแยกระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับเครื่องชั่งที่ใช้ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักให้แยกต่างหากออกจาก ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบเครื่องปรับอากาศ หรือมอเตอร์ ที่มีอยู่ภายในอากาศ
  - ➢ ในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับห้องปฏิบัติการทางมวลควรได้รับการออกแบบเผื่อค่ากระแสไฟฟ้าให้มากกว่าปกติตามที่ออกแบบห้องทำงานโดยทั่วไป
  - ➢ ความแรงดันกระแสไฟฟ้าและค่าเบี่ยงเบนที่ยอมให้ได้ควรมีค่าไม่เกินกว่า 380 V ± 5% ในกรณีไฟฟ้าชนิด 3 เฟสหรือกรณีชนิดเฟสเดียว 220 V ± 5%
  - ➢ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าและค่าเบี่ยงเบนที่ยอมให้ได้ควรมีค่าไม่เกินกว่า 50 Hz ± 1%
  - ➢ ในกรณีที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ การใช้ Voltage Regulator เป็นสิ่งจำเป็น ยกตัวอย่างคุณลักษณะของ Voltage regulators เช่น มี Voltage Stability ± 0.02% สำหรับเปลี่ยนแปลง ± 10% ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า, Load Regulation ± 0.02% สำหรับเปลี่ยนแปลงของ Load จาก 0 ถึง 100% และ Transients เวลาที่ใช้ในการจ่ายพลังงานสำรอง < 100 μs (แล้วแต่กรณี)

6. ข้อกำหนดการตกแต่งห้องปฏิบัติการทางมวล

- โต๊ะวางเครื่องชั่งและโต๊ะสำหรับเขียนข้อมูลการชั่งควรมีฐานที่แยกจากกันเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนส่งผลไปกระทบต่อเครื่องชั่งขณะทำงาน และมีอุปกรณ์ดูดซับการสั่นสะเทือนรองพื้น
- โต๊ะวางเครื่องชั่งควรทำด้วยหินแกรนิตหรือวัสดุอย่างอื่นๆที่มีความมั่นคงแข็งแรง

- เครื่องชั่งควรอยู่ห่างจากกำแพงอย่างน้อย 40 ซม. เพื่อป้องกันการแผ่รังสีความร้อน จากกำแพงไปยังเครื่องชั่ง ถ้าไม่สามารถทำได้ควรมีการบุวัตถุกันการสะท้อนความร้อนบนกำแพง และควรติดตั้งเครื่องชั่งให้เหนือจากพื้นอย่างน้อย 20 ซม. เพราะรังสีความร้อนจากพื้นอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อการวัดเช่นกัน
- ต้องไม่วางตุ้มน้ำหนักหรือสิ่งของใดๆ ค้างไว้บนเครื่องชั่งเมื่อไม่ทำงาน
- ต้องจัดวางตุ้มน้ำหนักที่ต้องการทดสอบไว้ในสภาวะแวดล้อมเดียวกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอย่างน้อยเป็นเวลา 1 วัน และต้องไม่ให้ตุ้มน้ำหนักได้รับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิอย่างทันทีทันใดเพราะจะทำให้เกิดหมอกและความชื้นบนตุ้มน้ำหนักซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนตุ้มน้ำหนักต่อไป
- ทางเข้าห้องเครื่องชั่งควรมีแผ่นดักฝุ่นจากรองเท้าเพื่อป้องกันฝุ่นเข้าห้องปฏิบัติการทางมวล
- การออกแบบห้องปฏิบัติการ ควรออกแบบมิให้มีส่วนยื่นออกมาและทำให้เกิดการขัดขวางการหมุนเวียนของอากาศในห้อง และด้วยเหตุผลเดียวกัน ไม่ควรจัดวางเฟอร์นิเจอร์ขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการฯ



ข้อกำหนดและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

(Specifications and
Maximum Permissible errors
for Standard Weights)

เนื่องจากการซื้อขายในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบและเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพิ่มมากขึ้น ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจึงถูกกำหนดด้วยวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแบบมาตราในการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งซึ่งใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยเครื่องชั่งดังกล่าวถูกจัดอยู่ในชั้นความเที่ยง III และ IIII ตามข้อกำหนดของ OIML R76

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราดังกล่าวนี้ต้องได้รับการสอบเทียบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัดให้อยู่ภายในขอบเขตผลผิดตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดไว้ อีกทั้งเมื่อครบกำหนดอายุการให้คำรับรองแล้วจำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบอีกครั้งตามที่กำหนด เพื่อให้มั่นใจว่าตุ้มแบบมาตราดังกล่าวยังคงมีความเที่ยงตรงตลอดการใช้งานในระยะเวลาที่เหมาะสม

ข้อกำหนดแบบมาตราตุ้มน้ำหนัก

ข้อกำหนดนี้ครอบคลุมถึงตุ้มน้ำหนักแบบมาตราตั้งแต่ Class F_1, F_2, M_1, M_2, M_3 ตาม OIML R111 (1994) พิกัดกำลังตั้งแต่ 1 มล.ก. จนถึง 50 กก.

ลักษณะการใช้งาน

เพื่อให้การใช้งานตุ้มน้ำหนักแบบมาตราได้เหมาะสมกับเงื่อนไขทางวิชาการชั่งตวงวัดและทางเศรษฐกิจ สามารถแบ่งลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราระดับ F_1

- ใช้สำหรับการตรวจรับรองตุ้มน้ำหนักระดับ F_2
- ใช้สำหรับการตรวจรับรองเครื่องชั่งละเอียดสูงชั้นความเที่ยง I

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราระดับ F_2

- ใช้สำหรับการตรวจรับรองตุ้มน้ำหนักระดับ M_1 และ/หรือ M_2
- ใช้สำหรับการตรวจรับรองเครื่องชั่งละเอียดสูงชั้นความเที่ยง II เช่นเครื่องชั่งทองและอัญมณี

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราระดับ M_1

- ใช้สำหรับการตรวจรับรองตุ้มน้ำหนักระดับ M_2
- ใช้สำหรับการตรวจรับรองเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราระดับ M_2

- ใช้สำหรับการตรวจรับรองตุ้มน้ำหนักระดับ M_3
- ใช้สำหรับการตรวจรับรองเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราระดับ M_3

- ใช้สำหรับการตรวจรับรองเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III

หลักเกณฑ์การแบ่งชั้นตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ระดับ F_1, F_2, M_1, M_1, M_3

1. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissibl errors) ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในชั้นต่างๆ ที่กำหนดต้องมีค่าผลผิดไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดในตารางที่ 1 ซึ่งค่าผลผิดนี้คิดจากค่ามวลที่จุดอ้างอิง (Conventional Mass) ซึ่งมีสภาวะที่ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีค่าความหนาแน่นอ้างอิง 8,000 กก./ลบ.ม. ที่ความหนาแน่นของอากาศ 1.2 กก./ลบ.ม. ที่อุณหภูมิ 20°C โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขค่าเนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศ

2. ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในแต่ละชั้นต้องมีค่าความไม่แน่นอนไม่เกิน 1 ใน 3 ของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดซึ่งกำหนดในตารางที่ 1 ยกเว้นตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้น E_1 ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดนี้แต่อย่างไรก็ตามค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องน้อยกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

ตารางที่ 1 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible errors)

Nominal value	± δm in mg						
	Class E_1	Class E_2	Class F_1	Class F_2	Class M_1	Class M_2	Class M_3
50 kg	25	75	250	750	2,500	7,500	25,000
20 kg	10	30	100	300	1,000	3,000	10,000
10 kg	5	15	50	150	500	1,500	5,000
5 kg	2.5	7.5	25	75	250	750	2,500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100	300	1,000
1 kg	0.5	1.5	5	15	50	150	500
500 g	0.25	0.75	2.5	7.5	25	75	250
200 g	0.10	0.30	1.0	3.0	10	30	100
100 g	0.05	0.15	0.5	1.5	5	15	50
50 g	0.030	0.10	0.30	1.0	3.0	10	30
20 g	0.025	0.080	0.25	0.8	2.5	8	25
10 g	0.020	0.060	0.20	0.6	2	6	20
5 g	0.015	0.050	0.15	0.5	1.5	5	15
2 g	0.012	0.040	0.12	0.4	1.2	4	12
1 g	0.010	0.030	0.10	0.3	1.0	3	10
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5	
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0	
100 mg	0.005	0.015	0.05	0.15	0.5	1.5	
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4		
20 mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3		
10 mg	0.002	0.008	0.025	0.08	0.25		
5 mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		
2 mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		
1 mg	0.002	0.006	0.020	0.06	0.20		

3. ค่ามวลที่จุดอ้างอิง (Conventional Mass) ของแต่ละตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องเป็นไปตาม

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U)$$

เมื่อ

m_0 คือ พิกัดกำลังตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

m_c คือ ค่ามวลที่จุดอ้างอิง (Conventional Mass)

δm คือ อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

U คือ ค่าความไม่แน่นอน

พิกัดกำลังตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเดี่ยว กำหนดให้พิกัดกำลังต้องเป็นไปตาม 1×10^n กก., 2×10^n กก. หรือ 5×10^n กก. เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกหรือจำนวนเต็มลบ หรือศูนย์

ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจัดอยู่เป็นชุด ภายในแต่ละชุดต้องประกอบด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังดังนี้

$(1 ; 1 ; 2 ; 5\times10^n)$ กก. หรือ

$(1 ; 1 ; 1 ; 2 ; 5\times10^n)$ กก. หรือ

$(1 ; 2 ; 2 ; 5\times10^n)$ กก. หรือ

$(1 ; 1 ; 2 ; 2 ; 5\times10^n)$ กก.

เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกหรือจำนวนเต็มลบ หรือศูนย์

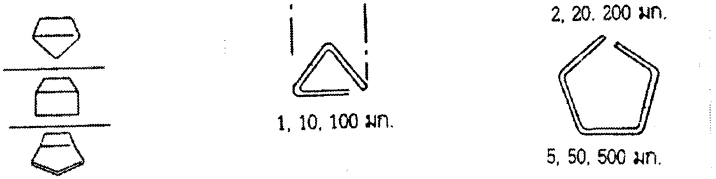
รูปร่าง และขนาด (Shape and Size)

1. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องมีรูปร่างที่ง่ายต่อการผลิต โดยขอบต้องมนเพื่อป้องกันการบิ่น อีกทั้งต้องไม่มีช่องหรือส่วนเว้าที่อาจจะเป็นแหล่งสะสมฝุ่นได้ง่าย

2. สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่เป็นชุดเดียวกันต้องมีลักษณะรูปร่างเหมือนกัน ยกเว้นตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังเท่ากับหรือต่ำกว่า 1 ก.

3. สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังเท่ากับหรือต่ำกว่า 1 ก. ต้องเป็นแผ่นหรือเส้นลวด และง่ายต่อการจับต้องใช้งาน นอกจากนี้รูปร่างของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจะเป็นตัวบ่งบอกพิกัดกำลัง โดยไม่จำเป็นต้องแสดงตัวเลขพิกัดกำลังเป็นไปตามตารางดังนี้ (ดูรูปที่ 1)

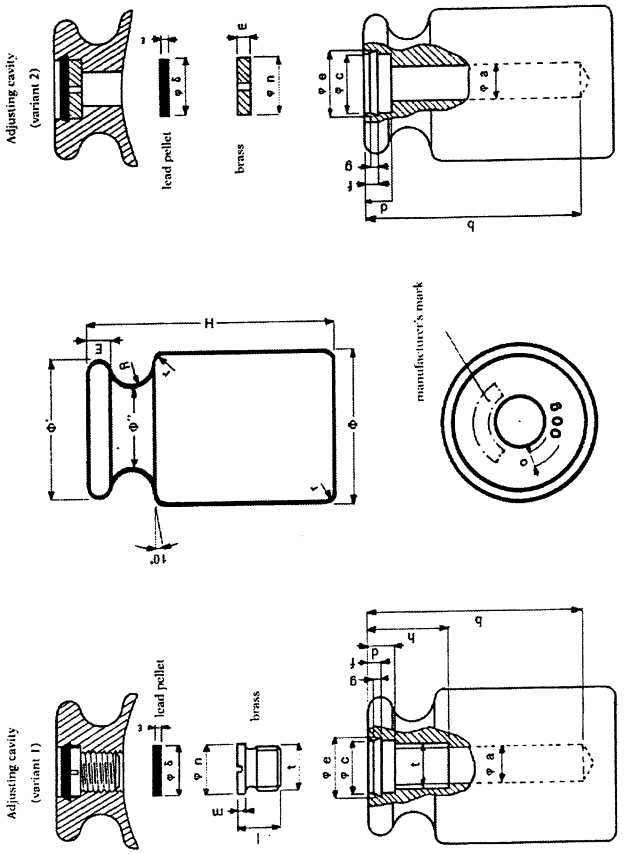
พิกัดกำลัง (Nominal values) มก.	รูปร่างแผ่น (Polygonal sheets)	รูปร่างเส้นลวด (Wires)
5-50-500	แผ่นห้าเหลี่ยม	5 ปล้อง ในรูปห้าเหลี่ยม
2-20-200	แผ่นสี่เหลี่ยม	2 ปล้อง ในรูปสี่เหลี่ยม
1-10-100-1000	แผ่นสามเหลี่ยม	1 ปล้อง ในรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 1 ลักษณะตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังเท่ากับหรือต่ำกว่า 1 ก.

4. สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังเท่ากับหรือสูงกว่า 1 ก. ตุ้มน้ำหนักพิกัด 1-2-5 ก. อาจเป็นรูปแผ่น หรือทรงกระบอกก็อาจเป็นได้ ในส่วนตุ้มน้ำหนักพิกัด 10 ก.-50 กก. อาจเป็นรูปทรงกระบอกโดยอัตราส่วนระหว่างความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกควรอยู่ระหว่าง 1 : 0.75 และ 1 : 1.25 แต่ที่ดีที่สุดคือ 1 : 1 อาจทำเป็นชิ้นเดียวหรือสองชิ้น สำหรับตุ้มน้ำหนักซึ่งเป็น 2 ชิ้นให้มีปุ่มกลมเป็นที่จับ มีเกลียวสวมเข้ากับชิ้นส่วนทรงกระบอก

ขนาดและรูปร่างของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัด 1 ก.-10 กก. ให้เป็นไปตามตารางที่ 2 และ รูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทรงกระบอก

สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัด 5 กก.–50 กก. อาจจะมีรูปร่างและขนาดต่างออกไปตามความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยเฉพาะตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1, M_2, และ M_3 ขนาดและรูปร่างต้องเป็นไปตาม รูปที่ 3 หรือ รูปที่ 4

ตารางที่ 2 ตารางขนาดตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (หน่วยมิลลิเมตร)

WEIGHTS

Nominal value	Φ	Φ'	Φ''	H	E	R	r	o
1 g	6	5.5	3	DEPENDING ON MATERIAL	1	0.9	0.5	1
2 g	6	5.5	3		1	0.9	0.5	1
5 g	8	7	4.5		1.4	1.25	0.5	1
10 g	10	9	6		1.6	1.5	0.5	1
20 g	13	11.5	7.5		2	1.8	0.5	1.5
50 g	18	16	10		3	2.5	1	2
20 g	13	11.5	7.5		2	1.8	0.5	1.5
50 g	18	16	10		3	2.5	1	2
100 g	22	20	13		4	3.5	1	2
200 g	28	25	16		4.5	4	1.5	3.2
500 g	38	34	22		6	5.5	1.5	3.2
1 kg	48	43	27		8	7	2	5
2 kg	60	54	36		10	9	2	5
5 kg	80	72	46		13	12	2	10
10 kg	100	90	58		17	15	3	10

ADJUSTING CAVITIES

	a	b	c	d	e	f	g	h	t	l	m	n	δ	ε	a	b	c	d	e	f	g	m	n
without adjusting cavity	according to the standard								Variant 1														
		18	5.5	2.5	6.5	1.5	1	9	M4x0.5	5	1	5	5	1	3	18	5.5	2.5	6.5	1.5	1	1	5
		25	7.5	3.5	9	2	1	10	M6x0.5	5	1.5	7	7	1.5	4.5	25	7.5	3.5	9	2	1	1.5	7
		30	7.5	3.5	9	2	1	10	M6x0.5	5	1.5	7	7	1.5	4.5	30	7.5	3.5	9	2	1	1.5	7
		40	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	M8x1	8	2	10	10	2	7	40	10.5	4.5	12	2.5	1.5	2	10
		50	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	M8x1	8	2	10	10	2	7	50	10.5	4.5	12	2.5	1.5	2	10
		65	18.5	7	20	4	2.5	20	M14x1.5	13	3	18	18	3	12	65	18.5	7	20	4	2.5	3	18
		80	18.5	7	20	4	2.5	20	M14x1.5	13	3	18	18	3	12	80	18.5	7	20	4	2.5	3	18
		120	24.5	8	26.5	4	2.5	35	M20x1.5	18	4	24	24	3	18	120	24.5	8	26.5	4	2.5	4	24
		160	24.5	8	26.5	4	2.5	35	M20x1.5	18	4	24	24	3	18	160	24.5	8	26.5	4	2.5	4	24

Variant 2

(threads according to ISO/R 261)

The depth b of the adjusting cavities is given only as an indication.

TABLE OF DIMENSIONS (in millimetres)

Nominal value	A	A'	B	B'	H	a	b	c	h	d / d'	l	r	o	t	f	e	ε	φ	φ'	φ''	g
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	66	12/20	145	5	12	M16x1.5	14	1	2	16.5	18	16	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	84	12/20	185	6	16	M16x1.5	14	1	2	16.5	18	16	5
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	109	24/32	220	8	20	M27x1.5	21	2	3	27.5	30	27	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	152	24/32	300	10	25	M27x1.5	21	2	3	27.5	30	27	8

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed. 8 (threads according to ISO/R 261) 30/0

รูปที่ 3 ลักษณะและขนาดตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทรงสี่เหลี่ยม (แบบ I)

TABLE OF DIMENSIONS (in millimetres)

Nominal value	A	A'	B	B'	H	a	b	c	h	d	r	o	m	n	p
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	66	19	5	12	16	13	55
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	84	25	6	16	35	25	70
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	109	29	8	20	50	30	95
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	152	40	10	25	70	40	148

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed.

The internal dimensions m, n, p of the adjusting cavities are given only as an indication.

รูปที่ 4 ลักษณะและขนาดตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทรงสี่เหลี่ยม (แบบ II)

การออกแบบและการสร้าง (Design and Construction)

1. ข้อกำหนดนี้ใช้บังคับเฉพาะตุ้มน้ำหนักแบบมาตราใหม่ซึ่งจะทำการผลิตออกมาหลังจากข้อกำหนดนี้ใช้บังคับ
2. ในการออกแบบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราหากผู้ใดออกแบบตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีขนาดและรูปร่างต่างออกไปจากที่กำหนดต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัด
3. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องได้รับการผลิตด้วยวัสดุที่มีความหนาแน่นเท่ากันตลอดชิ้นงานของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเท่านั้น
4. บริเวณขอบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องทำให้เป็นมุมมนเพื่อลดการกระแทกก่อให้เกิดการบิ่นของตุ้มได้ง่าย
5. หากตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีช่องปรับน้ำหนัก (adjust cavity) ต้องมีเพียงช่องปรับเดียว
6. ฝาปิดช่องปรับน้ำหนักหลังจากปิดเสร็จสมบูรณ์ต้องมีผิวเสมอกับผิวของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา
7. ช่องปรับน้ำหนักต้องได้รับการออกแบบง่ายต้องการเพิ่มหรือลดน้ำหนักภายในช่องปรับน้ำหนัก
8. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_1 และ F_2 พิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก.–50 กก.**
    - ตุ้มต้องเป็นชิ้นเดียวกันตลอดหรืออาจเป็น 2 ชิ้นแต่ต้องทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน
    - หากตุ้มมีช่องปรับน้ำหนัก (adjust cavity) ปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักดังกล่าวต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของปริมาตรของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา และต้องมีวิธีการปิดช่องปรับน้ำหนักโดยเป็นที่จับ (Knob) หรือวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมโดยสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ อีกทั้งต้องมีช่องปรับน้ำหนักเพียงช่องเดียว
9. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1**
    - พิกัดกำลังตั้งแต่ 100 ก.–50 กก. ต้องมีช่องปรับน้ำหนัก
    - พิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก.–50 ก. อาจมีช่องปรับน้ำหนัก สำหรับพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก.–10 ก. ต้องไม่มีช่องปรับน้ำหนัก

- พิกัดกำลังตั้งแต่ 5 กก.–50 กก. รูปทรงสี่เหลี่ยมดังใน รูปที่ 3 และรูปที่ 4 อาจมีช่องปรับน้ำหนักอยู่ภายในมือจับซึ่งเป็นท่อกลมกลวง แต่หากมือจับเป็นแท่งกลมตันช่องปรับน้ำหนักอาจถูกสร้างโดยเจาะให้เป็นหลุมบริเวณตัวตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในตำแหน่งที่ปากช่องปรับอยู่ส่วนบนของผิวตุ้มด้านบน หรือวิธีการอื่นที่สำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ โดยช่องปรับน้ำหนักต้องถูกซีลด้วยปลั๊กอุดขันเกลียวหรือแผ่นปิดปะกับ โดยวัสดุดังกล่าวอาจเป็นทองเหลืองหรือวัสดุอื่นๆ ที่เหมาะสม โดยปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักดังกล่าวต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของปริมาตรของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา หลังจากทำการปรับน้ำหนักในครั้งแรกแล้วปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักต้องเหลืออยู่อีกไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 ของช่องปรับน้ำหนักหรือสามารถเติมน้ำหนักได้เท่ากับ 5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด
- พิกัดกำลังตั้งแต่ 100 ก.–10 กก. สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีรูปร่างทรงกระบอก ต้องมีช่องปรับน้ำหนักโดยเจาะช่องเข้าไปในแกนของตุ้ม โดยปากทางช่องปรับน้ำหนักอยู่บริเวณมือจับ (knob) ส่วนบนของตุ้ม หรือวิธีการอื่นที่สำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ โดยปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักดังกล่าวต้องไม่เกิน 1 ใน 5 ของปริมาตรของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ช่องปรับน้ำหนักสร้างโดยทำการเจาะช่องในแกนของตุ้มน้ำหนักและต้องถูกซีลด้วยปลั๊กอุดขันเกลียวหรือแผ่นปิดปะกับ หลังจากทำการปรับน้ำหนักในครั้งแรกแล้วปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักต้องเหลืออยู่อีกไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 ของช่องปรับน้ำหนักหรือสามารถเติมน้ำหนักได้เท่ากับ 5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

10. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_2 และ M_3**
    - พิกัดกำลังตั้งแต่ 100 ก.–50 กก. ต้องมีช่องปรับน้ำหนัก
    - ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_2 พิกัดกำลังตั้งแต่ 20 ก.–50 ก. อาจมีช่องปรับน้ำหนัก สำหรับพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก.–10 ก. ต้องไม่มีช่องปรับน้ำหนัก

- พิกัดกำลังตั้งแต่ 5 กก.–50 กก. รูปทรงสี่เหลี่ยมดังใน รูปที่ 3 และรูปที่ 4 อาจมีช่องปรับน้ำหนักอยู่ภายในมือจับซึ่งเป็นท่อกลมกลวง แต่หากมือจับเป็นแท่งกลมตันช่องปรับน้ำหนักอาจถูกสร้างโดยเจาะให้เป็นหลุมบริเวณตัวตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในตำแหน่งที่ปากช่องปรับอยู่ส่วนบนของผิวตุ้มด้านบน หรือวิธีการอื่นที่สำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ โดยช่องปรับน้ำหนักต้องถูกซีลด้วยปลั๊กอุดขันเกลียวหรือแผ่นปิดปะกับ หลังจากทำการปรับน้ำหนักในครั้งแรกแล้ว ปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักต้องเหลืออยู่อีกไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 ของช่องปรับน้ำหนักหรือสามารถเติมน้ำหนักได้เท่ากับ 5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด
- หากช่องปรับน้ำหนักอยู่ภายในมือจับ ช่องปรับดังกล่าวต้องปิดด้วยปลั๊กอุดขันเกลียว หรือแผ่นปิดปะกับซึ่งยากแก่การเปิดด้วยมือเปล่า โดยปลั๊กอุดขันเกลียวหรือแผ่นปิดปะกับต้องทำด้วยทองเหลืองหรือโลหะที่เหมาะสม และถูกปิดทับด้วยตะกั่วอีกชั้นหนึ่งก็ได้เพื่อสามารถประทับตราให้คำรับรอง
- หากช่องปรับน้ำหนักถูกสร้างโดยเจาะให้เป็นหลุมบริเวณตัวตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในตำแหน่งที่ปากช่องปรับอยู่ส่วนบนของผิวตุ้มด้านบน บริเวณปากช่องปรับน้ำหนักดังกล่าวต้องถูกปิดไว้ด้วยแผ่นโลหะอ่อนหรือโลหะอื่นที่เหมาะสมปิดทับด้วยตะกั่วอีกชั้นหนึ่งตอกอัดเข้ากับตัวตุ้ม
- พิกัดกำลังตั้งแต่ 100 ก.–10 กก. สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีรูปร่างทรงกระบอก ต้องมีช่องปรับน้ำหนักโดยเจาะช่องเข้าไปในแกนของตุ้ม โดยปากทางช่องปรับน้ำหนักอยู่บริเวณมือจับ (knob) ส่วนบนของตุ้ม หรือวิธีการอื่นที่สำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ ช่องปรับน้ำหนักสร้างโดยทำการเจาะช่องในแกนของตุ้มน้ำหนักและต้องถูกซีลด้วยปลั๊กอุดขันเกลียวหรือแผ่นปิดปะกับ หลังจากทำการปรับน้ำหนักในครั้งแรกแล้วปริมาตรของช่องปรับน้ำหนักต้องเหลืออยู่อีกไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 ของช่องปรับน้ำหนักหรือสามารถเติมน้ำหนักได้เท่ากับ 5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

วัสดุ (Material) ความหนาแน่น (Density)

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทำด้วยวัสดุซึ่งต้านทานต่อการกัดกร่อน โดยการเปลี่ยนแปลงของมวลจากการใช้งานน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่ให้ไว้ภายใต้สภาวะการใช้งานปกติ

ในทางปฏิบัติแล้ววัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1, M_2 และ M_3 ต้องไม่เป็นสารแม่เหล็ก (nonmagnetic) อีกทั้งมือจับต้องทำด้วยท่อไร้ตะเข็บ (seamless) หรือเหล็กเป็นชิ้นเนื้อเดียวกับตัวตุ้มน้ำหนัก

1. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_1 และ F_2

- ความแข็งและความเปราะ (hardness and brittleness) ของวัสดุซึ่งใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในชั้นนี้ต้องมีค่าอย่างน้อยเท่ากับทองเหลือง (drawn brass)
- โลหะหรือโลหะอัลลอยล์ที่ใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องไม่เป็นสารแม่เหล็ก (nonmagnetic) โดยมีค่า magnetic susceptibility ไม่เกิน $\kappa = 0.05$

2. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1

- สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรารูปทรงสี่เหลี่ยมพิกัดกำลัง 5 กก.–50 กก. ต้องมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนสึกหรอได้ไม่น้อยกว่าของเหล็กหล่อเทา (gray cast iron) และความเปราะต้องไม่เกินของเหล็กหล่อเทา (gray cast iron)
- สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรารูปทรงกระบอกพิกัดกำลังไม่เกิน 10 กก. ต้องทำด้วยทองเหลืองหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติดีกว่า
- สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังไม่เกิน 1 ก. ต้องทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน สึกหรอและเกิดออกไซด์ (Oxidation), ต้องไม่มีทำการเคลือบผิวของตุ้ม ยกเว้นตุ้มน้ำหนักพิกัดกำลัง 1 ก. ทรงกระบอกอาจใช้วิธีการชุบผิว (surface treatment)

3. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_2 และ M_3**

- สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรารูปทรงสี่เหลี่ยมพิกัดกำลัง 5 กก.–50 กก. ต้องทำด้วยเหล็กหล่อเทา (gray cast iron) หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง
- สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรารูปทรงกระบอกพิกัดกำลังไม่เกิน 10 กก. ต้องทำด้วยวัสดุมีคุณสมบัติแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนสึกหรอได้ไม่น้อยกว่าของทองเหลือหล่อ (cast brass) และความเปราะต้องไม่เกินของเหล็กหล่อเทา (gray cast iron) แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรใช้เหล็กหล่อเทากับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราขนาดต่ำกว่า 100 ก.

สำหรับความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักต้องไม่ก่อให้เกิดผลผิดเกินกว่า 1 ใน 4 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเมื่อความหนาแน่นของอากาศเบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดไว้ที่ 1.2 กก./ลบ.ม. ด้วย 10% ด้วยเหตุนี้เราสามารถหาช่วงความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราแต่ละชั้นด้วยสมการ

$$D = \frac{1}{\left(\frac{0.25\frac{f}{M_n}}{D_a - D_0}\right) + \left(\frac{1}{8{,}000}\right)} \quad \text{(กก./ลบ.ม.)}$$

เมื่อ

D = ค่าขอบเขตความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา(กก./ลบ.ม.)

f = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

M_n = พิกัดกำลังของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

D_a = ความหนาแน่นของอากาศขณะทำการชั่ง (กก./ลบ.ม.)

D_0 = ความหนาแน่นอ้างอิงของอากาศ เท่ากับ 1.2 กก./ลบ.ม.

หรือสามารถดูได้จากตารางที่ 3 ขอบเขตความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในชั้นต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ขอบเขตความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราในชั้นต่างๆ

Minimum and maximum limits for density (ρ_{min} , ρ_{max})

Nominal value	ρ_{min} , ρ_{max} (10^3 kg·m^{-3})					
	Class E_1	Class E_2	Class F_1	Class F_2	Class M_1	Class M_2
≥100 g	7.934...8.067	7.81...8.21	7.39...8.73	6.4...10.7	≥4.4	≥2.3
50 g	7.92...8.08	7.74...8.28	7.27...8.89	6.0...12.0	≥4.0	
20 g	7.84...8.17	7.50...8.57	6.6...10.1	4.8...24.0	≥2.6	
10 g	7.74...8.28	7.27...8.89	6.0...12.0	≥4.0	≥2.0	
5 g	7.62...8.42	6.9...9.6	5.3...16.0	≥3.0		
2 g	7.27...8.89	6.0...12.0	≥4.0	≥2.0		
1 g	6.9...9.6	5.3...16.0	≥3.0			
500 mg	6.3...10.9	≥4.4	≥2.2			
200 mg	5.3...16.0	≥3.0				
100 mg	≥4.4	≥2.3				
50 mg	≥3.4					
20 mg	≥2.3					

ผิว (Surface Conditions)

1. ภายใต้สภาวะการใช้งานปกติคุณภาพของผิวตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมวลของตุ้มแต่อย่างใด
2. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลังไม่เกิน 5 กก. ต้องไม่ทำการพ่นหรือทาสีหรือเคลือบผิว โดยเฉพาะตุ้มน้ำหนักแบบมาตราซึ่งมีลักษณะแผ่นหรือเป็นเส้นลวด
3. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_1 และ F_2 ผิวต้องราบเรียบขอบต้องมนอีกทั้งต้องไม่เป็นรูพรุน เมื่อดูด้วยสายตาเปล่าต้องมันวาว
4. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1 M_2 และ M_3 รูปทรงกระบอกพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก. จนถึง 10 กก. ผิวต้องราบเรียบขอบต้องมน อีกทั้งต้องไม่เป็นรูพรุนเมื่อดูด้วยสายตาเปล่า
5. ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1 M_2 และ M_3 รูปทรงสี่เหลี่ยมพิกัดกำลัง 5 กก. ,10 กก. , 20 กก., 50 กก. 100 กก. และ 500 กก. ผิวต้องราบเรียบขอบต้องมนคล้ายผิวของเหล็กหล่อเทาเมื่อถูกหล่อด้วยแบบพิมพ์ทรายละเอียด

(fine sand mold) อีกทั้งต้องไม่เป็นรูพรุนเมื่อดูด้วยสายตาเปล่า พื้นผิวของตุ้มอาจมีการเคลือบด้วยสีหรือวัสดุเคลือบใดๆ ที่เหมาะสม ยกเว้นระบบสีแบบ Epoxy และ plated surface ห้ามใช้กับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

6. หากสามารถตรวจสอบความเรียบของผิวตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ค่าที่ยอมให้สูงสุดสำหรับความเรียบของผิวตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้เป็นดังตามตารางที่ 4 โดยค่า R_z คือค่าเฉลี่ยของยอดผิวเทียบกับความสูง (average peak to valley height) ตาม ISO

ตารางที่ 4 ค่าที่ยอมให้สูงสุดสำหรับความเรียบของผิวตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Maximum values of surface roughness)

Class	E_1	E_2	F_1	F_2
R_z	0.5	1	2	5

วัสดุปรับน้ำหนัก (Adjusting material)

วัสดุปรับน้ำหนักต้องไม่เป็นสนิมได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับผิวชิ้นงานของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา แนะนำให้เป็นตะกั่ว (lead) จะเหมาะสม หรือโลหะ

การแสดงเครื่องหมาย (Markings)

การแสดงพิกัดกำลังของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องแสดงให้เห็นชั้นสำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_2, M_1, M_2, M_3 โดยอยู่ในหน่วย

กก. หรือ kg สำหรับพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 กก. ขึ้นไป
ก. หรือ g สำหรับพิกัดกำลังตั้งแต่ 1 ก. ถึง 500 ก.

ในกรณีที่ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีขนาดพิกัดกำลังเท่ากันตุ้มที่เหลือให้แสดงเครื่องหมายจุดหรือดอกจัน (asterisk) 1 จุด หรือ 1 ดอก โดยจะเพิ่มจำนวนจุด

และจำนวนดอกตามจำนวนตุ้มน้ำหนักที่มีพิกัดกำลังเท่ากัน ยกเว้นตุ้มน้ำหนักแบบมาตราแบบแผ่นหรือเส้นลวดอาจแสดงด้วยวิธีอื่นให้แตกต่างกัน

1. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_1 และ F_2**
   - พิกัดกำลังตั้งแต่ 1 กก. จนถึง 50 กก. แสดงค่าพิกัดอย่างเดียวไม่ต้องแสดงหน่วย
   - สำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class F_1 ไม่ต้องแสดงลำดับชั้น **" F_1"**
2. **ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Class M_1, M_2 และ M_3**
   - รูปทรงสี่เหลี่ยมพิกัดกำลัง ตั้งแต่ 5 กก. ถึง 50 กก. แสดงค่าพิกัดพร้อมด้วยหน่วย กก. หรือ kg บริเวณผิวด้านบนของตุ้มให้เห็นชัดเจน
   - รูปทรงกระบอกพิกัดกำลัง ตั้งแต่ 1 ก. ถึง 10 กก. แสดงค่าพิกัดพร้อมด้วยหน่วย กก. หรือ kg หรือ ก. หรือ g บริเวณผิวด้านบนของตุ้มให้เห็นชัดเจน
   - ให้แสดงลำดับชั้นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราว่าเป็น Class ใด **"M_1" "M_2"** หรือ **"M_3"**

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังและชั้นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ดังในตารางที่ 1 และสามารถเทียบเท่ากับชั้นความเที่ยงของมาตรฐานอื่นโดยดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

รอบอายุการสอบเทียบ

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรากำหนดให้มีอายุการสอบเทียบ 2 ปี

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการแบ่งชั้นตุ้มน้ำหนักตามมาตรฐาน OIML–ASTM–NBS(NIST)

เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงใดละเอียดมากพอ สำหรับการสอบเทียบปริมาตรด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก

สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Non-automatic Weighing Instrument) ซึ่งมีอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบันนี้ OIML (International Organization of Legal Metrology) R76 ได้จำแนกชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งออกตามขีดความสามารถของเครื่องชั่งออกได้ 4 ชั้นความเที่ยง คือ

ชั้น I
ชั้น II
ชั้น III
ชั้น IIII

ในการจำแนกชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งดังกล่าวเป็นการจำแนกตามขีดความสามารถของผลการชั่งของเครื่องชั่ง ไม่ได้จำแนกตามหลักการทำงานซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลากหลายขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตที่ผลิตเครื่องชั่งดังกล่าว ก่อนที่จะทราบเกณฑ์การแบ่งชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ก็จะเป็นการปูพื้นฐานถึงคำนิยามพอสังเขปดังนี้คือ

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Non-automatic weighing instrument) หมายความว่า เครื่องชั่งที่ต้องใช้ผู้ชั่งทำการชั่งในระหว่างการชั่ง เช่น การยก–วางสิ่งของหรือตุ้มน้ำหนักบนเครื่องชั่ง และการอ่านผลการชั่ง

ค่าขั้นหมายมาตราของเครื่องชั่ง (Actual scale interval, d) คือ ค่าที่แสดงเป็นหน่วยของน้ำหนักของความแตกต่างระหว่างค่าของขั้นหมายมาตรา 2 ขั้นที่ต่อเนื่องกัน (สำหรับการแสดงค่าแบบอนาลอก) หรือความแตกต่างระหว่างค่าที่แสดง 2 ค่าที่ต่อเนื่องกัน (สำหรับการแสดงค่าแบบดิจิตอล)

ค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (Verification scale interval,e) คือ ค่าที่ใช้สำหรับแบ่งชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งและสำหรับการคำนวณค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดในการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่ง ค่านี้แสดงเป็นหน่วยของน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว e = d และในการกำหนดค่า e บริษัทผู้ผลิตเครื่องชั่งจะเป็นผู้กำหนด ซึ่งนั้นหมายถึงบริษัทผู้ผลิตยืนยันถึงความแม่นยำเที่ยงตรงของเครื่องชั่งของตัวเอง แต่อย่างไรก็ตามต้องดำเนินการกำหนดตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังตารางแบ่งชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง

จำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (Number of verification scale intervals, n) สำหรับเครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งเพียงช่วงเดียว คือ อัตราส่วนระหว่างค่าพิกัดกำลังสูงสุดกับค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง

$$\text{จำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n)} = \frac{\text{ค่าพิกัดกำลังสูงสุด (Max)}}{\text{ค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)}}$$

พิกัดกำลังสูงสุด (Maximum capacity, Max) คือ ความสามารถของเครื่องชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้มากที่สุด โดยไม่รวมกับความสามารถในการทดน้ำหนัก

พิกัดกำลังต่ำสุด (Minimum capacity, Min) คือ ความสามารถของเครื่องชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้น้อยที่สุด โดยไม่ทำให้ผลการชั่งมีผลผิดสัมพัทธ์มากเกินกว่าที่ควรจะนำเครื่องชั่งไปใช้ชั่ง

น้ำหนักปลอดภัยสูงสุด (Maimum safe load, Lim) คือ น้ำหนักมากที่สุดที่เครื่องชั่งรับน้ำหนักได้โดยไม่ทำให้คุณภาพและความถูกต้องของเครื่องชั่งเปลี่ยนไป

ดังนั้นเกณฑ์การแบ่งชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดดังต่อไปนี้

ชั้นความเที่ยง	ค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง e	จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n = Max/e)		พิกัดกำลังต่ำสุด (Min.)
		จำนวนต่ำสุด	จำนวนสูงสุด	
ชั้น I	0.001 ก. ≤ e	50000		≥ 100e
ชั้น II	0.001 ก. ≤ e ≤ 0.05 ก.	100	100000	≥ 20e
	0.1 ก. ≤ e	5000	100000	≥ 50e
ชั้น III	0.1 ก. ≤ e ≤ 2 ก.	100	10000	≥ 20e
	5 ก. ≤ e	500	10000	≥ 20e
ชั้น IIII	(5 ก. ≤ e)	100	1000	≥ 10e

จากตารางข้างบนเราจะเห็นได้ว่าจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (Number of verification scale intervals, n) ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class I นั้นจะไม่จำกัดจำนวน แต่เท่าที่มีการผลิตกันมีถึง $n = 4.1 \times 10^5$ e

ในขณะเดียวกันจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองก็อาจจะเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความแม่นยำของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มี class (ชั้นความเที่ยง) เดียวกันได้ระดับหนึ่ง ตัวอย่างเช่นเมื่อเปรียบเทียบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III ที่มีค่า n = 4,000 พบว่ามีคุณสมบัติดีกว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Class III ที่มีค่า n = 3,000 เช่น ในแง่ของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด แต่ก็ไม่เสมอไปทุกกรณี

สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งหลายช่วง (multiple range instruments) และเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าขั้นหมายมาตราได้ (multi-interval instruments) จำเป็นต้องศึกษาการกำหนดค่า e ให้เหมาะสม ซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้

OIML R76 ได้กำหนดอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการให้คำรับรองชั้นแรกและการให้คำรับรองชั้นหลังเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติดังตารางข้างล่างนี้ โดยอนุญาตให้มีผลผิดทั้งทางฝ่ายข้างมากและฝ่ายข้างน้อยดังนี้

อัตรา เผื่อเหลือ เผื่อขาด	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของ ค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)			
	ชั้น I	ชั้น II	ชั้น III	ชั้น IIII
0.5 e	$0 \le m \le 50000$	$0 \le m \le 5000$	$0 \le m \le 500$	$0 \le m \le 50$
1.0 e	$50000 < m \le 200000$	$5000 < m \le 20000$	$500 < m \le 2000$	$50 < m \le 200$
1.5 e	$200000 < m$	$20000 < m \le 100000$	$2000 < m \le 10000$	$200 < m \le 1000$

ดังนั้นในการพิจารณาเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติเพื่อใช้งานในการสอบเทียบปริมาตรของเหลวด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักควรพิจารณาเลือกเครื่องชั่งดังกล่าวให้มีค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ

$$e \le 2 \times 10^{-3} \times MPE. \times W$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของปริมาตรทดสอบ (g)

MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรที่ต้องการทดสอบ (%)

หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2% ของผลคูณระหว่างน้ำหนักของปริมาตรทดสอบกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรทดสอบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ผลการสอบเทียบที่น่าเชื่อถือและเครื่องชั่งยังคงสามารถให้ผลการชั่งได้ละเอียดและถูกต้องมากพอ แต่สมการข้างบนนี้ใช้ได้กับการสอบเทียบปริมาตรของเหลวด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่มีน้ำหนักไม่สูงมากจนเกินไปเพราะมีข้อจำกัดของเครื่องชั่งและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

พบว่าในทางปฏิบัติหากต้องการสอบเทียบปริมาตรของเหลวด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่มีน้ำหนักสูงๆ เช่น 1000 kg หรือ 3000 kg เป็นต้น สามารถกระทำได้ยากเนื่องจากในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องชั่งหรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าผู้ผลิต Load cells ยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคที่จะสามารถผลิตให้ได้ค่า e ตามความต้องการดังใน

สมการข้างบน โดยเฉพาะหากต้องการใช้เครื่องชั่ง Class III ซึ่งตามข้อกำหนด OIML R76 แม้จะกำหนดให้มีค่า Max. = 10,000e แต่จริงๆ แล้วเครื่องชั่งในท้องตลาดที่มีอยู่และให้ผลการชั่งที่น่าเชื่อถือได้จะมีค่า Max ไม่ควรเกิน 3000e หรืออย่างดีที่สุดก็ทำได้เพียง 5000e หากพบว่าเครื่องชั่ง Class III ใดมีค่า Max. = 10,000e นั้นก็คงเป็นผลของการจัดการของ Display ของเครื่องชั่งซึ่งจะไปแบ่งและขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของ load cells ให้ละเอียดมากขึ้นและยิ่งสัญญาณละเอียดเท่าใดความแรงของสัญญาณยิ่งอ่อนลงเท่านั้นซึ่งการกระทำดังกล่าวจะส่งผลต่อความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งโดยตรงเพราะปกติแล้วเครื่องชั่ง Class III และ Class IIII ติดตั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิ การสั่นสะเทือนหรืออาจได้รับการรบกวนจากสัญญาณคลื่นแม่เหล็กต่างๆ อีกด้วย

ตัวอย่าง 1 มาตรวัดสำหรับแอลกอฮอล์มีอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 5–50 l/min ซึ่งจัดเป็นมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 นั้น หมายถึง มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเมื่อติดตั้งเข้ากับระบบการวัดปริมาตรของเหลวแล้วเท่ากับ ±0.5% ของปริมาตรทดสอบ และนอกจากนี้ปริมาณน้อยที่สุดที่วัดได้ของมาตรวัดสำหรับแอลกอฮอล์มีค่าเท่ากับ V_{min} = 5 l จงพิจารณา

ก.) หากต้องการทดสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวด้วยถังตวงแบบมาตราขนาด 50 ลิตร โดยวิธีการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติซึ่งมีขีดขั้นหมายมาตราตรวจรับรองมีค่าเท่ากับ e = d = 20 g, Max. = 60 kg, ชั้นความเที่ยง III มีส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล (Digital display) ต้องการทราบว่าขนาดปริมาตรที่ทดสอบเพียงพอหรือไม่

ข.) หากตรวจสอบมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบเท่ากับ 20 ลิตร ด้วยถังตวงแบบมาตราขนาด 20 ลิตร โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติมีค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง e = d = 20 g Max. = 60 kg, ชั้นความเที่ยง III มีส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล (Digital Indicating Device) และใช้ของเหลวทดสอบเป็น อัลกอฮอล์ ผลการชั่งจากเครื่องชั่งจะมีค่าเป็นอย่างไรและเครื่องชั่งดังกล่าวยังคงให้ผลการชั่งละเอียดมากพอหรือไม่ สมมุติให้มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำงานได้ถูกต้องแม่นยำและไม่มีผลผิด

พิจารณา ก.)

ความหนาแน่นของอัลกอฮอล์ ρ_{Alg}= 0.8 Kg/l

จาก

$$e \leq 2\times10^{-3}\times \text{MPE.}\times W$$

หากต้องการสอบเทียบมาตรวัดด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักต้องตรวจสอบด้วยน้ำหนักของของเหลวอย่างน้อยเท่ากับ

$$W \geq \frac{e}{\text{MPE}}\times\frac{10^3}{2} = \frac{20\times10^3}{0.5\times2} = \quad 20 \text{ kg}$$

นั่นหมายถึงเครื่องดังกล่าวสามารถใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของปริมาตรทดสอบได้ตั้งแต่ 20 kg โดยยังคงให้ความถูกต้องและสามารถทำการตรวจสอบและตัดสินใจได้หากมีผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด จากความหนาแน่นของอัลกอฮอล์ ρ_{Alg}= 0.8 Kg/l ดังนั้นอัลกอฮอล์ที่มีค่าเท่ากับ 20 kg จะมีปริมาตรเท่ากับ

ปริมาตรอัลกอฮอล์ $= \dfrac{20\text{kg}}{\rho_{Alg}} = \dfrac{20\text{kg}}{0.8\text{ kg/l}} = 25\text{ l}$

ด้วยเหตุนี้สรุปได้ว่าเราสามารถตรวจสอบให้คำรับรองโดยใช้ถังตวงแบบมาตราขนาด 50 ลิตร โดยวิธีชั่งน้ำหนักได้ด้วยเครื่องชั่งซึ่งมีค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง $e = d = 20$ g ได้ ***Ans***

พิจารณา ข.)

เมื่อสมมุติให้มาตรวัดปริมาตรของเหลวทำงานได้ถูกต้องแม่นยำและไม่มีผลผิด และหลังจากทำการสอบเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 20 kg ผลต่างที่เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักไม่ต่างกับค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรานั้นคือ

ผลแสดงค่าน้ำหนักบนจอแสดงค่าของเครื่องชั่ง–น้ำหนักของตุ้ม 20.000 Kg = 0

แต่เนื่องจากวิธีการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักของเหลวจำเป็นต้องทำการสอบเทียบเทียบกับตุ้มน้ำหนักดังนั้นเพื่อลดอิทธิพลของแรงลอยตัวซึ่งกระทำต่อปริมาตรของอัลกอฮอล์กับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่แตกต่างกัน

พิจารณาตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพบว่า ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีค่าเท่ากับ 8,000 กก./ลบ.ม. ที่ความหนาแน่นของอากาศ 1.2 กก./ลบ.ม. ที่อุณหภูมิ 20°C นั่นคือ ρ_{weight} =8 kg/l (1 dm^3 = 1 l)

ปริมาตรของตุ้มน้ำหนัก $= \frac{20kg}{\rho_{weight}} = \frac{20kg}{8.0\ kg/l} = 2.5\ l$

ปริมาณของอัลกอฮอล์ $= \frac{20kg}{\rho_{Alg}} = \frac{20kg}{0.8\ kg/l} = 25\ l$

จะเห็นได้ว่าอัลกอฮอล์มีปริมาตรมากกว่าปริมาณของตุ้มน้ำหนัก ดังนั้นจึงมีแรงกระทำเนื่องจากแรงลอยตัวมีค่ามากกว่าแรงลอยตัวกระทำต่อตุ้มน้ำหนักด้วยเหตุนี้ความแตกต่างของแรงลอยตัวอันเนื่องจากอากาศกระทำต่างกันระหว่างปริมาตรอัลกอฮอล์กับปริมาตรตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีค่า (ความหนาแน่นของอากาศ ρ_{Air} = 1.2 Kg/m^3 = 1.2 g/l)

ผลต่างปริมาตร = ปริมาตรอัลกอฮอล์-ปริมาตรตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา
= 25 l-2.5 l = 22.5 l

เนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศ $= \rho_{air} \bullet g \bullet V$ $(Kg/m^3)* m^3$
ผลต่างของแรงลอยตัวของอากาศ $= (1.2\ g/l) \times g \times 22.5\ l$
(ในเทอมของน้ำหนัก) $= 27$ g.
$= 0.027$ kg.

เมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเดียวกัน 20 kg ระหว่างน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักกับน้ำหนักอัลกอฮอล์แต่เครื่องชั่งจะแสดงผลการชั่งที่แตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของแรงลอยตัว มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.027 kg หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือหากเครื่องชั่งแสดงผลการชั่งตุ้มน้ำหนักพิกัดกำลัง 20 kg เท่ากับ 20 kg เครื่องชั่งจะแสดงน้ำหนักอัลกอฮอล์ 20 kg เท่ากับ

= น้ำหนักของตุ้ม–น้ำหนักเนื่องจากผลต่างของแรงลอยตัวของอากาศ

= 20.000 kg–0.027 kg

= 19.973 kg = 19,973 g

แต่เนื่องจากเราใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีค่า e เท่ากับ 20 g นั้นคือเครื่องชั่งจะแสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 20 g เช่น 0 g, 20 g, 40 g, 60 g, 80 g, 100 g เท่านั้น สำหรับค่าน้ำหนักที่ 73 g เครื่องชั่งจะไม่แสดงค่าหรือเราไม่สามารอ่านค่าน้ำหนักได้นั่นเอง นั้นหมายถึงเครื่องชั่งดังกล่าวไม่เหมาะสมที่เลือกใช้ในการสอบเทียบปริมาตรด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่ 20 g จำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใหม่ให้มีค่า e น้อยลงเท่ากับ 1 g เป็นอย่างน้อย, Max. = 60 kg, ชั้นความเที่ยง II การที่เราต้องเลือกพิกัดกำลังสูงสุด 60 kg ทั้งนี้ก็เพื่อเผื่อไว้สำหรับน้ำหนักของถังตวงแบบมาตรา ***Ans***

ระบบโหลดเซล (Loadcell system) ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

โหลดเซลนับเป็นหัวใจของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับการพัฒนาทั้งจากหน่วยงานวิจัยของรัฐและภาคเอกชน เพื่อต้องการเพิ่มขีดความสามารถและความแม่นยำของโหลดเซล และเพื่อให้ได้ผลการชั่งที่ถูกต้องแม่นยำตามที่ออกแบบไว้ ด้วยเหตุนี้พอจะแบ่งระบบโหลดเซลที่ได้รับการพัฒนาและนิยมใช้กันในปัจจุบัน 2 ระดับด้วยกันคือ

1. ระบบโหลดเซลแบบอนาล็อก (A common analogue system)

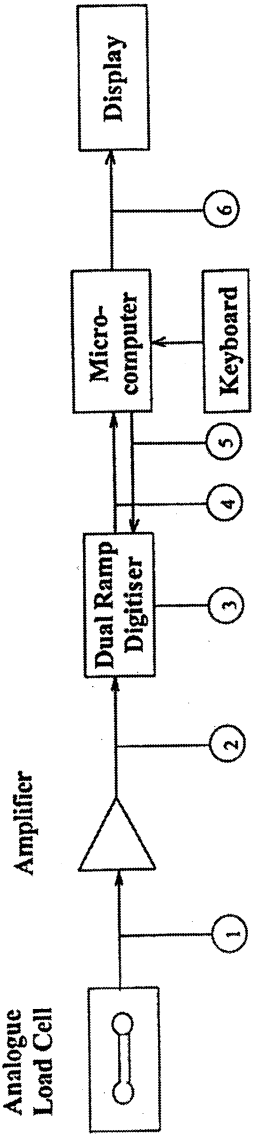
เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีระบบโหลดเซลแบบอนาล็อกประกอบทำงานอยู่นั้นเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติมากที่สุด ลักษณะขั้นตอนการทำงานจะประกอบด้วย ดังรูปที่ 1

หมายเลข 1 สัญญาณด้านทางออกของโหลดเซล (Load cell output) มีค่าประมาณ 0–30 mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายด้วยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0–5 V

หมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converters) แบบ Dual ramp digitiser converts ทำการแปรสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลด้านทางออกจากตัวขยายและทำการนับจำนวนสัญญาณพัลซ์แบบดิจิตอล

หมายเลข 4 จำนวนพัลซ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซล ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลซ์จะประกอบด้วยทั้งน้ำหนักตาย (Dead Load) เช่น น้ำหนักส่วนรับน้ำหนักและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Life Load) ก็คือน้ำหนักวัสดุที่ต้องการชั่ง



รูปที่ 1 ระบบโหลดเซลแบบอนาล็อก (Common analogue system)

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

หมายเลข 6 หลังสัญญาณจากตำแหน่ง 4 ก็จะถูกส่งไปประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณไปเพื่อแสดงค่าโดยจอแสดงค่า (Display)

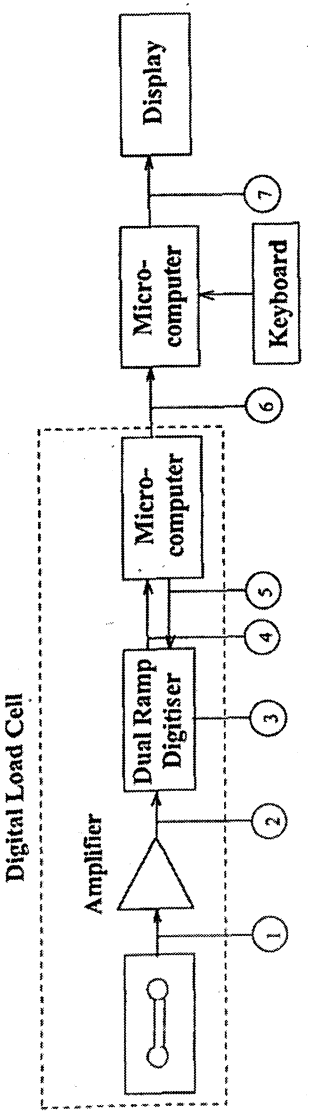
2. ระบบโหลดเซลแบบดิจิตอล (A common digital system)

เนื่องจากผู้ผลิตโหลดเซลได้เริ่มพัฒนาเทคโนโลยี่โหลดเซลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และการที่มีความต้องการควบคุมเครื่องชั่งได้ระยะทางไกลมากขึ้นโดยอาจติดตั้งโหลดเซลห่างจากจอแสดงค่าได้ถึง 20 เมตรด้วยสายสัญญาณชนิด RS-232C ส่งผลให้เกิด "Digital Load Cell" เป็นระบบโหลดเซลแบบดิจิตอลระบบใหม่ขึ้นมา ด้วยการรวมเอาขั้นตอนการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบโหลดเซลแบบอนาล็อกให้จบอยู่ภายในส่วนเดียวรวมทั้งทำการประมวลผลต่างๆ ให้จบลง ณ ตำแหน่งที่โหลดเซลติดตั้ง โดยไม่จำเป็นต้องส่งสัญญาณด้านทางออกของโหลดเซลไปประมวลผลที่ห้องควบคุมที่มีระยะห่างไกลออกไปจากตำแหน่งติดตั้งโหลดเซลอีกทั้งยังลดปัญหาการสูญเสียของสัญญาณในระหว่างทางอีกด้วย ดูรูปที่ 2 เป็นลักษณะขั้นตอนการทำงาน

หมายเลข 1 สัญญาณด้านทางออกของโหลดเซล (Load cell output) มีค่าประมาณ 0-30 mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายด้วยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นมีค่าประมาณ 0-5 V

หมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converters) แบบ Dual ramp digitiser converts ทำการแปรสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ด้านทางออกจากตัวขยายและทำการนับจำนวนสัญญาณพัลซ์แบบดิจิตอล



รูปที่ 2 ระบบโหลดเซลแบบดิจิตอล (Common digital system)

หมายเลข 4 จำนวนพัลซ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซล ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลซ์จะประกอบด้วยทั้งน้ำหนักตาย (Dead Load) เช่น น้ำหนักส่วนรับน้ำหนักและน้ำหนักจร (Life Load) ก็คือน้ำหนักวัสดุที่ต้องการชั่ง

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

หมายเลข 6 หลังสัญญาณจากตำแหน่ง 4 ก็จะถูกทำให้เป็นเส้นตรงก่อนและทำการชดเชยผลผิดอันเนื่องจากปัจจัยฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ความยืดตัวโลหะ (creep), และ hysteris เป็นต้น โดยไมโครชิปซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวโหลดเซลชนิดดิจิตอลชนิดนี้เสียก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปจากตัวโหลดเซลส่งไปประมวลผล

หมายเลข 7 สัญญาณส่งไปยังจอแสดงค่า (Display) เพื่อแสดงผลการชั่ง, ราคาต่อหน่วย หรือ ค่าอื่นๆ

โหลดเซลในเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

(Load Cells in Electronic Weighing Instruments)

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติในปัจจุบันเป็นเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีบทบาททั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละประเทศตลอดจนภูมิภาคและโลกอย่างมากเนื่องจากถูกใช้เป็นอุปกรณ์ในการบ่งบอกปริมาณสินค้าและมูลค่าการซื้อขายและการแลกเปลี่ยนกัน, การเก็บภาษีอากร รวมไปถึงค่าธรรมเนียมต่างๆ ของแต่ละประเทศ นอกจากนี้ยังครอบคลุมถึงมาตรฐานการผลิตของภาคอุตสาหกรรมหรือแม้แต่ความเป็นธรรมทางการค้าระหว่างบุคคลหรือประเทศอีกด้วย เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นเครื่องชั่งชนิดหนึ่งในหลายประเภทของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ได้รับการนิยมเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ไม่เพียงเป็นเครื่องชั่งที่สามารถอ่านค่าผลการชั่งได้ง่ายและมีความแม่นยำสูงน่าเชื่อระดับหนึ่งเท่านั้นแต่ยังให้ความสะดวกรวดเร็วในขั้นตอนการชั่ง อีกทั้งยังสามารถนำเครื่องชั่งดังกล่าวประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องสำคัญๆ เช่น การควบคุมปริมาณสินค้าคงคลัง (Stock) ซึ่งช่วยลดเงินทุนเกินความจำเป็นในการสั่งสินค้ามาค้างสต็อกไว้เกินความจำเป็น ในส่วนระบบการจัดการอื่นๆ ยังอาจสามารถจัดทำบาร์โค็ดประจำสินค้านั้นๆ ประกอบการชั่งน้ำหนักไปด้วยก็ได้ เป็นต้น

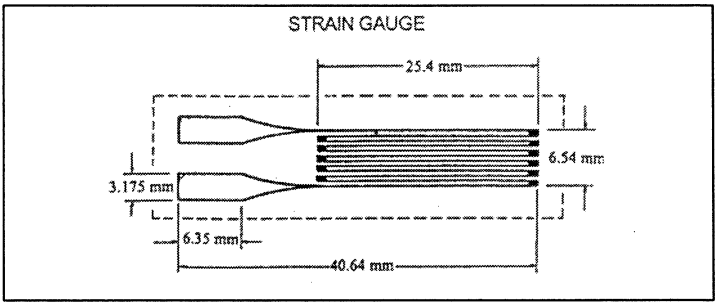
เราพอแบ่งโหลดเซล (Strain Gauge Load Cells) ออกเป็น 2 จำพวกใหญ่คือ

- Canister Type Cells และ
- Beam Cells

ถึงแม้โหลดเซล 2 จำพวกนี้อาจจะถูกแบ่งออกได้หลากหลายรูปแบบก็ตามแต่ลักษณะของการทำงานของโหลดเซลจะมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกันคือ

- แรงอัดและแรงดึง (Compression/Tension force)
- แรงดัด (Bending force) และ
- แรงเฉือน (Shear force)

ภายในเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ โหลดเซลได้ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบปริมาณภาระแรง โหลดเซลประกอบด้วย Strain gauges จำนวนอย่างน้อย 4 ตัว เชื่อมติดอยู่กับแท่งโครงโลหะ (a metal frame) ในตำแหน่งที่ออกแบบไว้ รูปร่างของ Strain gauge จะเป็นเส้นลวดขดไปมาเป็นรูปร่างต่าง ๆ แล้วแต่วัตถุประสงค์การใช้งาน ดูรูปที่ 1 เมื่อนำ Strain gauge ทั้ง 4 ตัวต่อเชื่อมทางไฟฟ้าด้วยวงจร



รูปที่ 1 รูปร่างและขนาดของ Stain gauge โดยทั่วไปที่ใช้กับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัต

วีทสโตนบริด (Wheatstone Bridge Circuit) มาติดตั้งบนแท่งโลหะ โดย Strain gauges จะเป็นตัวตรวจสอบปริมาณภาระแรงเนื่องจากน้ำหนักด้วยการอ่านค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป ดูรูปที่ 2

พิจารณาในรูปที่ 3a) เป็นสภาวะที่แท่งโครงโลหะไม่มีภาระแรงมากระทำ ดังนั้น Strain gauges A, B, C, และ D จึงอยู่ในลักษณะปกติ พิจารณารูปที่ 3b) เมื่อมีน้ำหนัก (load) อยู่บนส่วนรับน้ำหนักจะมีภาระแรงกระทำ (F) ต่อตัวแท่งโครงโลหะซึ่งถูกเชื่อมต่อกับส่วนรับน้ำหนัก แท่งโครงโลหะดังกล่าวจะมีการเสียรูปทรงอย่างเป็นสัดส่วนเมื่อเทียบกับภาระแรงที่มากระทำ ดังนั้นจากรูปที่ 3b) Strain gauge A และ B จะมีสภาวะถูกดึงเกิดแรงดึง (Tension force) กระทำต่อ Strain gauge ทั้งสองดังกล่าวเป็นผลให้ส่วนที่เป็นขดลวดของ Strain gauge มีการขยายตัวเป็นการเพิ่มความยาวขดลวดให้มากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะเดียวกัน Strain gauge C และ D จะมีสภาวะถูก

กดอัดเกิดแรงอัด (Compression force) กระทำต่อ Strain gauge ทั้งสองเป็นผลให้ส่วนที่เป็นขดลวดของ Strain gauge ทั้งสองมีการหดตัวทำให้เกิดการลดความยาวขดลวดลงส่งผลให้ค่าความต้านทานของขดลวดลดลง

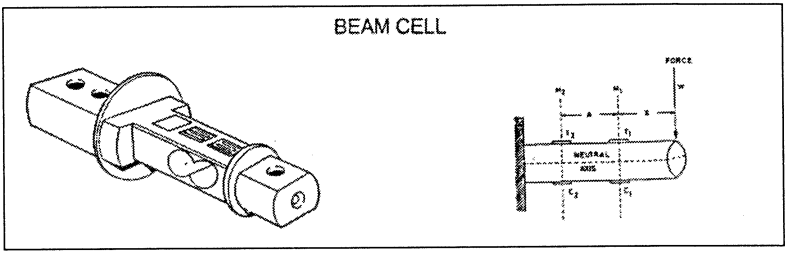
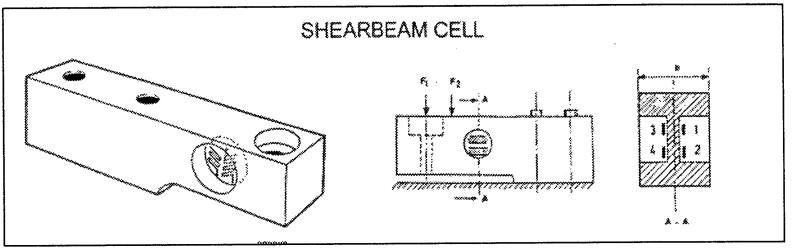
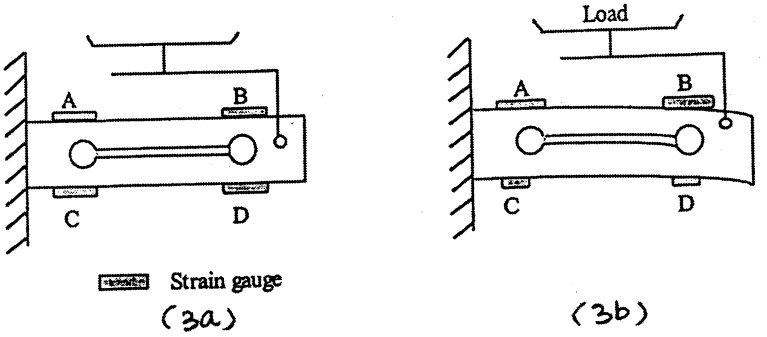


Figure Beam cell

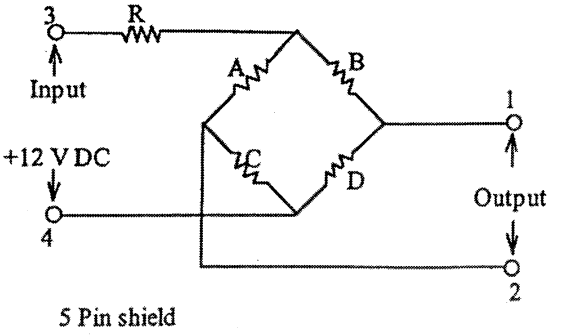


รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้ง Stain gauges บนโหลดเซลแบบ Beam cell และ Shearbeam cell



รูปที่ 3 หลักการทำงานของโหลดเซลเปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่มีน้ำหนักกระทำกับสภาวะเมื่อมีภาระน้ำหนักกระทำ

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของส่วนที่เป็นขดลวดของ Strain gauges ทั้ง 4 ตัวอันเป็นผลจากแรงกระทำต่อแท่งโครงโลหะ ด้วยเหตุนี้วงจรไฟฟ้าซึ่ง Strain gauge ทั้ง 4 เชื่อมต่อระหว่างกัน ดูรูปที่ 4 จึงเกิดเสียความสมดุล อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานโดยเป็นสัดส่วนที่แม่นยำมากเมื่อเทียบกับภาระแรงซึ่งกระทำต่อแท่งโครงโลหะที่เปลี่ยนแปลงไป และก่อให้เกิดสัญญาณด้านออกของตัวโหลดเซลมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear output signal) เมื่อเทียบกับภาระแรงที่กระทำบนโหลดเซล จึงให้ผลการวัดน้ำหนักของเครื่องชั่งด้วยความแม่นยำ



รูปที่ 4 การต่อเชื่อมเป็นวงจรไฟฟ้าวีทสโตนบริด (Wheatstone Bridge Circuit) ของ Stain gauges

นอกจากนี้เรายังพบว่าโหลดเซลซึ่งประกอบด้วย Strain gauge อาจถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้ทั้งรับแรงอัดและแรงดึงหรือแม้กระทั่งแรงเฉือน โดยอาจประกอบด้วยวงจรสำหรับ Strain gauge จำนวน 2 วงจรโดยแยกสัญญาณด้านออกของโหลดเซลออกจากกันก็กระทำได้

แรงดันไฟฟ้าของสัญญาณด้านทางออกของโหลดเซลแบบ Strain gauge นี้มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าหรือแรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (Excitation voltage) โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณด้านทางออกของโหลดเซลจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 3 Millivolts ต่อ 1 Excitation Volt ในขณะที่แรงดันกระตุ้น (Excitation voltage) ซึ่งอาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ก็ได้มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 5 ถึง 25 Volts ดังนั้นการออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระตุ้น, ตัวขยายสัญญาณ (amplifiers) และอุปกรณ์ร่วมต่างๆ ให้เหมาะสมและสอดคล้องกันนั้นจึงมีความสำคัญต่อความแม่นยำของเครื่องชั่งด้วยเช่นกัน

การติดตั้งโหลดเซลให้เหมาะสมกับชนิดนั้นต้องพิจารณาให้รอบคอบและต้องทำการลดภาระแรงแทรกซ้อนที่ไม่ต้องการวัดมีผลต่อการทำงานของ Strain gauges พบว่าโหลดเซลโดยทั่วไปสามารถรับภาระแรงเกินกว่าที่กำหนดออกแบบได้ไม่เกิน 125% แต่อาจจะมีโหลดเซลบางชนิดสามารถทนได้ตั้งแต่ 150% ถึง 500% หากพิจารณาในเรื่องราคาแล้วในปัจจุบันถือว่าราคาไม่ค่อยแพงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่นๆ นอกจากนี้โหลดเซลโดยทั่วไปสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง คือ ประมาณตั้งแต่ 15°F จนถึง 115°F โดยไม่จำเป็นต้องมีวงจรพิเศษเพื่อทำหน้าที่ชดเชยอุณหภูมิของ Strain gauge แต่อย่างใด ในกรณีที่การป้องกันอิทธิพลของอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อความแม่นยำและการทำงานของโหลดเซล ผู้ผลิตอาจใช้ขดลวดชนิด Temperature-insensitive alloys สำหรับทำ Strain gauge อีกทั้งอาจมีตัวทานชดเชย (compensating resistors) ในระบบวงจรการชั่งก็กระทำได้

ก่อนที่จะศึกษาในรายละเอียดของการทำงานของขดลวด strain gauge นั้นก็ทำความเข้าใจและการเรียกส่วนต่างๆ ของขดลวด strain gauge เสียก่อนคือ (ดูรูปที่ 5)

ตะแกรงขดลวด (Grid) คือ เป็นขดลวดขนาดเล็กมากๆ จัดเรียงตัวขดกลับไปกลับมาหรือจะเรียงตัวเป็นวงกลม หรืออาจตั้งมุม 45 องศาเป็นต้น เป็นส่วนที่ตรวจวัดและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอันเนื่องจากความเค้น (Strain) อันเกิดจากการเคลื่อนที่ของชิ้นงานซึ่งขดลวด strain gauge ติดอยู่ ดูรูปที่ 5

สารยึดไม่นำไฟฟ้า (Matrix) คือ เป็นตัวรองรับตะแกรงขดลวด strain gauge (a strain gauge grid) ทำหน้าที่สองประการด้วยกันคือเป็นตัวเชื่อมยึดระหว่างขดลวด strain gauge กับชิ้นงานที่ต้องการวัดแรง ดังนั้นขดลวดจึงมีการ

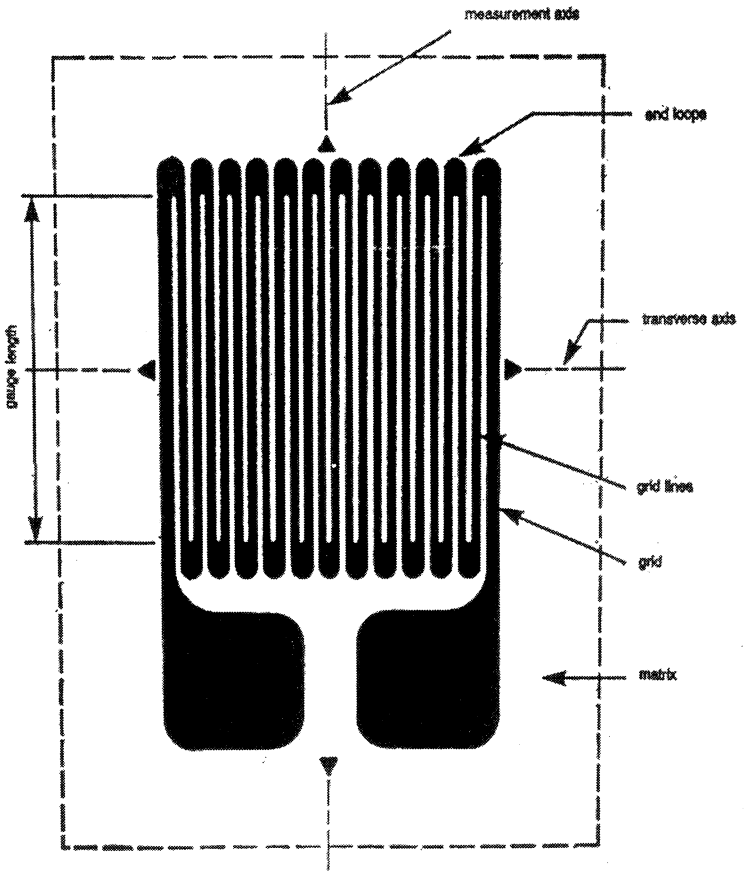


Figure Typical foil strain gauge

รูปที่ 5 รูปร่างลักษณะทั่วไปของ Stain gauge แบบ Foil

เคลื่อนที่ควบคู่ไปพร้อมกับชิ้นงานตลอดเวลา และในขณะเดียวกันจะทำหน้าที่ป้องการขดลวด strain gauge ในกรณีที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลบนแท่งโครงโลหะซึ่งขดลวด strain gauge ติดอยู่ ดูรูปที่ 6b)

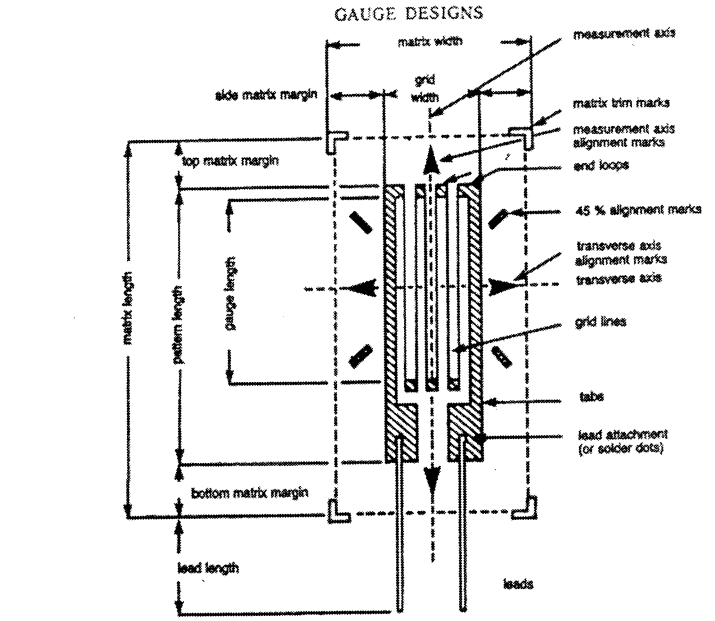


Figure a) Typical foil strain gauge

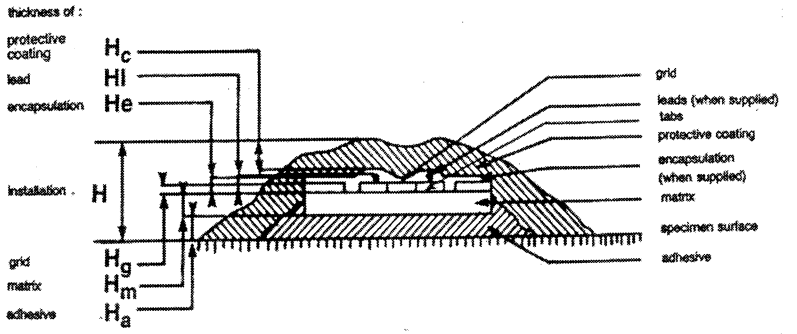


Figure b) Typical strain gauge installation

Displacement of grid from specimen surface :

$H_d = H_a + H_m + 1/2\ H_g$

รูปที่ 6 a) ลักษณะทั่วไปของ Stain gauge แบบ Foil

b) การติดตั้ง Stain gauge แบบ Foil

แกนวัด (Measurement axis) คือ แกนตามแนวขนานกับ แนวเส้นของตะแกรงขดลวด (grid line) เป็นแนวแกนซึ่งทำการวัดความเค้น (Strain) หรือตรวจจับการเคลื่อนที่ หรือทำการวัดความเครียด (Stress) ในแนวทิศทางเดียวกับที่แรงกระทำ

ความยาวของตะแกรงขดลวด (Gauge length) คือ เป็นความยาวของส่วนที่มีความไวต่อความเค้น (Strain) ของ Strain gauge ในทิศทางตามแนวแกนวัด โดยทั่วไปจะกำหนดระยะระหว่างส่วนด้านในของขวดลวดซึ่งขดกลับไปกลับมา ดังรูปที่ 5

แนวแกนขวาง (Transverse axis) คือ แนวแกนตั้งฉากกับแกนวัด 90 องศา จะทำการวัด Transverse stress อันเนื่องจากอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio; ν) ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 สำหรับวัสดุทุกชนิด

$$\nu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \tag{1}$$

เนื่องจากในการยืดหรือหดตัวของ Strain gauge นั้นไม่ได้มีการเกิดการยืดหรือหดตัวของส่วนที่เป็นขดลวด Strain gauge เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น แต่ยังมีการยืดและหดตัวในแนวตั้งฉากกับแกนวัดอีกด้วย ซึ่งการยืดหรือหดตัวดังกล่าวนี้จะมีผลต่อความแม่นยำของโหลดเซลที่มี Strain gauge ติดตั้งอยู่ด้วยเช่นกัน

จากกฎของฮุคได้กำหนดให้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วงแรงและความเครียด (strain) สำหรับวัสดุเหนียวและเปราะในช่วงอิลาสติค โดยมีเงื่อนไขสำหรับวัสดุชนิด homogeneous และ isotropic วัสดุมีเนื้อเดียวกันตลอดและคุณสมบัติของวัสดุไม่ขึ้นกับทิศทางของแรงกระทำแล้ว จะได้เป็นดังสมการ

$$\sigma = E\varepsilon \tag{2}$$

เมื่อ E คือโมดุลัสของยัง (Young's modulus)

ในขณะเดียวกันในช่วงอิลาสติคหน่วยแรงเฉือยจะเป็นสัดส่วนกับความเครียดเฉือน ดังนี้

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \tag{3}$$

เมื่อ G คือ โมดูลัสอิลาสติซิตีในการเฉือน (Shear modulus of elasticity) สำหรับโลหะ (steel) G มีค่าเท่ากับ 82×10^9 N/m^2

เมื่อ element ของวัตถุมีแรงกระทำในแนวแกน x ทำให้เกิดแรงและความเครียด (strain) ตามกฎของฮุค

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \tag{4}$$

ในทิศทาง y และ z ซึ่งตั้งฉากกับแกน x นั้น วัตถุจะมีการหดตัวลงโดยมีอัตราส่วนของความเครียดด้านข้างกับความเครียดตามแนวแกนเป็นค่าคงที่ ค่าคงที่นี้เรียก อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio; ν) นั่นคือ

$$\nu = \text{ความเครียดด้านข้าง/ความเครียดตามแนวแกนตั้งฉาก} \tag{5}$$

ดังนั้นความเครียดด้านข้างที่เกิดขึ้นจะได้ว่า

$$\varepsilon_y = -\nu\varepsilon_x = -\nu\frac{\sigma_x}{E} \tag{6}$$

$$\varepsilon_z = -\nu\varepsilon_x = -\nu\frac{\sigma_x}{E} \tag{7}$$

เครื่องหมายลบหมายความว่าวัตถุเกิดการหดตัว

ความไวในแนวแกนขวาง (Transverse Sensitivity) คือ อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยความต้านทานของ Strain gauge ซึ่งติดตั้งโดยตั้งฉากกับแกนสนามความเค้น (strain field) (เรียกว่า Transverse gauge) เทียบกับการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยความต้านทานของ Strain gauge ซึ่งติดตั้งขนานกับแกนสนามความเค้น (เรียกว่า Longitudinal gauge)

เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) คือ อัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ strain gauge อันเนื่องจากความเครียด (strain) และ measurand

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเกจแฟคเตอร์ (Temperature Coefficient of gauge factor) คือ อัตราส่วนของหน่วยการเปลี่ยนแปลงของเกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

$$\frac{K_{T_1} - K_{T_0}}{K_{T_0}} \cdot \frac{1}{T_1 - T_0} \qquad (8)$$

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิทดสอบ

T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิง

K_{T_1} คือ เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) ที่อุณหภูมิทดสอบ

K_{T_0} คือ เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) ที่อุณหภูมิอ้างอิง

Resistance Strain Gauges

เมื่อเราพิจารณาตัวนำไฟฟ้าซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดคงที่เท่ากับ A และมีความยาว L ทำด้วยวัสดุซึ่งมีค่าความต้านทาน (Resistivity) ρ ดังนั้นวัสดุดังกล่าวจะมีค่าความต้านทานเท่ากับ

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (9)$$

เมื่อตัวนำไฟฟ้าดังกล่าวถูกทำให้มีการยืดตัวหรือหดตัว ค่าความต้านทานดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปทั้งนี้ก็เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาด (พื้นที่หน้าตัดคงที่เท่ากับ A และมีความยาว L) ของตัวนำนั้นเอง จากหลักการพื้นฐานของวัสดุศาสตร์ซึ่งเรียกว่า **"Piezoresistance"** ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันระหว่างค่าต้านทาน (Resistivity) ρ กับค่าความเครียดเชิงกล (mechanical strain) เราสามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลง dR เมื่อเทียบกับ R โดยการดิฟเฟอเรียลซิเอสสมการข้างบนจะได้ว่า

$$dR = \frac{A(\rho dL + Ld\rho) - \rho L dA}{A^2} \qquad (10)$$

เนื่องจากปริมาตร V = AL เมื่อทำการดิฟเฟอเรียลซิเอสจะได้ว่า dV = AdL + LdA และเมื่อ

$$dV = L(1+\varepsilon)A(1-\varepsilon\nu)^2 - AL \qquad (11)$$

เมื่อ ε คือ Unit strain

ν คือ Poisson's ratio จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 สำหรับวัสดุทุกชนิด

$$\nu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

และเนื่องจาก ε มีค่าน้อยมากดังนั้นเทอม $(1-\varepsilon\nu)^2$ จึงสามารถลดรูปเหลือ

$$(1-\varepsilon\nu)^2 \approx 1-2\varepsilon\nu \tag{12}$$

ดังนั้นสมการที่ (11) จึงมีค่าเท่ากับ

$$dV = AL\varepsilon(1-2\nu) = AdL + LdA \tag{13}$$

แต่เพราะว่าความเครียด (strain) ในแนวแกนความยาวของขดลวดมีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon = dL/L \tag{14}$$

ดังนั้นแทนค่าสมการที่ (14) ลงในสมการที่ (13)

$$\begin{aligned} AdL(1-2\nu) &= AdL + LdA \\ -2\nu AdL &= LdA \end{aligned} \tag{15}$$

แทนค่าสมการที่ (15) ลงในสมการที่ (10)

$$dR = \frac{\rho AdL + LAd\rho + 2\nu\rho AdL}{A^2} \tag{16}$$

หรือ

$$dR = \frac{\rho dL(1+2\nu)}{A} + \frac{Ld\rho}{A} \tag{17}$$

หารสมการที่ (17) ด้วยสมการที่ (9) จะได้ว่า

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L}(1+2\nu) + \frac{d\rho}{\rho} \tag{18}$$

ด้วยเหตุนี้เราจะได้ เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) ตามคำนิยามมีค่าเท่ากับ

$$\text{GageFactor} = \frac{dR/R}{dL/L} = 1 + 2\nu + \left[\frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}\right] \tag{19}$$

เมื่อ

- **เทอมแรก** เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของขดลวดตัวนำ
- **เทอมที่สอง** เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด
- **เทอมที่สาม** เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอันเนื่องจากอิทธิพลของ piezoresistance ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ หรืออาจมีค่าเท่ากับ

$$\frac{d\rho/\rho}{dL/L} = \pi_l E \tag{20}$$

เมื่อ π_l คือ Longitudinal piezoresistance coefficient สามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ

E คือ Modulus of elasticity

หรือเราสามารถหาค่าเกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) ได้ด้วยอีกวิธีการหนึ่งคือ

$$R = \frac{\rho L}{A} = \rho \frac{L}{CD^2} \tag{21}$$

เมื่อ C คือสัมประสิทธิ์ของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนำไฟฟ้า

สำหรับพื้นที่หน้าตัดวงกลม C = $\pi/4$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม C = 1

ทำการดิฟเฟอเรียลซิเอสสมการที่ (21)

$$dR = \frac{L}{A}d\rho + \rho d\left(\frac{L}{A}\right) = \frac{L}{CD^2}d\rho + \rho d\left(\frac{L}{CD^2}\right) = \frac{L}{CD^2}d\rho + \rho\left[\frac{CD^2dL - Ld(CD^2)}{(CD^2)^2}\right]$$

$$dR = \frac{L}{CD^2}d\rho + \frac{\rho dL}{CD^2} - \frac{2\rho LDdD}{CD^4} \tag{22}$$

หารสมการที่ (22) ด้วย R จะได้ว่า

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{2dD}{D} \tag{23}$$

$$\frac{dR/R}{dL/L} = 1 + \left[\frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}\right] - \frac{2dD}{D}\left(\frac{L}{dL}\right) \tag{24}$$

จากนิยามอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio; ν) นั่นคือ

ν = ความเครียดด้านข้าง (–) / ความเครียดตามแนวแกนตั้งฉากพื้นที่หน้าตัด (+)

$$\nu = -\frac{\left(\frac{dD}{D}\right)}{\left(\frac{dL}{L}\right)} \tag{25}$$

แทนค่าสมการที่ (25) ลงในสมการที่ (24) ได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (19)

$$\text{GageFactor} = \frac{dR/R}{dL/L} = 1 + 2\nu + \left[\frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}\right] \tag{29}$$

ด้วยเหตุนี้หากเราทราบค่าเกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor) เมื่อเราทำการวัด dR/R เราก็ทราบค่าความเครียด (Strain) $dL/L = \varepsilon$ และนี้เองเราจึงเรียกว่า **หลักการของ Resistance Strain Gauges (The principle of the resistance strain gauge)** โดยทั่วไปแล้วค่า GF (Gauge Factor) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2–4

พบว่าเมื่อค่า GF มีค่ามาก นั้นหมายถึง Resistance Strain Gauges มีความไวสูงต่อการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงภาระแรงที่กระทำ แต่ให้ผลสัญญาณด้านทางออกมีลักษณะความเป็นเชิงเส้นต่ำลง แต่ในขณะเดียวกัน

หากค่า GF มีค่าต่ำหรือน้อย นั้นหมายถึง Resistance Strain Gauges มีความไวต่ำต่อการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงภาระแรงที่กระทำต่ำ แต่ให้ผลสัญญาณด้านทางออกมีลักษณะความเป็นเชิงเส้นดี

ตัวอย่าง 1 Strain gauge ซึ่งทำด้วยโลหะ ถูกใช้งานเพื่อการวัดระดับความเครียด (stress) 1,000 lb/in^2 ในแท่งโลหะโดยใช้ Strain gauge ที่มีค่าความต้านทาน 120 Ω และมีเกจแฟคเตอร์ (Gauge factor) เท่ากับ 2.0 โดยใช้วงจร Wheatstone Bridge และตัวต้านทานทั้ง 4 ตัวมีค่าความต้านทานเท่ากัน วงจรสามารถทนกระแสจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (Excitation voltage); E_{ex} ได้ไม่เกิน 30 mA จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจร Wheatstone Bridge

หาค่าแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นสูงสุดเท่ากับ

$$E_{ex} = IR = (0.030A) \times (240\Omega) = 7.2V$$

เนื่องจากเป็นการวัดความเครียดบนโลหะ (steel) ซึ่งมีค่า Modulus of Elasticity เท่ากับ 30×10^6 Psi ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และความเครียด (strain) จะได้ว่า

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

เมื่อแทนค่าความเครียดและค่า Modulus of Elasticity ลงไปจะได้ค่าความเค้นเท่ากับ

$$\varepsilon = 1000/30 \times 10^6 \text{ in/in}$$

จากค่านิยามของเกจแฟคเตอร์ (Gauge factor)

$$\text{GageFactor} = \frac{dR/R}{dL/L} = 1 + 2\nu + \left[\frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}}\right]$$

และ $dL/L = \varepsilon$

ดังนั้นพอสามารถเขียนได้ว่า

$$\text{GageFactor} = \frac{\Delta R}{R\varepsilon}$$

$$\Delta R = (\text{Gauge Factor})(\varepsilon)(R) = 2\times(3.33\times10^{-5})(120)$$
$$= 7.99\times10^{-3}\ \Omega$$

เมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าคร่อมจุด A และC (e_{AC})

$$e_{AC} = E_{ex}\left(\frac{(R_1R_3 - R_2R_4)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}\right)$$

แต่

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

อีกทั้งมีเพียง strain gauge ที่เป็นตัวต้านทานเดียวที่ตรวจจับความเครียดบนแท่งโลหะก็คือ R_1 และค่าความต้านทานเปลี่ยนไปเท่ากับ ΔR เพราะฉะนั้นจากสมการที่ข้างบนจึงเท่ากับ

$$e_{AC} = E_{ex}\left(\frac{(R + \Delta R)R - R^2)}{(R + R)(R + R)}\right) = E_{ex}\frac{1}{4R}\Delta R$$

$$e_{AC} = (7.2\text{V})\frac{1}{4(120\Omega)}(7.22\times10^{-3}\Omega)$$

$$e_{AC} = 0.12\ \text{mV}$$ ***Ans.***

A summary of load cell type and their applications are shown in the table below.

Type	Typical capacity ranges	Applications
Single point cells	1 – 50 kg	Retail scales Postal scales Counting scales Fish graders Packaging machines
	50 – 500 kg	Industrial scales
Bending beam cells	5 – 200 kg	Hybrid scales Packaging machines Hopper weighing
Bi-directional cells (tension/compression)	5 – 1000 kg	Hybrid scales Packaging machines Testing machines Mechanical scale conversions
	1 – 20 t	Vessel weighing
Compression cells	5 – 250 t	Weighbridges Vessel weighing Aircraft weighing
Shear beams	0.5 – 20 t	Industrial scales Weighbridges Pallet scales Vessel weighing
Double ended/shear beams	20 – 50 t	Weighbridges Vessel weighing

ศัพท์ในการวัดสำหรับ
งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย
(Vocabulary in Measuring System for Legal Metrology)

ในทางปฏิบัติวงการอุตสาหกรรมเมื่อพูดถึงเครื่องชั่งตวงวัดหรือระบบวัด เรามักพูดถึงความแม่นยำ (accuracy) หรือความไม่แม่นยำ (inaccuracy) ของเครื่องชั่งตวงวัดหรือระบบวัดดังกล่าวซึ่งล้วนมีผลต่อการตัดสินใจเลือกระบบหรือเครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ ยกตัวอย่างเมื่อเราพูดถึงมาตรวัดของเหลวซึ่งมีความแม่นยำ ±1% นั่นหมายถึงมาตรวัดจะมีการเบี่ยงเบนหรือไม่แม่นยำไม่เกิน ±1% ของการวัดหรือภายในช่วงการวัด (control span) และหากอาจหมายถึงความแม่นยำอยู่ภายในช่วง ±1% ของช่วงการวัด (control span) ก็ได้ ด้วยเหตุนี้ข้อมูลดังกล่าวจึงค่อนข้างเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป

นอกจากนี้ยังมีหลายนิยามด้วยกันที่มีความหมายใกล้เคียงหรือเสริมกันเพื่ออธิบายเพิ่มเติมถึงสมรรถนะของเครื่องชั่งตวงวัดหรือระบบการวัด คำจำกัดความดังต่อไปนี้ เป็นคำนิยามทั่วไปซึ่งมักพบและใช้ในงานชั่งตวงวัด

งานด้านชั่งตวงวัด (Metrology) คืองานและความรู้ในด้านชั่งตวงวัด ซึ่งเนื้อหาหลักของงานด้านนี้ครอบคลุมถึง หน่วยการวัด แบบมาตราของการวัด วิธีการวัด เครื่องชั่งตวงวัดทั้งหลายซึ่งครอบคลุมถึงคุณสมบัติของเครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวเป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้งานหรือไม่ ร่วมถึงผู้ใช้เครื่องชั่งตวงวัดดังกล่าวสามารถอ่านผลการวัดได้ถูกต้องหรือไม่ นอกจากนี้งานด้านชั่งตวงวัดยังครอบคลุมถึงทั้งเรื่องทฤษฎีและปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับงานวัดว่าทำอย่างไรจึงให้ผลการวัดแม่นยำ อีกทั้งรวมถึงการหาส่วนผสมของสารทางด้านฟิสิกส์ ส่วนผสมของวัสดุและสสารอีกด้วย

งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เป็นงานส่วนหนึ่งของงานในด้านการวัด (metrology) ครอบคลุมถึงการใช้หน่วยวัด วิธีการวัด และวิธีการวัดของเครื่องชั่งตวงวัด ยังรวมถึงการบังคับใช้เครื่องชั่งตวงวัด

ทางเทคนิคและตามความต้องการของกฎหมายของประเทศนั้นๆ เพื่อที่สร้างความมั่นใจให้สาธารณชนถึงความถูกต้องและความแม่นยำรวมทั้งความปลอดภัยของการใช้เครื่องชั่งตวงวัดนั้นๆ เพื่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ก็คืองานของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ของเรานั้นเอง นอกจากนี้ยังมีงานอีกประเภทหนึ่งคือ Scientific Metrology ซึ่งจะเป็นงานการหาหน่วยวัดมูลฐานทั้ง 7 เพื่อใช้เป็นแบบมาตราแห่งชาติ รวมถึงการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัดขั้นสูง หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าเป็นงานของนักวิทยาศาสตร์ที่จะคิดค้นคว้าหาวิธีการวัดอันซับซ้อนและให้ผลน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

ค่าจริง (True value) คือ ค่าของปริมาณซึ่งถูกกำหนดได้ถูกต้องสมบูรณ์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขมีอยู่ขณะนั้นเมื่อค่าดังกล่าวถูกตรวจสอบหาค่าหรือเป็นค่าของปริมาณหนึ่งซึ่งปราศจากค่าผลผิด

ในหนังสือบางเล่มอาจนิยามให้ True value คือ ค่าที่ไม่มีความผิดพลาด (the errorless value) ของตัวแปรที่ต้องการวัดค่า (measured variabl) แต่ต้องทำความเข้าใจก่อนว่าเครื่องมือทุกชนิดถูกสร้างขึ้นมาโดยทำการสอบเทียบหรืออ้างอิงกับแบบมาตราหรือมาตรฐาน ดังนั้นการวัดใดๆ ก็จะมีความผิดพลาดอยู่ในตัวของเครื่องวัดตั้งแต่เริ่มต้นอยู่แล้ว

ค่าจริง (True value) จึงเป็นค่าทางอุดมคติ ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถหาค่าจริงได้

ค่าจริงสมมุติ (Conventional True Value) เป็นค่าประมาณของค่าจริงของปริมาณดังกล่าวซึ่งค่าความแตกต่างของค่าจริงกับค่าจริงสมมุติสามารถตัดทิ้งได้ การหาค่าจริงสมมุติโดยทั่วไปสามารถหาโดยวิธีการหรือเครื่องมือที่มั่นใจในค่าความแม่นยำสูงและเหมาะสมกับปริมาณค่าที่ต้องการวัดนั้นๆ

ความแม่นยำ (Accuracy) คือ ขีดความสามารถของเครื่องมือหรือระบบ (system) ที่จะแสดงให้ค่าจริง (true value) ของตัวแปรที่ต้องการวัดค่า (measured variable) ภายใต้สภาวะอ้างอิง ซึ่งความหมายของ accuracy จะมีความแตกต่างกับความหมายของ Repeatability ซึ่งจะกล่าวต่อไป

Precision คือ ขีดความสามารถที่แน่นอนถูกต้องของเครื่องมือวัดที่ได้รับการออกแบบ หรือต้องการให้มีประสิทธิภาพ

ความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability) คือ ความใกล้กันมากที่สุดของผลการวัดปริมาณหนึ่งด้วยจำนวนครั้งที่แน่นอนติดต่อกันที่ปริมาณค่าเดียวกัน โดยดำเนินการวัดปริมาณดังกล่าวด้วยวิธีการเดียวกัน เครื่องชั่งตวงวัดเดียวกัน ในห้องปฏิบัติการเดียวกัน ผู้ทำการวัดคนเดียวกัน ภายใต้ช่วงระยะเวลาเดียวกันสั้นๆ ด้วยเหตุนี้จึงมักพบว่าการหาค่าความสามารถทำซ้ำได้จะทำโดยการประมาณบนพื้นฐานของความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty) ซึ่งมักพบว่าค่าความไม่แน่นอนของการวัดยิ่งมีค่าน้อยลง จะส่งผลให้ค่าความสามารถทำซ้ำได้ยิ่งมีค่าน้อยลงด้วยเช่นกัน

หรือในหนังสือบางเล่มอาจนิยามให้ Repeatability คือ การเบี่ยงเบนของผลการวัดที่มากที่สุด (The Maximum Output Deviation) จากค่าเฉลี่ยของการวัดซึ่งทำการวัดติดต่อกันเมื่อค่าที่ป้อนเข้าระบบ (input value) เหมือนกันและมาจากแหล่งเดียวกันติดต่อกัน

ความสามารถผลิตซ้ำ (Reproducibility) คือ ความใกล้กันมากที่สุดของผลการวัดปริมาณหนึ่งด้วยจำนวนครั้งที่แน่นอนติดต่อกันที่ปริมาณค่าเดียวกัน โดยการวัดปริมาณดังกล่าวแต่ละครั้งกระทำด้วยวิธีการแตกต่างกัน ใช้เครื่องชั่งตวงวัดแตกต่างกัน ในสถานที่หรือห้องปฏิบัติแตกต่างกัน ผู้ทำการวัดที่แตกต่างกัน ภายใต้ช่วงระยะเวลาห่างกันมากเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดแต่ละครั้งภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่แตกต่างเช่นกัน

การใช้ความสามารถผลิตซ้ำของแต่ละการวัด จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกำหนดตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งหรือทั้งหมดในการแสดงผลหรือความสามารถการวัดของเครื่องชั่งตวงวัด การหาค่าความสามารถทำซ้ำมักจะหาจากการประมาณค่าบนพื้นฐานของค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty) เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้หากในการวัดมีแหล่งหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิด Random Error มาก ค่าความไม่แน่นอนของการวัดก็ยิ่งสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถทำซ้ำได้ยิ่งมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความสามารถผลิตซ้ำมีค่าสูงกว่าค่าความสามารถทำซ้ำได้

จึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขค่าผลการวัดอันเนื่องจาก systematic errors แต่ละครั้งเสียก่อนที่จะนำไปหาค่าความสามารถผลิตซ้ำ

ความสามารถผลิตซ้ำ (Reproducibility) อาจแสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน "S" ของข้อมูล

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2} \qquad (1)$$

เมื่อ

N = จำนวนของผลการวัด

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของผลการวัด

หมายเหตุ การแสดงค่า Repeatability หรือ Reproducibility สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น อาจแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลต่างของผลการชั่งน้ำหนัก 2 ครั้ง

Readability หมายถึง ความสามารถในการแสดงค่าความละเอียดของผลการชั่งของเครื่องชั่งซึ่งมีนิยามดังนี้ "Readability คือ ค่าผลต่างของค่าขั้นหมายมาตรา (scale division) ที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ติดกันที่สามารถอ่านได้จากจอแสดงผลของเครื่องชั่ง"

ตัวอย่าง เครื่องชั่งที่มีค่าขั้นมาตราที่น้อยที่สุด เท่ากับ 0.1 มก. และ ***ค่าเพิ่มขึ้น*** ของขั้นหมายมาตราทีละ 0.1 มก. ดังนั้น READABILITY = 0.1 มก.

ตัวอย่าง เครื่องชั่งที่มีค่า READABILITY 0.1 มก. ทำการชั่งตุ้มน้ำหนัก 10 ครั้ง ได้ผลการชั่งดังนี้

X1 = 10.0110 ก.	X6 = 10.0115 ก.
X2 = 10.0111 ก.	X7 = 10.0113 ก.
X3 = 10.0110 ก.	X8 = 10.0112 ก.
X4 = 10.0114 ก.	X9 = 10.0115 ก.
X5 = 10.0111 ก.	X10 = 10.0113 ก.

ความสามารถผลิตซ้ำ (Reproducibility) แสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน "S" ของข้อมูล

$$\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \qquad (2)$$

$$\overline{X} = 10.01124 \quad \text{ก.}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2} \qquad S = 0.00019 \qquad \underline{\text{ANS}}$$

ผลผิด (Error) คือ ค่าความไม่ตรงกันระหว่างผลของการวัดเทียบกับค่าของปริมาณที่ถูกทำการวัด โดยค่าปริมาณที่ถูกทำการวัดนั้นอาจเป็น

- ค่าจริง (True value)
- ค่าจริงสมมุติ (Conventional True Value)
- ค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของผลการจำนวนชุดหนึ่ง

และในขณะเดียวกันนั้นหากค่าความไม่ตรงกัน คือ ผลต่างระหว่างผลของการวัดเทียบกับค่าของปริมาณที่ถูกทำการวัด ผลที่ได้คือ **ผลผิดสมบูรณ์ (absolute error)** แต่ถ้าหากค่าความไม่ตรงกันแสดงเป็นค่าความแตกต่างและค่าของปริมาณที่ถูกทำการวัด ผลที่ได้คือ **ผลผิดสัมพันธ์ (relative error)**

สามารถแบ่งผลผิดของการวัดออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ **ผลผิดระบบ (Systematic Error), ผลผิดสุ่ม (Random Error)** และ **ผลผิดกระบวนการวัด (Parasitic Error หรือ Spurious Error)**

ก.) ผลผิดระบบ (Systematic Error) หรือ ค่าอคติ (Bias) เป็นการเบี่ยงเบนจุดการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดอย่างสม่ำเสมอและเป็นระเบียบ หรือเมื่อทำการวัดกระทำภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ค่าปริมาณกำหนดเหมือนๆ กัน แต่ยังคงให้ค่าผลการวัดคงที่ทั้งค่าปริมาณและเครื่องหมาย และอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเงื่อนไขเปลี่ยนไป

ในหนังสือบางเล่มได้นิยาม Systematic error (or bias) คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอด้วยค่าคงที่ (a constant uniform deviation) ของจุดการทำงาน (operating point) ของเครื่องวัด

ผลผิดระบบเป็นผลผิดที่เราอาจสามารถหาสาเหตุทั้งได้และไม่ได้ แต่เราสามารถหาผลผิดระบบได้โดยการคำนวณหรือโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดค่าผลผิดระบบนี้ได้ การลดขนาดค่าผลผิดแบบนี้สามารถทำได้โดยการนำค่าผลผิดนี้ไปทำการแก้ไขผลที่ได้จากการชั่ง การเพิ่มจำนวนครั้งของการทดสอบก็อาจลดผลผิดชนิดนี้ลงได้ยกตัวอย่างผลผิดระบบซึ่งเราอาจพบได้ เช่น เครื่องชั่งที่ถูกปรับค่า Sensitivity ที่ไม่ถูกต้อง

หากเราไม่สามารถหาผลผิดระบบได้แต่เมื่อพิจารณาแล้วว่าผลผิดดังกล่าวนี้มีค่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าความไม่แน่นยำเราจะปฏิบัติให้ผลผิดระบบถือเป็นผลผิดสุ่มเมื่อทำการการคำนวนหาค่าความไม่แน่นอน แต่ถ้าหากพิจารณาแล้วว่าผลผิดดังกล่าวนี้มีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าความไม่แม่นยำให้ประเมินค่าผลผิดระบบและนำไปพิจารณาเมื่อทำการคำนวณหาความไม่แม่นยำของการวัด

ตัวอย่างผลผิดระบบคงที่ เช่น เมื่อทำการชั่งตุ้มน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม แต่มีค่าจริงสมมุติเท่ากับ 1.01 กิโลกรัม แต่ผลที่ชั่งอ่านค่าได้เท่ากับ 1 กิโลกรัม เป็นต้น

ตัวอย่างผลผิดระบบเปลี่ยนแปลง การแสดงค่าผิดของการวัดเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของระบบการวัดเปลี่ยนแปลงขณะทำการวัดแต่ละครั้ง

ข.) ผลผิดสุ่ม (Random Error) ค่าผลผิดซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปโดยไม่สามารถคาดคะเนได้ทั้งค่าของปริมาณและเครื่องหมายเมื่อทำการวัดในจำนวนครั้งที่แน่นอนมากจำนวนหนึ่งกระทำที่ปริมาณเดียวกันภายใต้สภาวะการทำงานเดียวกัน ค่าผลผิดแบบนี้มีค่าไม่คงที่ ไม่สามารถทราบค่าผลผิดที่แน่นอนได้ โดยจะมีลักษณะเป็นแบบ Random เพียงแต่อาจสามารถระบุช่วงขอบเขตที่แน่นอนของค่าผลผิดสุ่มด้วยความมั่นใจระดับหนึ่งโดยใช้หลักการทางสถิติ ว่าหากทำการวัดใดๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (เครื่องวัดเดียวกัน, ผู้ทำการวัดเดียวกัน, สภาวะแวดล้อมเดียวกัน) แล้วผลผิดสุ่มต้องมีค่าไม่เกินช่วงขอบเขตที่แน่นอนนั้นๆ ค่า

Random Error อาจจะสามารถทำการลดขนาดของผลผิดได้ โดยการเพิ่มจำนวนครั้งของการทดสอบให้มากขึ้น

ผลผิดสุ่ม ในบางกรณีอาจกำหนดให้ผลผิดสุ่ม (Random Error) มีค่าเท่ากับขนาดค่าสูงสุดของการเบี่ยงเบน (maximum magnitude of the dispertion of measured value) รอบค่าเฉลี่ยของผลการวัด (mean) ซึ่งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของขนาดค่าความสามารถทำซ้ำได้ (magnitude of repeatability)

ค่าผลผิดทั้ง 2 แบบนี้ (Systematic Error กับ Random Error) ไม่ได้มีข้อกำหนดที่แบ่งแยกความแตกต่างที่ชัดเจน Random Error อาจจะสามารถเปลี่ยนเป็นค่า Systematic Error ได้ เมื่อมีการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการชั่ง ตัวอย่างเช่น ผลผิดที่เกิดจากแรงยกตัวเนื่องจากความดันอากาศ เนื่องด้วยค่าแรงยกตัวของอากาศขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของอากาศซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ ของห้องปฏิบัติการในกรณีที่ไม่ทราบค่าดังกล่าวผลกระทบเนื่องจากแรงยกตัวจะทำให้เกิดผลผิดแบบ Random Error เพราะผลกระทบเนื่องจากแรงยกตัวจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบ Random ตามการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของสภาวะในห้องปฏิบัติการ (ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Random) แต่ในกรณีที่ทราบค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศของห้องปฏิบัติการผลกระทบเนื่องจากแรงยกตัวจะทำให้เกิดผลผิดแบบ Systematic Error และสามารถทำการแก้ไขได้ เพราะค่าผลผิดเนื่องจากผลกระทบนี้สามารถคำนวณหาค่าได้ การลดค่าความผิดพลาดสามารถทำได้โดยการนำค่าที่คำนวณได้ไปแก้ไขผลการชั่ง

ค.) ผลผิดกระบวนการวัด (Parasitic Error หรือ Spurious Error) ส่วนใหญ่พบว่าผลผิดชนิดนี้มีค่าสูงมาก ผลผิดกระบวนการวัดเกิดจากผลผิดขณะที่ดำเนินการวัดอยู่อาจเป็นผลจากผู้ทำการวัด เช่น อ่านผลการวัดผิด เครื่องมืออุปกรณ์ทำงานผิดไปหรือเสียหายอยู่ หรืออาจใช้เครื่องมือไม่ถูกต้อง

Total error (or inaccuracy) คือ ข้อจำกัดค่าผิดพลาดสูงสุด (the maximum error limit) ของเครื่องมือวัดหรือระบบค่า Total error มีค่าเท่ากับ

ค่าเบี่ยงเบนสูงสุด (the maximum deviation value) บวกด้วย systematic error

กฎการรวมค่าผลผิด (Law of Combination of Errors) กฎนี้จะรวมไปทั้งผลผิดอันเนื่องจากผลการวัดโดยตรงและผลการวัดโดยอ้อมของปริมาณที่ต้องการวัดนั้นๆ หากปริมาณหนึ่ง Y ถูกวัดโดยทางอ้อมจากปริมาณปัจจัยต่างๆ ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน $X_1, X_2, X_3, X_4, \ldots\ldots, X_m$ และสามารถวัดได้โดยตรง

$$Y = F(X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots, X_m) \tag{3}$$

เราสามารหาค่าผลผิดระบบ (Systematic Error) ΔY ของการวัดโดยทางอ้อมของปริมาณ Y จะแสดงในรูปทั่วไปโดยกฎการรวมค่าผลผิด เท่ากับ

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial X_1}\Delta X_1 + \frac{\partial F}{\partial X_2}\Delta X_2 + \ldots\ldots\ldots + \frac{\partial F}{\partial X_m}\Delta X_m \tag{4}$$

ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) เป็นค่าที่แสดงความสามารถของเครื่องชั่งในความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงโดยเครื่องชั่งกับน้ำหนักที่ชั่งหรือ Characteristic Curve โดยทางทฤษฎีค่าที่แสดงโดยเครื่องชั่งกับน้ำหนักที่ชั่ง จะมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (Ideal Case) โดยมีค่าความชัน (Slope) ค่าหนึ่ง แต่ในความจริงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงโดยเครื่องชั่งกับน้ำหนักที่ชั่งอาจจะไม่เป็นเส้นตรง (Actual Case) ส่วนเครื่องชั่งตวงวัดอื่นๆ ก็มีความหมายในเชิงเดียวกัน ความเป็นเชิงเส้นตรง (Linearity) จึงเป็นค่าที่แสดงถึงการเบี่ยงเบนระหว่าง Actual Case เบี่ยงเบนไปค่าที่เกิดจาก Ideal Case

เช่นในกรณีมาตรวัดของเหลวความเป็นเชิงเส้นตรง (Linearity) คือ ค่าเบี่ยงเบนมากที่สุดจากค่าเฉลี่ยมิเตอร์แฟคเตอร์ของกราฟสมรรถนะมาตรวัดระหว่างช่วงการวัดค่าได้ที่อัตราการไหลสูงสุดและอัตราการไหลต่ำสุด หรือ **Linearity** คือ ความใกล้เคียงของเส้นกราฟที่มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรง

สำหรับมาตรวัดเทอร์ไบน์มิเตอร์จะได้ว่า ความเป็นเชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมากที่สุดจากค่าเฉลี่ยมิเตอร์แฟคเตอร์ของกราฟสมรรถนะมาตรวัดระหว่างช่วงการวัดค่าได้ที่อัตราการไหลต่ำสุดกับอัตราการไหลสูงสุดหรือการวัดได้ (control span)

ความไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinearity) คือ การเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างคุณลักษณะตามที่เป็นจริง (the actual functional characteristic) กับคุณลักษณะตามที่กำหนด (the specified functional characteristic)

Sensitivity คือ อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงผลที่ให้ (output) โดยเครื่องมือวัด เทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าที่ป้อนเข้าไปตามที่กำหนด โดยค่าที่ให้ (output) ต้องเริ่มที่จะมีสภาพเสถียรภาพ

ในส่วนของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ Sensitivity คือ ค่าของ Slope ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงโดยเครื่องชั่งกับค่าน้ำหนักที่ชั่ง โดยค่า Sensitivity คำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E = \frac{\Delta R}{\Delta m} \tag{5}$$

โดยที่ ΔR เป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าที่เครื่องชั่งแสดงเมื่อเปลี่ยนค่ามวลที่ชั่ง Δm ส่วนเครื่องชั่งตวงวัดอื่นๆ ก็มีความหมายในเชิงเดียวกัน

Stabilization Time คือ เวลาที่เครื่องชั่งใช้ในการแสดงผลการชั่ง ซึ่งเป็นระยะช่วงเวลาหลังจาก วางตุ้มน้ำหนักลงบนเครื่องชั่งกับเวลาที่เครื่องชั่งแสดงผลการชั่ง ค่า STABILIZATION TIME ขึ้นอยู่กับการออกแบบคุณสมบัติเครื่องชั่งของผู้ผลิตและสภาวะแวดล้อม เช่น การสั่นสะเทือน

Response time คือ ช่วงเวลาที่ต้องการของเครื่องมือวัดเพื่อจะให้ผลการวัด (out put) มีค่าคงที่สม่ำเสมอ (steady state) หลังจากป้อนค่าที่กำหนดแน่นอน (a specified input)ไปแล้ว

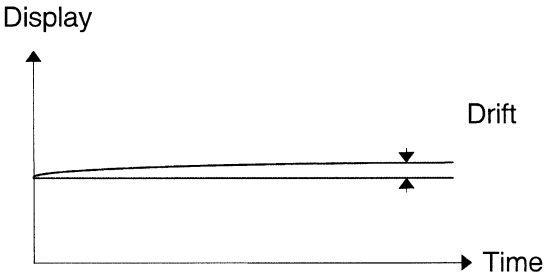
Deadband คือ ค่าต่ำสุด (minimum input) ที่ป้อนเข้าเครื่องมือวัดหรือระบบที่ต้องการเพื่อไปเปลี่ยนแปลงผลของการวัดที่ได้มา (out put)

Backlash คือ ค่า deadband เชิงกลร่วมกับการสึกหรอ หรือ ค่าเผื่อเหลือเผื่อขาด (tolerance) ในการผลิตอุปกรณ์ เช่น เกียร์ขับ เป็นต้น

Drift คือ การเปลี่ยนแปลงขีดขั้นหมายมาตราเทียบกับเวลาตั้งแต่ค่าเริ่มต้น (beginning value) เมื่อตัวแปรที่ต้องการวัดค่า (measured variable) ยัง

ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปคำว่า "drift" ปกติจะใช้กับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านช่วงระยะเวลาอุ่นเครื่อง (warm-up period) ที่กำหนดไว้จากบริษัทผู้ผลิตเครื่องชั่งตวงวัด สำหรับการ drift ของการสอบเทียบที่ใช้เวลานาน (long- term calibration) ปกติจะเกิดขึ้นเนื่องจากจากการสึกหรอและการเสื่อมของเครื่องมือวัด

เช่นในกรณีเครื่องชั่งนั้น drift คือการเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงของเครื่องชั่งเพียงเล็กน้อย ภายใต้การชั่งด้วยน้ำหนักที่คงที่ เมื่อช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไป



Temperature Coefficient ขนาดค่าผลผิดต่างๆ ที่กล่าวมานี้อาจขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น เครื่องชั่งมีค่า Sensitivity Temperature Coefficient ≤ 0.00005/°C หมายความว่า ถ้าค่า Sensitivity ของเครื่องชั่งที่ถูกปรับแต่งที่ 18°C แต่นำมาใช้งานจริงที่ 21°C (แตกต่างกัน 3 องศา) ค่าความชันของ Characteristic Curve (Sensitivity) มีผลผิดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×0.00005 หรือ $= 1.5 \times 10^{-4}$ หรือ 1.5 มก./100 ก.

ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) คือ ขอบเขตของค่าที่ได้จากการวัดที่ครอบคลุมถึงค่าความผิดพลาดต่างๆ ดังนั้น ค่าความผิดพลาด (Systematic Error และ Random Error) จะมีผลต่อค่าความไม่แน่นอน หรืออีกนัยหนึ่งค่าความไม่แน่นอนคือผลรวมที่ใช้หลักการทางสถิติหรือคณิตศาสตร์ของค่าความผิดพลาดต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ค่าที่ได้จากการวัดตุ้มน้ำหนัก 1 ตุ้ม ได้ค่าน้ำหนัก 200 ก. และค่าความไม่แน่นอน ± 2 ก. หมายความว่า ในการวัดตุ้มน้ำหนัก

ครั้งนี้ ค่าน้ำหนักที่แท้จริง (ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0) อาจจะเป็นค่าใดค่าหนึ่งในช่วง (200–2 ก., 200+2 ก.)

การรวมค่าความไม่แน่นอน การรวมค่าความไม่แน่นอนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การรวมแบบ บวกลบ โดยตรงจากค่าความผิดพลาด (Error)
2. การรวมแบบ Root Sum Square จากค่าความผิดพลาด (Error)

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} F_i^2} \qquad (6)$$

เมื่อ

F_i = ค่าความผิดพลาดของการวัดเนื่องจากสาเหตุ i

การจะเลือกวิธีการรวมค่าความไม่แน่นอนแบบไหนให้เลือกจากลักษณะของค่าความผิดพลาดนั้น ถ้าค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่และไม่อยู่ในลักษณะที่จะหักล้างกันเองได้ ให้เลือกวิธี (1) คือการรวมแบบ บวกลบ โดยตรงของค่าความผิดพลาด แต่ถ้าค่าความผิดพลาดมีลักษณะที่เป็นไปได้ที่จะหักล้างกันเองให้รวมแบบ (2) แบบ Root Sum Square ของค่าความผิดพลาด

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผิดพลาดแบบ Random Error จะใช้วิธีรวมแบบ (2) เพราะค่าความผิดพลาดมีลักษณะที่จะสามารถหักล้างกันเองได้

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผิดพลาดแบบ Systematic Error จะใช้วิธีรวมแบบ (1) หรือ (2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความผิดพลาด ว่าจะมีลักษณะความผิดพลาดที่สามารถหักล้างกันเองได้หรือไม่

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผิดพลาดแบบ Systematic Error กับ Systematic Error จะใช้วิธีรวมแบบ (1) หรือ (2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความผิดพลาด ว่าจะมีลักษณะความผิดพลาดที่สามารถหักล้างกันเองได้หรือไม่

สมรรถนะของมาตรวัด (Meter Performance) การแสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่วัดได้กับปริมาตรจริงที่ผ่านมาตรวัด

การสอบเทียบ (calibration) คือขั้นตอนหรือวิธีการเพื่อหาปริมาณของเครื่องชั่งตวงวัดที่วัดได้

Meter Proof คือ วิธีการที่ต้องการหาค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ (meter factor) ของมาตรวัดของเหลวโดยเทียบกับแบบมาตราที่มีความถูกต้องสูงกว่า เช่น ในท่อสอบเทียบ (pipe prover) หรือท่อทดสอบความจุขนาดเล็ก (compact prover)

Proving คือ วิธีการกระทำใดๆ เพื่อหาค่า มิเตอร์แฟคเตอร์ (meter factor)

Base Volume คือ ปริมาตรของแบบมาตราที่สภาวะอ้างอิง

Prover Calibration คือ กระบวนการในการหาค่า **Base Volume**

มิเตอร์แฟคเตอร์ (meter factor; MF) การซื้อขายผลิตภัณฑ์ในปริมาตรคราวละน้อยๆ และดำเนินการวัดปริมาตรภายใต้เงื่อนไขคงที่หรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำการปรับค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดซึ่งอยู่ในช่วงการวัดได้ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่าให้ผลการวัดที่มีค่าแม่นยำ ตัวอย่างมาตรวัดประเภทนี้ได้แก่ มาตรวัดที่ใช้ในการขายปลีกตามสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น แต่หากการซื้อขายหรือการขนส่งถ่ายผลิตภัณฑ์คราวละมากๆ โดยผ่านการวัดด้วยมาตรวัดเพียงตัวเดียวในการวัดผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันหรือต้องทำการวัดที่อัตราการไหลแตกต่างกันในแต่ละครั้งที่ทำการส่งจ่าย เป็นการยากที่ทำการปรับแต่งแก้ไขมาตรวัดในการซื้อขายหรือขนถ่ายแต่ละครั้ง ด้วยเหตุนี้หลังจากสอบเทียบมาตรวัดด้วยแบบมาตราหรือมาตรวัดซึ่งผ่านสอบเทียบแล้วมีความแม่นยำสูงเรียกว่า มาตรวัดมาตรฐาน (master meter) เพื่อทำการหามิเตอร์แฟคเตอร์ในช่วงแคบๆ ของแต่ละสภาวะการทำงาน จึงจำเป็นต้องทำการซีลตัวปรับแต่งมาตรวัดเพื่อป้องกันการปรับแต่งใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นโดยไม่ได้รับอนุญาต

วัตถุประสงค์การหามิเตอร์แฟคเตอร์ของมาตรวัดก็เพื่อให้แน่ใจว่าการวัดแต่ละครั้งมีความแม่นยำเพียงพอ โดยไม่คำนึงถึงสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนไปเช่น ความหนาแน่น, ความหนืด, อัตราการไหล, อุณหภูมิ, ความดันหรือคุณสมบัติการหล่อลื่นของเหลวที่วัด แต่อย่างไรก็ตามบ่อยครั้งที่จะทำการสอบเทียบมาตรวัดภายใต้สภาวะเงื่อนไขการทำงานจำเพาะเพียงสภาวะการทำงานสภาวะหนึ่งเท่านั้น

ดังนั้นหากสภาวะการทำงานของมาตรวัดจำเพาะหนึ่งๆ ได้เปลี่ยนไป เช่น อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงมากเกินไป, ความหนืดของเหลวที่วัดอยู่เปลี่ยนไปมาก เป็นต้น ต้องดำเนินการสอบเทียบมาตรวัดใหม่เพื่อหาค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ใหม่ ในทางปฏิบัติจึงควรทำการสอบเทียบมาตรวัดให้มีสภาวะการทดสอบใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงของมาตรวัดให้มากที่สุดเพื่อได้ค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ซึ่งให้ผลการวัดมีความแม่นยำมากที่สุด

คำจำกัดความของมิเตอร์แฟคเตอร์จึงหมายถึงอัตราส่วนของปริมาตรจริงที่ผ่านมาตรวัดขณะทำการสอบเทียบ (proving) กับปริมาตรที่วัดได้จากมาตรวัด

$$MF = \frac{V}{V_m} \tag{7}$$

เมื่อ

V = ปริมาตรจริงที่ผ่านมาตรวัด ณ สภาวะการทำงานของมาตรวัด

V_m = ปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัด

แต่พบว่าระหว่างทำการสอบเทียบ (proving) อุณหภูมิและความดันภายในมาตรวัดและแบบมาตรา (prover) มีผลกระทบอย่างมากต่อการคำนวณหามิเตอร์แฟคเตอร์ ทั้งนี้เพราะการหาค่าปริมาตรจริงๆ ของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดระหว่างทำการสอบเทียบต้องหาจากปริมาตรจริงที่วัดได้ของแบบมาตราซึ่งค่อนข้างเป็นวิธีทางอ้อมและมีปัญหาเนื่องจากสภาวะการทำงาน ได้แก่ อุณหภูมิและความดัน ของแบบมาตราและของมาตรวัด ซึ่งในทางปฏิบัติบางครั้งก็มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติเดียวกันจึงกำหนดความหมายมิเตอร์แฟคเตอร์ใหม่ คือ

$$MF = \frac{V_{pc}}{V_{mc}} \tag{8}$$

เมื่อ

MF = มิเตอร์แฟคเตอร์มาตรฐาน (standard meter factor)

V_{pc} = ปริมาตรของเหลวภายในแบบมาตราแก้ไขค่าไปยังสภาวะมาตรฐาน (15°C หรือ 60°F , 0.0 psig)

V_{mc} = ปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัดแก้ไขค่าไปยังสภาวะมาตรฐาน (15°C หรือ 60°F, 0.0 psig)

เนื่องจากมิเตอร์แฟคเตอร์ที่คำนวณได้สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงอุณหภูมิทำงาน (operating temperature) และความดันทำงาน (operating pressure) จำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นขณะทำการวัดด้วยมาตรวัดต้องคำนึงเสมอว่าอุณหภูมิและความดันต้องไม่มีค่าแตกต่างไปจากค่าอุณหภูมิและค่าความดันขณะทำการสอบเทียบมากจนเกินไปจนเป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะและขนาดของโครงสร้างภายในตัวมาตรวัดหรือความหนืดของเหลวที่ทำการวัดอยู่ นั้นหมายถึงมิเตอร์แฟคเตอร์อาจเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างใดก็ตามเมื่อสภาวะการทำงานของมาตรวัดเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะเงื่อนไขการสอบเทียบก็ทำการสอบเทียบใหม่ทุกครั้ง

เมื่อรู้ค่ามิเตอร์แฟคเตอร์แล้วสามารถหาค่าปริมาตรจริงของเหลวได้หลังจากทำการวัดได้โดย

ปริมาตรจริงๆ ที่วัดได้ = MF × ปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัด

หรือ

ปริมาตรจริงๆ ที่วัดได้ = $MF \times C_{tlm} \times C_{plm} \times$ ปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัด (9)

เมื่อ

C_{tlm} = ค่าแก้ไขค่าอุณหภูมิเพื่อหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐานจากสภาวะทำงานของมาตรวัด

C_{plm} = ค่าแก้ไขค่าความดันเพื่อหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐานจากสภาวะทำงานของมาตรวัด

ค่าผิดพลาด (Meter error) บอกถึงค่าความแตกต่างปริมาตรที่ผ่านมาตรวัดจริง (volume discharged) กับปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัด (indicated volume) ซึ่งส่วนใหญ่จะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{Meter error} = \frac{\text{Volume discharge - indicated Volume}}{\text{Volume discharge}} \quad \% \qquad (10)$$

ค่าเล็ดรอด (Slippage หรือ slip flow) คือปริมาตรของเหลวที่อัตราการไหลหนึ่งไหลผ่านมาตรวัดโดยมาตรวัดไม่ได้ทำการจดบันทึกค่าปริมาตรดังกล่าว

อัตราการหรี่วาล์ว (Turn down ratio), ช่วงประสิทธิผล (effective range) หรือ ช่วงอ่านค่าได้ (rangeability) ศัพท์ทั้ง 3 นี้มีความหมายเหมือนกัน คือ หมายถึงช่วงอัตราการไหลของเหลวที่ยังคงทำให้การทำงานของมาตรวัดไม่ได้เบี่ยงเบนไปจากขอบเขตความผิดพลาดที่กำหนดไว้

เค-แฟคเตอร์ (K-factor) ในบางครั้งไม่สามารถอ่านค่าปริมาตรจากมาตรวัดบางชนิดได้โดยตรงแต่มาตรวัดดังกล่าวจะให้ค่าเป็นพัลซ์แรงดันไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลซ์แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นของมาตรวัดกับปริมาตรไหลผ่านมาตรวัด ดังนั้น

$$\text{K} - \text{factor} = \frac{\text{n}}{\text{V}} \tag{11}$$

เมื่อ

n = จำนวนครั้งของพัลซ์ที่วัดได้จากมาตรวัด

V = ปริมาตรที่วัดได้จากแบบมาตรา (prover)

ในทางปฏิบัติ เพื่อให้ได้ค่าเค-แฟคเตอร์ (K-factor) ที่แม่นยำสูงจะดำเนินการทดสอบหาค่า n และ ค่า V หลายครั้ง ด้วยเหตุนี้ปริมาตรจริงที่ไหลผ่านมาตรวัดจึงมีค่า

$$\text{V}_{\text{actual}} = \frac{\text{n}}{\text{K} - \text{factor}} \tag{12}$$

จึงเห็นได้ว่าไม่ค่อยสะดวกมากนักที่จะนำค่าเค-แฟคเตอร์ (K-factor) ไปหารจำนวนพัลซ์แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมา บริษัทผู้ผลิตมาตรวัดเทอร์ไบน์มิเตอร์จึงให้ค่าเป็น **Meter factor** คือ

$$\text{Meter factor} = \frac{1}{\text{K - factor}} \qquad (13)$$

Resolution คือ ช่วงเล็กที่สุดระหว่างค่าตัวเลขสองค่าติดกัน (two-adjacent distinguishable values)

ข้อกำหนดและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามชนิดโลหะแบบที่คอมีขีดขั้นหมายมาตราแสดงปริมาตร

(Specifications and Maximum Permissible Errors for Graduated Neck Type Volumetric Field Standards)

ในที่นี้กล่าวถึงการกำหนดรายละเอียดการสร้างเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามชนิดโลหะแบบที่คอมีขีดขั้นหมายมาตราแสดงปริมาตรขนาดพิกัดกำลังต่างๆ ใช้ในกรณีบรรจุของเหลวทดสอบปราศจากความดัน และขณะที่ทำการบรรจุของเหลวอาจสามารถนำไอกลับคืนมาหรือสูญเสียไปขณะใช้งานก็ได้ กำหนดขึ้นและใช้โดยสำนักงานกลางชั่งตวงวัด เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดของเหลวและเครื่องตวงปริมาตร ตลอดจนเพื่อใช้ในการปฏิบัติงานตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ ซึ่งผู้เขียนคาดหวังไว้เป็นฉบับร่างในการกำหนดแบบมาตราของสำนักงานกลางชั่งตวงวัดในอนาคต

เนื้อหาครอบคลุมถึง วัสดุ การออกแบบ การสร้างเครื่องตวง และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด โดยมีจุดมุ่งหมายให้เกิดประโยชน์ต่อการตรวจสอบให้คำรับรองและการตรวจสอบความถูกต้องของเจ้าหน้าที่ทางภาคสนาม การใช้เครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามอย่างถูกต้องได้มาตรฐานจะช่วยส่งเสริม สนับสนุนและพัฒนาระบบงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นทัดเทียมมาตรฐานสากล ดังนั้นเพื่อรักษาระดับความมั่นใจและความเที่ยงตรงของแบบมาตราดังกล่าวเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามต้องมีระยะเวลาในการสอบเทียบใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้และสภาพของเครื่องตวงแบบมาตราเอง

ข้อกำหนดเครื่องตวงแบบมาตรา

1. พิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตรา (Norminal Capacity)

พิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตราเพื่อใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรองระบบมาตรวัดของเหลว หรือใช้ในการตวงเปรียบเทียบกับเครื่องตวงที่ใช้งานอยู่ ต้องมีขนาดพิกัดให้เหมาะสมกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดและปริมาณของเหลวที่ทดสอบ อีกทั้งวัสดุที่ใช้กับของเหลวนั้นๆ ต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือสิ่งแวดล้อม สำหรับการเคลือบผิวภายในเครื่องตวงแบบมาตราอาจกระทำได้แต่ต้องกระทำด้วยวิธีที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งพิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตราเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดความจุของเครื่องตวงแบบมาตรา

ชนิดแบบมาตรา	พิกัดความจุ (Nominal capacity ; L)
Standard flasks	0.1–0.2–0.5 1–2 – 5–10
Standard test measures	5–10–20
Proving tanks	20 or more

นั่นคือเครื่องตวงทดสอบแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures) ที่ใช้ในภาคสนาม มีขนาดพิกัดกำลัง 5 ลิตร, 10 ลิตร และ 20 ลิตร สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ (Proving tanks) ที่ใช้ในภาคสนามมีขนาดพิกัดกำลัง 50 ลิตร, 100 ลิตร, 200 ลิตร, 500 ลิตร, 1,000 ลิตร, 2,000 ลิตร, 3,000 ลิตร และ 5,000 ลิตร โดยเฉพาะเครื่องตวงขนาดใหญ่ ขนาด 5,000 ลิตร เป็นเครื่องตวงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอกสารนี้ การเคลื่อนย้ายสามารถติดตั้งบนรถบรรทุกหรือรถพ่วงได้ในแนวตั้ง

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures) และขนาดใหญ่ (Proving tanks) เท่านั้น

2. วัสดุ (Material)

2.1 การสร้างเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนาม วัสดุที่ใช้ควรเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) หรือเหล็กสแตนเลส (Stainless Steel; 3xx series) ที่แขวน หูหิ้วหรือที่จับและอื่นๆ อาจใช้วัสดุอย่างอื่นที่มีความคงทนและเหมาะสม

2.2 รายละเอียดนี้จะไม่ครอบคลุมถึงเครื่องตวงแบบมาตราทำด้วยวัสดุอย่างอื่น เช่น พลาสติก พลาสติกเสริมความแข็ง (Reinforce Plastic) อลูมิเนียม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวงแบบมาตราต้องมีเสถียรภาพในเชิงความร้อนและมีสัมประสิทธิ์การขยายตัว (coefficient of thermal expansion) ไม่สูงจนเกินไป ซึ่งทำให้วัสดุไม่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวงแบบมาตราจะต้องทำการบันทึกแจ้งไว้บนตัวเครื่องตวงแบบมาตราด้วย

3. การเตรียมผิว (Surface finish)

3.1 พื้นผิวภายในของเครื่องตวงแบบมาตราใช้ในภาคสนามที่ทำด้วยเหล็กคาร์บอนต่ำต้องสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน ซึ่งควรทำการเคลือบผิวภายในเครื่องตวงแบบมาตราชนิดนี้ด้วยวิธีการเคลือบด้วยดีบุก 1 ส่วน และตะกั่ว 4 ส่วน (Terne Plating) หรือการเคลือบสังกะสี (Galvanizing) หรือเคลือบด้วย Epoxy Resin หรือเคลือบด้วยวัสดุอย่างอื่นที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ของเหลวไม่สามารถผ่านเข้าถึงในเนื้อเหล็กได้ โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัดก่อน

3.2 พื้นผิวภายนอกของเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนาม ทำด้วยเหล็กคาร์บอนต่ำต้องเคลือบเงาพอควร เพื่อของเหลวไม่สามารถผ่านเข้าไปถึงเนื้อเหล็กได้

3.3 เครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามเพื่อไว้สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองในวงการอาหารเครื่องดื่ม ต้องทำด้วยแผ่นเหล็กสแตนเลสหรือวัสดุที่เหมาะสมโดยได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัด

4. การออกแบบเครื่องตวง (Design)

4.1 พื้นที่ภาคตัดตั้งฉากกับแนวแกนตั้งของเครื่องตวงแบบมาตราต้องเป็นรูปวงกลมและมีรูปร่างที่ง่ายต่อการระบายของเหลวออกจากเครื่องตวงแบบมาตรา การกำหนดขนาดพิจารณาตามคำแนะนำตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของเครื่องตวงแนะนำ

ขนาดพิกัดกำลัง (Nominal Capacity)	ความหนาน้อยที่สุดของแผ่นเหล็กสแตนเลสหรือแผ่นเหล็กคาร์บอนต่ำ *	เส้นผ่าศูนย์กลางของคอเครื่องตวง (ภายใน)	
5 ลิตร	0.8 มม. **	98 มม.	
20 ลิตร	0.8 มม. **	98 มม.	
50 ลิตร	0.8 มม. **	98 มม.	
100 ลิตร	2.8 มม.	127 มม.	
200 ลิตร	2.8 มม.	152 มม.	
500 ลิตร	2.8 มม.	203 มม.	
1000 ลิตร	2.8 มม.	254 มม.	
2000 ลิตร	3.6 มม.	336 มม.	
3000 ลิตร	4.4 มม.	336 มม.	
5000 ลิตร	4.4 มม.	387 มม.	

* เป็นความหนาตามที่ออกแบบตามพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตรา

** ความหนาน้อยที่สุดของพื้นด้านล่างของเครื่องตวงแบบมาตราเท่ากับ 1.3 มม.

4.2 ใช้เหล็กรัด (Reinforcing Bands) และวิธีอย่างอื่นที่เหมาะสมช่วยเสริมความแข็งแรง เพื่อป้องกันเครื่องตวงแบบมาตราบิดเบี้ยวเมื่อบรรจุของเหลวเต็มเครื่องตวง หรือเมื่อถูกเคลื่อนย้าย (ดูรูปที่ 1) เมื่อเครื่องตวงแบบมาตราอยู่ในแนวระดับและบรรจุของเหลวเต็ม ระดับตามพิกัดกำลังของเครื่องตวงแล้วเครื่องตวงดังกล่าวต้องไม่เปลี่ยนแปลงแนวระดับเนื่องจากน้ำหนักของเหลวเอง

4.3 ส่วนบนของคอเครื่องตวงที่เปิดออก จะเสริมให้แข็งแรงโดยการพับปลายม้วนให้กลม หรือเชื่อมแผ่นเหล็กติดกับคอเครื่องตวง (ดูรูปที่ 1 และรูปที่ 2)

4.4 ด้านล่างของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็กได้ออกแบบให้โค้งมน ป้องกันรูปร่างบิดเบี้ยว เมื่อบรรจุของเหลว และป้องกันการเสียหาย เนื่องจากการใช้ (ดูรูปที่ 1)

4.5 เครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามในการออกแบบบางแบบ ต้องมีที่วัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวงแบบมาตราโดยทำการติดตั้งไว้ในแนว

	เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดวัดระดับ (ภายใน)	ความลาดเอียงของกรวยด้านบน ที่น้อยที่สุด	ความลาดเอียงของกรวยด้านล่าง ที่น้อยที่สุด	ขนาดของท่อระบายน้ำ ขนาดต่ำที่สุด
	13 มม.	35 องศา	-	-
	13 มม.	35 องศา	-	-
	13 มม.	35 องศา	-	-
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	38 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	50 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	50 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	50 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	75 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	100 มม.
	16 มม.	25 องศา	20 องศา	100 มม.

แต่ความหนาจริงของวัสดุสามารถเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย

ขนานข้างคอเครื่องตวง (ดูรูปที่ 1, รูปที่ 2 และรูปที่ 3) ที่วัดระดับของเหลวอาจเป็นชนิด weir-type หรือ แผ่นปะกับแก้ว (glass plates) หรือ หลอดวัด (glass tube) เพื่อวัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวง โดยหากเป็นหลอดแก้วต้องเป็นหลอดแก้วทำด้วยแก้วชนิด Borosilicate Glass หรือพลาสติกใสมีความสม่ำเสมอหรือมีรูปร่างไม่บิดเบี้ยวเมื่อสังเกตระดับของเหลว ถ้าหลอดวัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวงเป็นพลาสติกจะต้องแข็งแรงคงทนและใสขณะที่ใช้กับเครื่องตวงแบบมาตรา เมื่อหลอดวัดระดับของเหลวดังกล่าวถูกใช้งานไปเป็นเวลานานจนแสงไม่สามารถส่องผ่านให้ทำการล้างทำความสะอาดให้สะอาดหรือเปลี่ยนใหม่ หลอดวัดระดับถูก

ติดตั้งโดยทำการเจาะเครื่องตวงบริเวณที่เป็นกรวยใกล้กับคอเครื่องตวงกับบริเวณใกล้ส่วนบนคอเครื่องตวง การที่เจาะบริเวณส่วนบนใกล้ส่วนคอเครื่องตวงเพื่อยอมให้ไอระเหยที่เกิดขึ้นขณะทำการบรรจุของเหลวผ่านหลอดไปได้ การถอดและประกอบหลอดวัดระดับต้องสามารถกระทำได้ง่าย หากจำเป็นต้องทำความสะอาดหลอดวัดระดับดังกล่าว และต้องป้องกันการรั่วของเหลวผ่านหลอดวัดระดับดังกล่าวด้วย

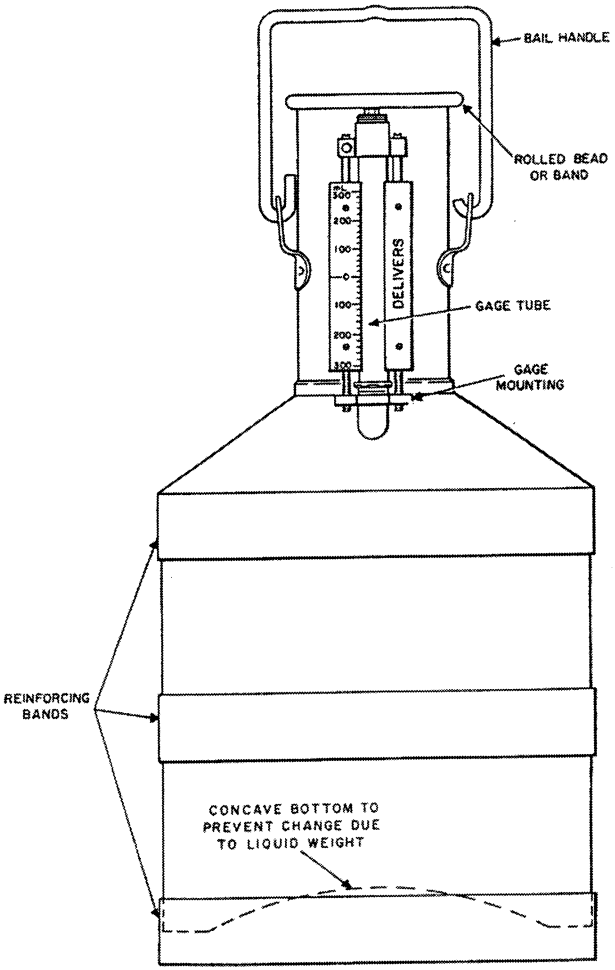
ที่วัดระดับของเหลวของเครื่องตวงแบบมาตรา ไม่ว่าจะเป็นแผ่นปะกับแก้ว (glass plates) หรือ หลอดวัด (glass tube) หรือแบบใดก็ตามต้องมีขนาดโตพอที่ไม่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ capillary หรือ meniscus ซึ่งหากเป็นเช่นจะก่อให้เกิดผลผิดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดได้เมื่อนำเครื่องตวงแบบมาตราไปใช้งานในภาคสนามซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

4.6 ปริมาตรของเครื่องตวงแบบมาตราจะคงที่แน่นอนได้ โดยไม่ต้องใช้เครื่องช่วยบรรจุหรือการปรับแต่งปริมาตรภายในเครื่องตวงแบบมาตราด้วยวิธีการใดๆ

4.7 เครื่องตวงทดสอบตั้งอยู่บนพื้นระดับอย่างมั่นคง โดยแกนตั้งของเครื่องตวงต้องตั้งฉากกับพื้นระดับ ตลอดเวลาปฏิบัติงาน

4.8 หากเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็กประกอบด้วยหูหิ้ว เมื่อทำการแขวนเครื่องตวงแบบมาตราดังกล่าวด้วยหูหิ้วเมื่อบรรจุของเหลวเต็ม เครื่องตวงแบบมาตราดังกล่าวต้องอยู่ในแนวตั้งตลอดเวลา การติดตั้งหูเกี่ยวสำหรับหูหิ้วควรยึดติดบริเวณคอดีกว่าบริเวณกรวยส่วนบนของเครื่องตวง ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการเสียรูปทรงของเครื่องตวงได้เมื่อแขวนเครื่องตวงขณะของเหลวเต็ม (ดูรูปที่ 1)

4.9 เส้นผ่าศูนย์กลางคอเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (the diameter of neck of the standard test measures) และขนาดใหญ่ (Proving tanks) ต้องกว้างเพียงพอ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการล็อกของของเหลวหรืออากาศขณะใส่ของเหลวลงไป อีกทั้งต้องมีขนาดเพียงพอต่อการทำความสะอาดและตรวจสอบภายในได้ แต่ขณะเดียวกันขนาดของคอเครื่องตวงแบบมาตราต้องมีขนาดเล็กเพียงพอต่อการวัดปริมาตรด้วยความเที่ยงตรงตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด



รูปที่ 1 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures)

ดังนั้นกำหนดได้ว่า ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอเครื่องตวงแบบมาตราอย่างน้อยที่สุด 3 มม. จะต้องมีค่าเท่ากับค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องตวงแบบมาตราที่พิกัดนั้นๆ

เนื่องจากการกำหนดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางคอเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็กและขนาดใหญ่เป็นเรื่องที่มีความยืดหยุ่นเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางคอเครื่องตวงแบบมาตราทั้ง 2 แบบพอกำหนดให้เป็นดังนี้

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

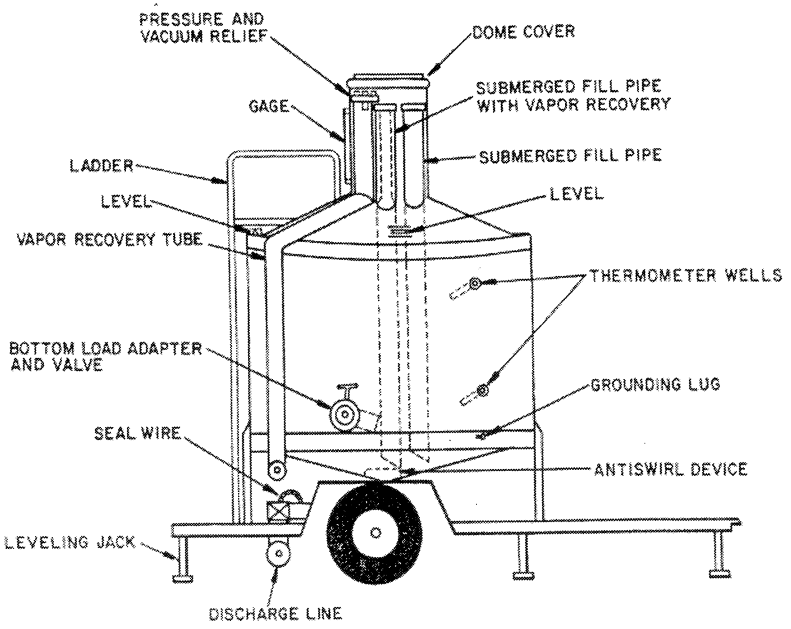
เมื่อ

Δh = ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอเครื่องตวงแบบมาตรา (mm.)

MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

4.10 ท่อเติมของเหลวที่จุ่มอยู่ในเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ (a submerged fill pipe) จะติดตั้งถาวรใกล้กับคอเครื่องตวงและให้มีฝาปิด ท่อจะผ่านทะลุกรวยด้านบนและยาวไปถึงกรวยด้านล่างโดยห่างจากผิวกรวยด้านล่างเท่ากับ 10 ถึง 15 ซม. ถ้าจำเป็นอาจติดตั้งมากกว่า 1 ท่อ (ดูรูปที่ 2) ส่วนบนของท่อที่ใช้เติมจะต่อเชื่อมเข้ากับส่วนบนของคอเครื่องตวงแบบมาตราเพื่อเป็นทางระบายอากาศออกจากถัง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ท่อเติมของเหลวดังกล่าวเติมของเหลวลงเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ได้ขณะทำการเติมของเหลวผ่านทางคอหรือผ่านทางท่อทางด้านล่างของเครื่องตวง (bottom loading pipe) ได้พร้อมๆ กัน

4.11 ท่อระบายของเหลวตามแรงโน้มถ่วง (a gavity discharge line) ซึ่งต่อออกจากตัวเครื่องตวงขนาดใหญ่จนถึงวาล์วปิด-เปิดต้องทำมุมเอียงลงจากแนวระนาบกับพื้นเป็นมุมอย่างน้อย 7 องศา (ดูรูปที่ 2) ตำแหน่งท่อระบายของเหลวตามแรงโน้มถ่วงหรืออาจใช้ปั๊มต่อจากวาล์วปิด-เปิดเพื่อเพิ่มความเร็วในการระบายของเหลวออกจากเครื่องตวงขนาดใหญ่ก็สามารถกระทำได้ แต่ไม่ว่ากรณีใดๆต้องแน่ใจว่าสามารถถ่ายของเหลวออกจากเครื่องตวงได้สมบูรณ์ ท่อระบายของเหลวประกอบด้วย ท่อ, วาล์วปิด-เปิดแบบผีเสื้อ (butterfly valve) หรือเทียบเท่าและอาจมีอุปกรณ์แสดงให้เห็นการไหล (sight-flow indicator) โดยติดตั้งถัดหลังจากวาล์วแบบผีเสื้อ (butterfly valve) ทั้งนี้ก็เพื่อสามารถตรวจสอบการ



รูปที่ 2 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ (Proving tanks)

รั่วของวาล์วขณะปฏิบัติงานได้ อุปกรณ์แสดงให้เห็นการไหลจึงเหมาะกับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่หรือเครื่องตวงแบบมาตราซึ่งไม่สามารถตรวจสอบการรั่วของวาล์วได้ง่ายนัก นอกจากนี้ระบบท่อระบายของเหลวออกจากเครื่องตวงต้องมีการค้ำยันที่มั่นคงแข็งแรงด้วยเช่นกัน

4.12 เครื่องตวงแบบมาตราต้องได้รับการออกแบบให้ง่ายต่อการถ่ายของเหลวเข้าและถ่ายของเหลวออกจากเครื่องตวงอย่างสมบูรณ์ โดยต้องไม่มีการการปิดกั้นอันเนื่องจากอากาศขวางทางออก หรือต้องไม่มีส่วนที่ของเหลวหลงเหลือค้างอยู่ภายในถัง

4.13 ท่อ วาล์ว และส่วนประกอบต่าง ๆซึ่งประกอบเป็นส่วนหนึ่งของปริมาตรของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่และสามารถถอดออกได้จากเครื่อง

ตวงแบบมาตราได้ อุปกรณ์ทั้งหมดต้องจัดให้มีวิธีการซีลป้องกันด้วยการร้อยลวดและตะกั่วหรือวิธีการที่เหมาะสมและเห็นชอบโดยสำนักงานกลางชั่งตวงวัด เพื่อให้การถอดหรือการเคลื่อนย้ายส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวไม่สามารถกระทำได้

4.14 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ที่ติดตั้งไม่ถาวร ต้องออกแบบให้มีขาตั้งสำหรับการปรับหาระดับ (ควรใช้เกลียวเหลี่ยมเพราะจะปรับระดับได้ง่ายและรวดเร็วกว่า)

4.15 รถบรรทุกหรือรถพ่วง ซึ่งมีเครื่องตวงขนาดใหญ่ติดตั้งอยู่ต้องประกอบด้วยขาตั้งที่มีจำนวนเพียงพอที่รักษาระดับและสภาวะสมดุลย์ เมื่อบรรจุของเหลวเต็ม (ดูรูปที่ 2 และรูปที่ 4)

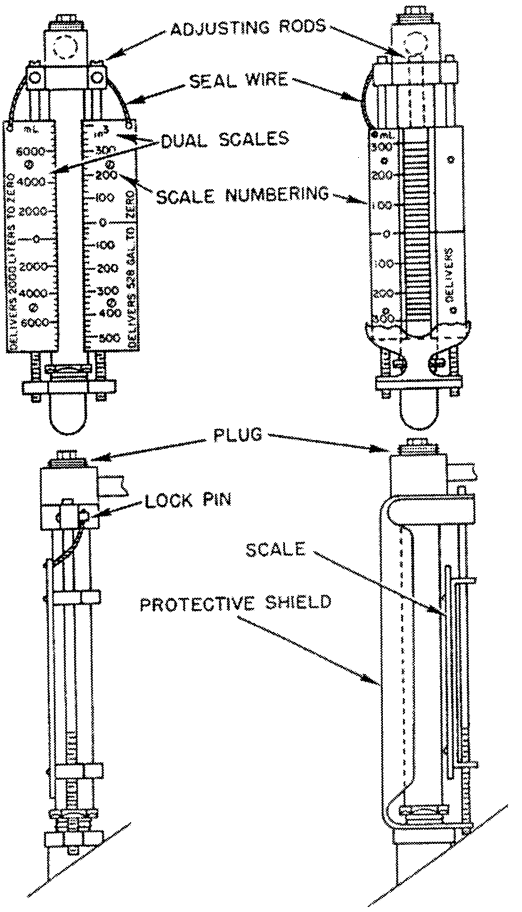
5. ขั้นหมายมาตรา (Scales)

5.1 แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราต้องแข็งแรงและทนทานการกัดกร่อน แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราต้องติดตั้งใกล้กับ หรือข้างหน้าเล็กน้อย หรืออยู่ด้านหลังของส่วนวัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวงแบบมาตรา แต่ไม่ว่ากรณีใด ๆ แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราต้องอยู่ห่างจากส่วนวัดระดับของเหลวได้ไม่เกิน 6 มม.

5.2 เมื่อติดตั้งแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราด้านหลังส่วนวัดระดับของเหลวต้องจัดทำส่วนป้องกันส่วนวัดระดับของเหลว (ดูรูปที่ 3) และส่วนป้องกันดังกล่าวต้องไม่เป็นอุปสรรคกับการถอดเปลี่ยนหลอดวัดระดับของเหลว

5.3 ที่ยึดแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (scale brackets) ต้องมีจำนวนเพียงพออย่างน้อย 2 ชุด ยึดติดกับตัวปรับรางเคลื่อนที่ หรือก้านที่ปรับได้ (adjusting or guide rods) แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราจะทำให้ติดกับที่ยึดอย่างแน่นหนาและจัดให้มีการซีลป้องกันการปรับเคลื่อนย้าย (ดูรูปที่ 3)

5.4 ตัวปรับรางเคลื่อนที่ หรือก้านที่ปรับได้ต้องจัดให้มีการซีลป้องกันการปรับเคลื่อนย้าย (ดูรูปที่ 3) การถอดหรือการเคลื่อนที่ของกลไกปรับแต่งหรือทำให้แผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale plates) เคลื่อนที่จะไม่สามารถทำได้ถ้าไม่ทำลายลวดซีล



รูปที่ 3 ส่วนวัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวงแบบมาตรา (Gage assembly)

5.5 ขั้นหมายมาตราของเครื่องตวงแบบมาตราทั้งหมด ควรแสดงเป็นหน่วย มิลลิลิตร หรือ มล. หรือ mL (มาตราเมตริกเท่านั้น)

5.6 แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอเครื่องตวงแบบมาตราอยู่ด้านบน (top neck) ไม่ว่าเครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (the standard test measures) หรือขนาดใหญ่ (Proving tanks) ต้องแสดงพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตรา

และแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±1% ของพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดง และสำหรับคอเครื่องตวงแบบมาตราอยู่ด้านล่าง (bottom neck) ของเครื่องตวงขนาดใหญ่ (Proving tanks) ต้องแสดงพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±0.5% ของพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดง

5.7 หากการออกแบบเพื่อสามารถทำการปรับและเคลื่อนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale plates) ได้ในด้านเพิ่มอย่างเดียว หลังจากที่ได้ทำการซีลแล้ว กำหนดให้มีการเคลื่อนที่ของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราด้วยการเพิ่มขึ้นนั้นต้องได้สูงสุดไม่เกิน 25% ของขีดขั้นหมายมาตราเล็กที่สุดของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา

5.8 ระยะทางน้อยที่สุดระหว่างขีดขั้นหมายมาตราที่อยู่ติดกันต้องมีระยะมากกว่าความหนาของขีดขั้นหมายมาตรา หรือเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และขีดขั้นหมายมาตราต้องมีระยะห่างที่สม่ำเสมอ

6. การแสดงเครื่องหมายบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale Marking)

6.1 ขีดขั้นหมายมาตรา เลขจำนวนปริมาตร และอักษรอื่นๆ บนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราต้องถาวร และมีสีตัดกับแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราอย่างชัดเจน

6.2 ขีดขั้นหมายมาตราหลักสามารถเห็นได้ชัด และต้องยาวกว่าเส้นขีดขั้นหมายมาตรารองลงมา อีกทั้งต้องแสดงตัวเลขแสดงปริมาตรกำกับ (ดูรูปที่ 3)

6.3 ความยาวของขีดขั้นหมายมาตราหลักบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของส่วนหรือหลอดวัดระดับของเหลวต้องยาวไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร และขีดขั้นหมายมาตรารองลงมาต้องยาวไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร โดยเส้นขีดขั้นหมายมาตราทั้งหมดต้องยาวจนถึงขอบของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราในด้านที่ใกล้กับหลอดวัดระดับของเหลว

6.4 เส้นขีดขั้นหมายมาตราต้องมีหนาสม่ำเสมอ โดยต้องหนาไม่เกินกว่า 0.6 มิลลิเมตร หรือหนาไม่น้อยกว่า 0.4 มิลลิเมตร

6.5 สำหรับแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังหลอดวัด

ระดับของเหลว ต้องมีขีดขั้นหมายมาตราหลักยาวไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และขีดขั้นหมายมาตรารองลงมายาวไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร (ดูรูปที่ 3)

6.6 ขั้นหมายมาตราแสดงพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตรา ซึ่งแสดงเป็นขีดศูนย์บนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราต้องมีความยาวตลอดและชนขอบทั้งสองข้างของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราอย่างเห็นได้ชัดเจน

6.7 แผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา ต้องแสดงเครื่องหมายกับวิธีการใช้เครื่องตวงแบบมาตราด้วยวัตถุประสงค์ใด ในกรณีใช้สำหรับการบรรจุ ให้แสดงคำว่า "บรรจุ" หรือ "Contains" หรือ "IN" ในกรณีใช้สำหรับการจ่าย ให้แสดงคำว่า "จ่าย" หรือ "Delivers" หรือ "EX"

7. ข้อกำหนดพิเศษ (Special Requirement)

7.1 เครื่องตวงแบบมาตราแต่ละเครื่องควรมีข้อมูลดังต่อไปนี้ และแสดงอยู่บนเครื่องตวงแบบมาตราหรือเขียนลงบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราหรือแผ่นโลหะอย่างถาวร หรือติดตั้งอยู่ใกล้กับเครื่องตวงแบบมาตราซึ่งง่ายต่อการอ่านได้ง่ายและชัดเจน

- ชื่อและที่อยู่ของบริษัทผู้ผลิต
- เลขรุ่น (model number)
- หมายเลขประจำเครื่อง (serial number)
- วัสดุที่ใช้ทำ (material)
- ความหนาของวัสดุ
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามบาศก์ของวัสดุต่อองศาเซลเซียส (coefficient of expansion)
- ปริมาตรที่แสดงพิกัดกำลัง (nominal capacity) ที่เส้นขีดศูนย์บนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราบนคอเครื่องตวง
- อุณหภูมิอ้างอิงประจำเครื่องตวงแบบมาตรา (reference temperature)
- เวลาที่ระบายน้ำหลังจากการไหลของของเหลวสิ้นสุดลง (drainage time) ในกรณีเครื่องตวงแบบมาตราเป็นแบบจ่าย

7.2 เครื่องตวงขนาดใหญ่ต้องติดตั้งระดับน้ำเพื่อปรับระดับจำนวน 2 ตัว โดยระดับน้ำตัวหนึ่งติดตั้งด้านบนของกรวยและระดับน้ำอีกตัวหนึ่งติดตั้งอยู่ในแนวระนาบเดียวกันและตั้งฉากกับตัวแรก สำหรับรถที่ติดตั้งเครื่องตวงขนาดใหญ่อาจมีระดับน้ำติดตั้งบนด้านข้างของเครื่องตวงใกล้กับส่วนล่างเพื่อสะดวกในการสังเกตอีกตำแหน่งก็ได้ ระดับน้ำแต่ละตัวจะติดตั้งบนชั้นวางที่มั่นคงถาวรและประกอบด้วยฝาปิดคลุมป้องกันความเสียหาย สกูรที่ใช้ปรับระดับของระดับน้ำจัดให้มีการซีลตะกั่วและลวดป้องกัน (รูปที่ 2)

7.3 สำหรับรถที่ติดตั้งเครื่องตวงขนาดใหญ่หากไม่มิดชิด ต้องทำการติดตั้งฝาปิดประจำเครื่องตวงแบบมาตราหรือวิธีการใดๆ ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือฝุ่นละอองสิ่งสกปรกตกลงไปในเครื่องตวงขนาดใหญ่ขณะที่ทำการขนย้ายหรือจอดอยู่กับที่ตามสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเห็นชอบ

7.4 ส่วนบนสุดของคอเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามต้องขัดเรียบและมีระดับโดยหากใช้เครื่องวัดระดับบนขอบบนสุดของคอเครื่องตวงแบบมาตราแล้วสามารถได้ระดับเช่นเดียวกับเครื่องวัดระดับหรือระดับน้ำซึ่งติดตั้งอยู่ประจำเครื่องตวงแบบมาตรา

7.5 ทุกส่วนประกอบของส่วนวัดหรือหลอดวัดระดับของเหลวภายในเครื่องตวงแบบมาตรา, ท่อ และวาล์วทั้งหมดรวมทั้งส่วนประกอบใดๆ ซึ่งมีผลกระทบกับปริมาตรของเครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนามต้องทำมาจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย และถูกทำการซีลทั้งหมด โดยหากต้องการปรับหรือถอดออกต้องทำได้เฉพาะเมื่อทำลายซีลเท่านั้น

7.6 สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ที่มีปั๊มของเหลวเพื่อดูดของเหลวออกจากตัวเครื่องตวงต้องจัดให้มีวาล์วชนิด 3 ทาง โดยท่อทางออกหนึ่งให้ต่อเข้ากับท่อทางดูดของปั๊มของเหลวส่วนอีกด้านหนึ่งให้ต่อเข้ากับท่อระบายตามแรงโน้มถ่วง

7.7 ปั๊มของเหลวดังกล่าวต้องเป็นชนิดหอยโข่ง (centrifugal pump) แบบ self priming ทั้งนี้ขนาดของปั๊มและระบบท่อต้องมีขนาดขึ้นอยู่กับปริมาตร

ของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ อัตราการไหลของปั๊มควรมีค่าประมาณ 15% ของปริมาตรเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ต่อนาที แต่อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 250 ลิตรต่อนาที

7.8 ปลายท่อที่ใช้บรรจุของเหลว (fill pipes), ท่อระบายของเหลว (drain pipes) และท่อนำไอระเหยกลับ (vapor recovery pipes) ติดตั้งอยู่กับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ซึ่งติดตั้งอยู่บนรถบรรทุกหรือรถพ่วงต้องมีฝาปิดท่อดังกล่าวด้วย

7.9 ให้ติดตั้งกลไกป้องกันน้ำวน (an effective anti-swirl device) เข้ากับกรวยด้านล่างของเครื่องตวงมาตราขนาดใหญ่ เพื่อให้มีการไหลวนของของเหลวน้อยที่สุดระหว่างการถ่ายของเหลวเข้า-ออกจากเครื่องตวงแบบมาตรา (ดูรูปที่ 2)

7.10 สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ใช้สำหรับของเหลวชนิดติดไฟได้ง่าย เช่น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ต้องติดตั้งระบบสายดินเข้ากับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากประจุไฟฟ้าสถิตย์ และสามารถต่อระบบสายดินให้ทำงานได้ขณะใช้งานเครื่องตวงแบบมาตรา

7.11 หากต้องการติดตั้งบันไดหรือนั่งร้านไม่ว่าอย่างถาวรหรือชั่วคราวเพื่ออ่านขีดขั้นหมายมาตราประจำเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ การสร้างบันไดต้องไม่ทำให้รูปร่างของเครื่องตวงดังกล่าวบิดเบี้ยว หรือมีผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของเครื่องตวงแบบมาตรา

7.12 สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ต้องจัดให้วิธีการวัดอุณหภูมิของเหลวภายในเครื่องตวงดังกล่าว หากใช้ช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ (thermometer wells) เพื่อทำการวัดอุณหภูมิของเหลวภายในเครื่องตวง จำนวนช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์น้อยที่สุดที่ต้องมีเป็นไปตามตารางที่ 3

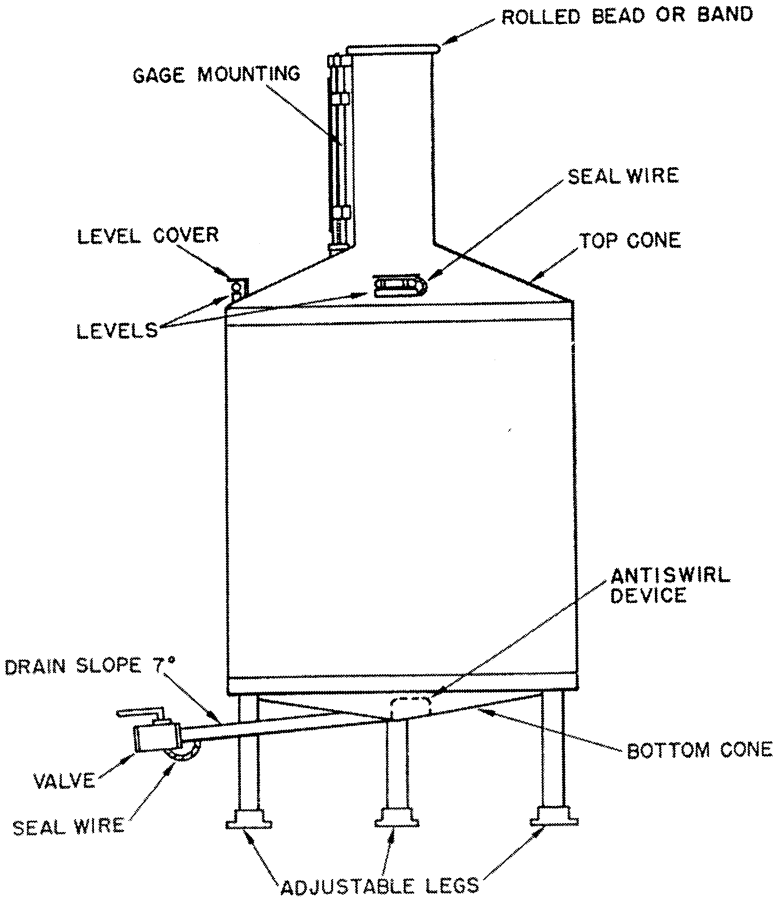
ตารางที่ 3 จำนวนช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์น้อยที่สุดของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่

พิกัดกำลังแบบมาตรา (Norminal capacity); L (ลิตร)	**จนถึง 500 L**	**มากกว่า 500 L จนถึง 2,000 L**	**มากกว่า 2,000 L**
จำนวนช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์น้อยที่สุด	1	2	3

ทั้งนี้การติดตั้งช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ต้องมีขนาดและระยะลึกเพียงพอเพื่อให้เทอร์โมมิเตอร์สามารถสอดเข้าไปได้ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี และยื่นเข้าไปในเครื่องตวงแบบมาตราเอียงลงด้านล่างทำมุมประมาณ 15 องศาจากแนวราบ ปลายปิด ในขณะเดียวกันก็สามารถเติมของเหลวเข้าไปภายในช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ได้เมื่อต้องการเพื่อช่วยให้การถ่ายเทอุณหภูมิจากของเหลวภายในเครื่องตวงแบบมาตรามาถึงเทอร์โมมิเตอร์สามารถทำการวัดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ และที่สำคัญการติดตั้งของช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ต้องติดตั้งในลักษณะที่การจุ่มของเทอร์โมมิเตอร์ต้องไม่ได้รับผลกระทบอันเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม

ในกรณีที่ช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์มีจำนวน 1, 2 หรือ 3 ช่อง เงื่อนไขการติดตั้งมีดังนี้

- สำหรับการติดตั้งช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ 1 ช่อง ตำแหน่งที่ควรติดตั้งได้แก่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของเครื่องตวงแบบมาตรา โดยให้ปลายของช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ต้องยื่นไปถึงตำแหน่งประมาณจุดศูนย์กลางของความสูงภาคตัดทรงกระบอกของเครื่องตวงแบบมาตรา
- ในกรณีที่ทำการติดตั้งช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์จำนวน 2 ช่อง ให้ทำการแบ่งความสูงของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้นติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 วัดจากส่วนปากคอเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ลงมาและติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 วัดจากส่วนล่างของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ขึ้นไป (ดูรูปที่ 4)
- ในกรณีที่ทำการติดตั้งช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์จำนวน 3 ช่อง ตำแหน่งที่ควรติดตั้ง ให้ทำการแบ่งความสูงของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้นติดตั้งที่ระยะ 1 ใน 3 ของความสูงวัดจากส่วนปากคอเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ลงมา 1 ตำแหน่ง ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ 1 ตำแหน่ง และที่ระยะ 1 ใน 3 ของความสูงวัดจากส่วนล่างของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ขึ้นไป



รูปที่ 4 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดเล็ก (Standard test measures)

- สำหรับในกรณีที่ทำการติดตั้งช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์มากกว่า 2 ตัว ขึ้นไป ระยะห่างของการติดตั้งของช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ต้องแบ่งให้มีระยะห่างเท่าๆ กันในแต่ละระยะเส้นรอบวงของเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ หรือหากต้องการติดตั้งที่เส้นรอบวงเครื่องตวงแบบ

มาตราขนาดใหญ่ที่เส้นเดียวกันก็ให้แบ่งระยะห่างของเส้นรอบวงให้เท่าๆ กันด้วย

สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ชนิดมีหุ้มฉนวน และ/หรือ รอบการทำการสอบเทียบเสร็จอย่างรวดเร็ว การใช้ช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์เพียง 2 ช่อง สำหรับเครื่องตวงแบบมาตราที่มีขนาดมากกว่า 2,000 ลิตร ก็เพียงพอ

ระยะยื่นเข้าไปในเครื่องตวงแบบมาตราของช่องเสียบเทอร์โมมิเตอร์ควรยื่นเข้าไปในถังตวงแบบมาตราไม่น้อยกว่า 30 ซม. แต่อย่างไรก็ตามต้องไม่ยืนล้ำเลยจุดศูนย์กลางของถังตวงแบบมาตราอย่างเด็ดขาด

8. ผลงานการสร้าง (Workmanship)

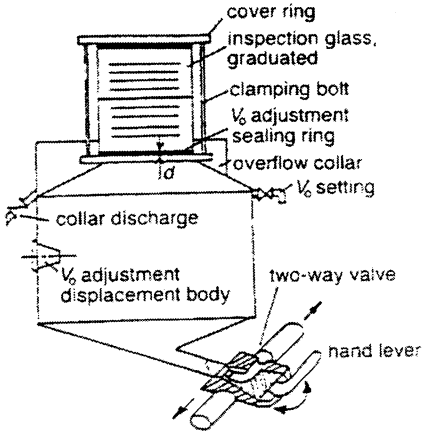
8.1 รอยเชื่อมหรือบัดกรีด้านในของเครื่องตวงทั้งหมดต้องเจียรแต่งให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันการตกค้างหรือเป็นกับดักจับอากาศหรือของเหลว อีกทั้งต้องไม่ทำให้ของเหลวรั่วไหล

8.2 การสร้างต้องประกันว่าไม่มีหลุม รอยเว้า หรือรอยแตกแยก ซึ่งอาจดักจับอากาศหรือของเหลว หรือทำให้การบรรจุ หรือการระบายของเหลวที่แท้จริงของเครื่องตวงแบบมาตราผิดไป

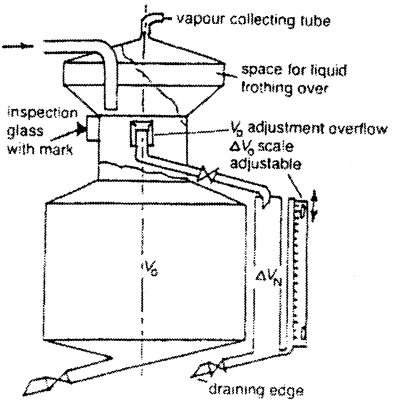
8.3 วาล์วทั้งหมดต้องทำงานอย่างอิสระและแน่นอน และผ่านการทดสอบการรั่วก่อนนำมาใช้งานภายใต้ความดันที่ใช้งานปกติ

8.4 ขาตั้งระดับต้องทำงานอย่างได้อย่างดีและรักษาสภาวะสมดุลย์ภายใต้น้ำหนักบรรทุก

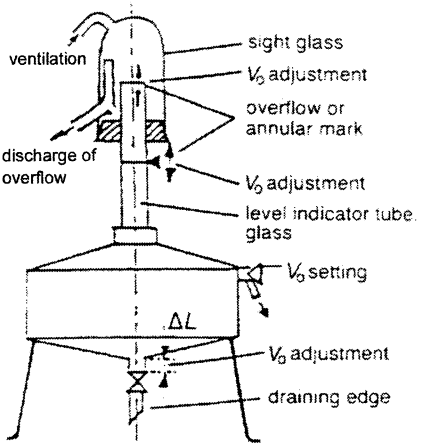
8.5 เครื่องตวงแบบมาตราที่ใช้ในภาคสนาม รวมทั้งอุปกรณ์ทั้งหมดประจำเครื่องตวงต้องปราศจากขี้โลหะลวดเชื่อม เศษโลหะ ฝุ่น สนิม หรือวัสดุแปลกปลอมซึ่งเป็นอันตรายต่อการใช้งานและความเที่ยงตรงของเครื่องตวงแบบมาตรา

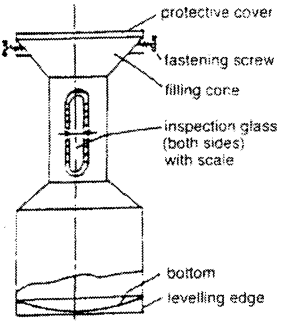


1/1.1

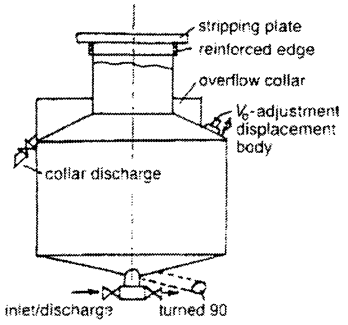


1/1.3

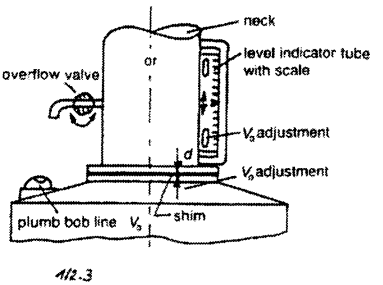




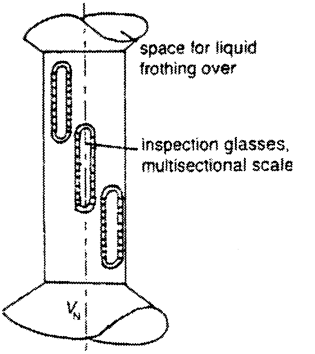
รูปที่ 5 ลักษณะทั่วไปของเครื่องตวงแบบมาตรา



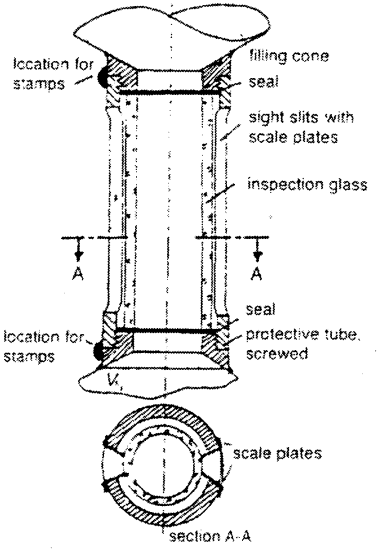
112.1

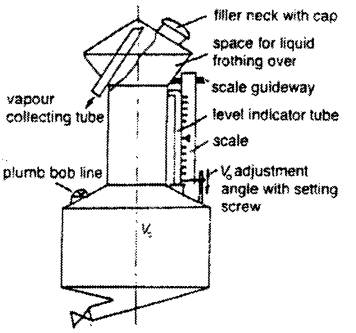


112.3

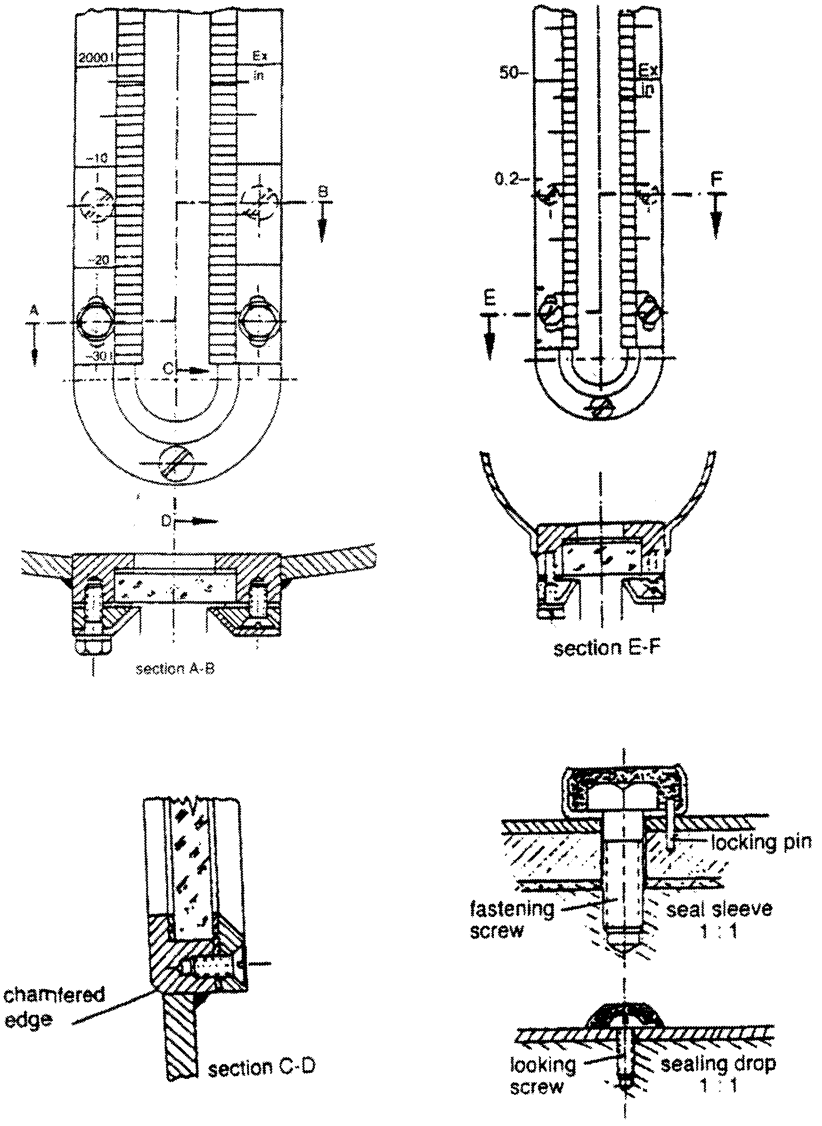


112.4

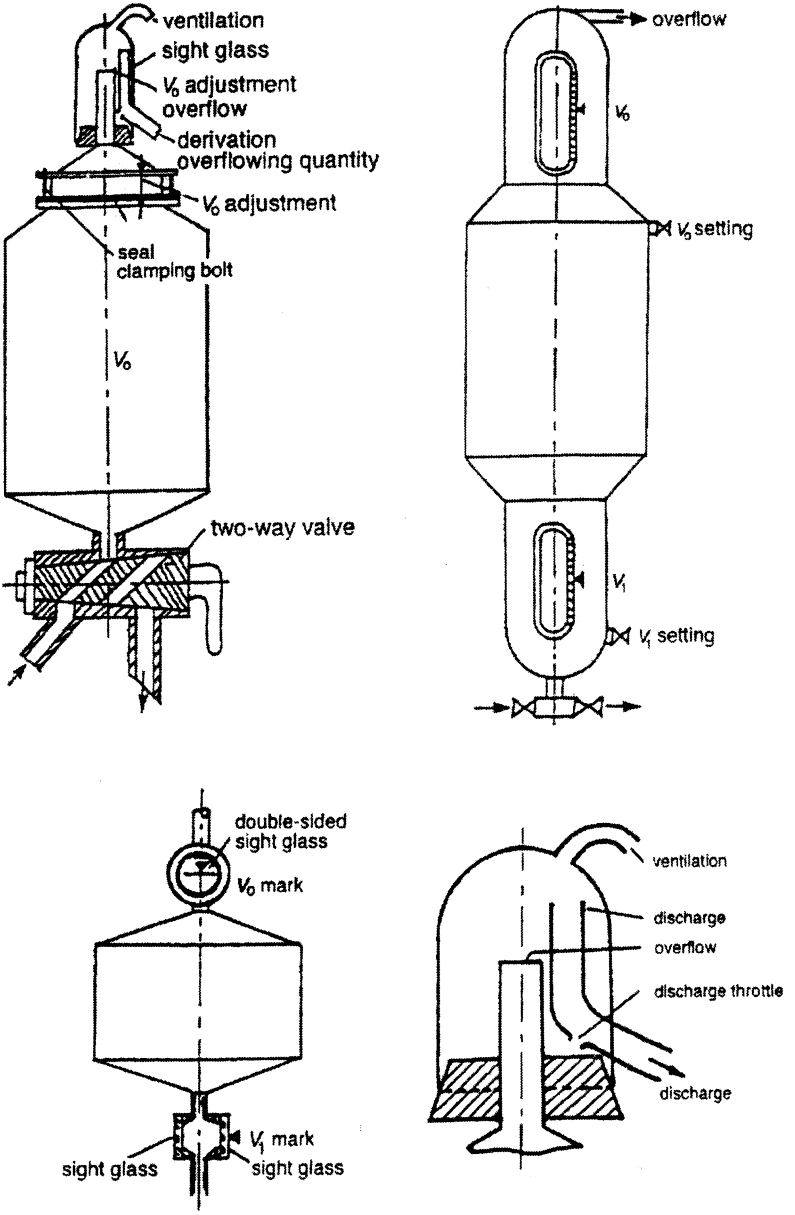




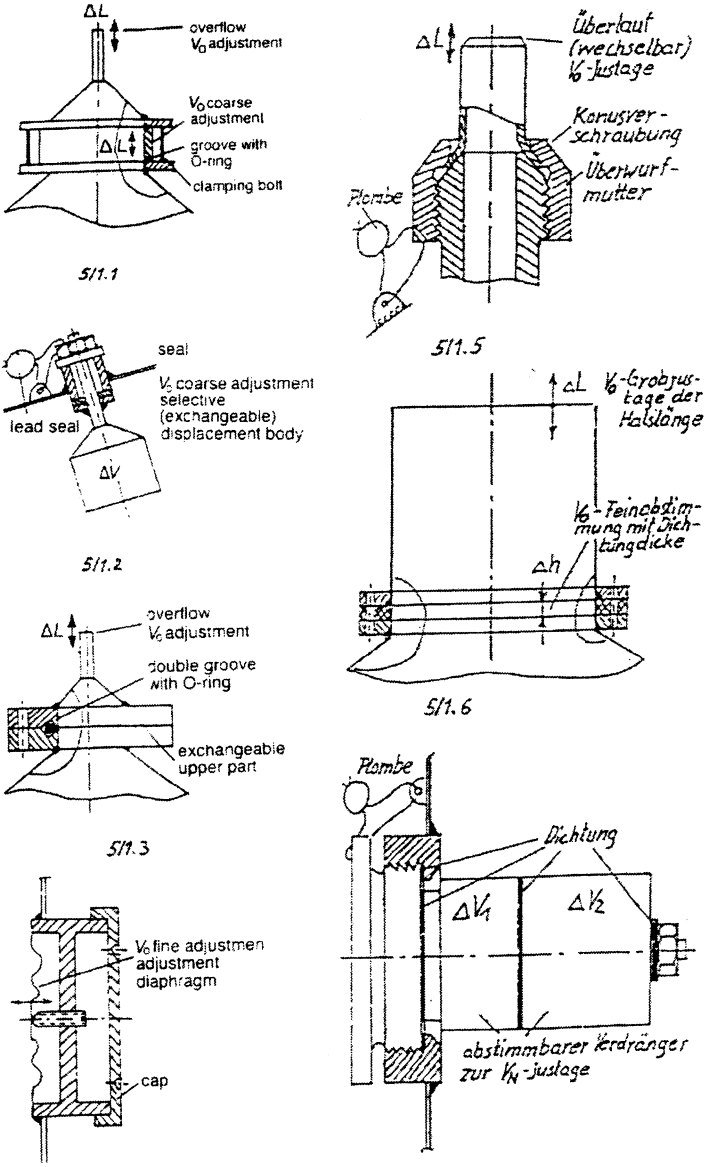
รูปที่ 5 (ต่อ) ลักษณะทั่วไปของเครื่องตวงแบบมาตรา



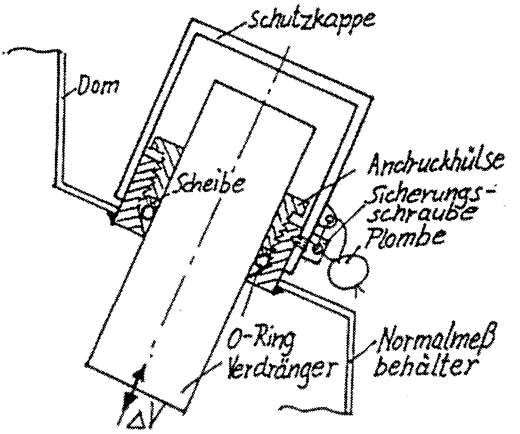
รูปที่ 6 ลักษณะทั่วไปส่วนวัดระดับแบบแผ่นปะกับ



รูปที่ 7 ลักษณะทั่วไปของเครื่องตวงแบบมาตราชนิดแบบปิเปท



รูปที่ 8 ลักษณะทั่วไปของส่วนปรับแต่งปริมาตรของเครื่องตวงแบบมาตรา



รูปที่ 8 (ต่อ) ลักษณะทั่วไปของส่วนปรับแต่งปริมาตรของเครื่องตวงแบบมาตรา

8.6 ตรวจสอบข้อต่อ ฝาอุด หน้าแปลนและฝาปิดครอบ หรือรอยต่อใดๆ ให้เรียบร้อยเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการรั่วซึมของเหลวขณะใช้งาน

9. ไอระเหยย้อนกลับ (Vapor Recovery)

9.1 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ประกอบด้วยท่อนำไอระเหยย้อนกลับซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกต้องทำการจุ่มท่อลงไปจากคอเครื่องตวงต่ำลงไป และตั้งฉากกับพื้นผิวเครื่องตวง โดยอยู่ในระนาบขนานพื้น ทั้งนี้อาจติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการสูญญากาศไว้ด้านปลายท่อนำไอระเหยย้อนกลับ

9.2 โดยปกติท่อไอระเหยย้อนกลับ มีขนาดประมาณ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) หรืออาจใช้ท่อที่มีขนาดเล็กกว่าในบางกรณี

9.3 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ทั้งหมดที่มีไอระเหยย้อนกลับ ต้องให้มีอุปกรณ์ระบายความดันออกจากเครื่องตวงแบบมาตราที่ความดัน 20–35 kPa (3–5 psi)

9.4 เครื่องตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ทั้งหมดที่มีไอระเหยย้อนกลับ ต้อง

มีการป้องกันการเกิดสูญญากาศระหว่างการถ่ายของเหลวออกจากเครื่องตวงแบบมาตรา โดยสามารถป้องกันการเกิดสูญญากาศที่ความดัน -20 kPa (-3 psi)

ตารางที่ 4 ขีดขั้นหมายมาตราที่คอเครื่องตวงแบบมาตรา (โดยประมาณ)

ขนาดพิกัดกำลัง (Norminal capacity)	ปริมาตรน้อยที่สุด ด้านบนขีดศูนย์และด้านล่างขีดศูนย์	ค่าขีดขั้นหมายมาตราหรือละเอียดกว่า
5 ลิตร	50 มิลลิลิตร	20 มิลลิลิตร
20 ลิตร	250 มิลลิลิตร	20 มิลลิลิตร
50 ลิตร	250 มิลลิลิตร	20 มิลลิลิตร
100 ลิตร	1650 มิลลิลิตร	50 มิลลิลิตร
200 ลิตร	2500 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร
500 ลิตร	4650 มิลลิลิตร	200 มิลลิลิตร
1000 ลิตร	8300 มิลลิลิตร	200 มิลลิลิตร
2000 ลิตร	15600 มิลลิลิตร	500 มิลลิลิตร
3000 ลิตร	22800 มิลลิลิตร	500 มิลลิลิตร
5000 ลิตร	32400 มิลลิลิตร	500 มิลลิลิตร

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

(Maximum Permisible Error)

การสอบเทียบเครื่องตวงแบบมาตรา กำหนดให้ค่าความไม่แน่นอน (exapaned uncertainty) ของการสอบเทียบสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกและชั้นหลังมีค่าเท่ากับ 1 ใน 3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด โดยการประมาณค่าความไม่แน่นอนตาม OIML (Guide to the expression of uncertainty in measurement) ให้ค่า k = 2 ซึ่งค่าความไม่แน่นอน (exapaned uncertainty) ได้ครอบคลุมถึงค่าความไม่แน่นอนของแบบมาตราที่ใช้, ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ และความไม่แน่นอนของเครื่องตวงแบบมาตราที่ถูกทำการสอบเทียบ

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องตวงแบบมาตราทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ ±1/2000 ของพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตราหรือดีกว่า

สำหรับขีดขั้นหมายมาตราซึ่งอยู่เหนือและใต้เส้นพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตรา ค่าปริมาตรที่ขีดขั้นหมายมาตราดังกล่าวก็ให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าเท่ากับ ±1/2000 ของพิกัดกำลังของเครื่องตวงแบบมาตราเช่นกันหรือดีกว่า

รอบอายุการสอบเทียบ

เครื่องตวงแบบมาตรากำหนดให้มีอายุคำรับรอง 2 ปี เมื่อครบอายุคำรับรองแล้วต้องนำกลับมารับการสอบเทียบใหม่

นิยาม

1. ท่อที่ใช้เติมของเหลวมีปลายด้านหนึ่งจมอยู่ในเครื่องตวง (Submerged fill pipe) ใช้สำหรับบรรจุของเหลวที่มีฟองน้อยที่สุด เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง โดยปล่อยของเหลวลงด้านล่างของเครื่องตวง
2. วาล์วที่ใช้ระบายอากาศออกจากท่อ (bleed valve) วาล์วที่ดักจับอากาศออกจากท่อ วาล์ว หรือ เครื่องประกอบ
3. Borosilicate glass เป็นแก้วชนิดหนึ่งที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และรู้จักในเครื่องหมายการค้าว่า Kimax (KG-33) หรือ Pyrex
4. Epoxy resin ยางสังเคราะห์บางชนิด โดยปกติจะแข็งตัวด้วยความร้อน ทำด้วย Polymerization ของ epoxide (เช่น ethylene oxide หรือ epichlorohdrin) กับ diphenol
5. การสิ้นสุดการไหล (Flow cessation) ชั่วขณะหนึ่ง เมื่อสายน้ำ “หยุดไหล” และกลายเป็นจำนวนเล็กน้อยหรือเป็นหยด
6. Sight-flow-indicator = อุปกรณ์แสดงการไหล อุปกรณ์ประกอบด้วยหน้าต่างที่สามารถสังเกตการไหลของของเหลวผ่านท่อได้

7. ไอระเหยย้อนกลับ (Vapor recovery) ระบบดักจับและรวมไอระเหย เพื่อป้องกันความดันของไอระเหยที่กำลังถูกไล่สู่บรรยากาศ
8. “IN”การแสดงว่า เครื่องตวงแบบมาตราได้ปรับให้บรรจุของเหลวมีปริมาตรตามที่กำหนดไว้
9. “EX”การแสดงว่า เครื่องตวงแบบมาตราได้ปรับให้ถ่ายเทของเหลวมีปริมาตรตามที่กำหนดไว้

หน่วยมูลฐาน 7 หน่วย

(Definitions of the Base Units)

คำนิยามที่ได้แปลไว้ต่อไปนี้เป็นคำนิยามหน่วยมูลฐาน 7 หน่วยของ International System of Units (SI) ซึ่งได้กำหนดไว้ใน General Conference on Weights and Measures (Conference Generale des Poids at Mesures, CGPM) ในรูปของภาษาอังกฤษในเอกสาร The International System of Units, HMSO, 1993

1. เมตร (Metre) คือ ความยาวของทางเดินของแสงในสูญญากาศในช่วงเวลา 1/299 792 458 ของหนึ่งวินาที (17^{th} CGPM, 1983)

2. กิโลกรัม (Kilogram) คือ หน่วยมวลสาร ซึ่งมีค่าเท่ากับมวลสารต้นแบบระหว่างประเทศ 1 กิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) (1^{st} CGPM,1889 and 3^{rd} CGPM, 1901)

3. วินาที (Second) คือ ช่วงระยะเวลาเท่ากับ 9 192 631 770 คาบของคลื่นของการแผ่รังสีที่สมนัยกับการเปลี่ยนระดับไฮเปอร์ไฟน์ (hyperfine levels) 2 ระดับของอะตอมซีเซียม-133 ของสถานะพื้นฐาน (the ground state of the caesium 133 atom) (13^{th} CGPM, 1967)

4. แอมแปร์ (Ampere) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ และรักษาให้คงที่เมื่อปล่อยค่ากระแสไฟฟ้าดังกล่าวเข้าตัวนำเส้นตรงจำนวน 2 เส้นที่ขนานกันและมีความยาวอนันต์ อีกทั้งมีพื้นที่หน้าตัดขวางเล็กมากจนถือว่าไม่คำนึงถึง และวางห่างกัน 1 เมตร ในสูญญากาศแล้วจะทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำเส้นตรงทั้งสองเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อความยาวหนึ่งเมตร (CIPM, 1946 approved by the 9^{th} CGPM, 1948)

5. เคลวิน (Kelvin) เป็นหน่วยของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic temperature) มีค่าเท่ากับ 1/273.16 ของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกส์ของจุดที่ 3 สถานะของน้ำบรรจบกัน (Thermodynamic temperature of the triple point of water) (13^{th} CGPM, 1967)

ในที่ประชุม 13^{th} CGPM, 1967 นั้นยังกำหนดให้หน่วย เคลวิน (Kelvin; K) จะถูกใช้เพื่อแสดงค่าช่วงของอุณหภูมิ หรือผลต่างของอุณหภูมิ

แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเคลวิน ด้วยอุณหภูมิ องศาเซลเซียส (degree Celsius)

$$T\ (^{\circ}C) = T\ (K) - 273.15$$

6. โมล (Mole) คือ ปริมาณมวลสารย่อย (amount of substance) ของระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐาน (elementary entities) หลายองค์ประกอบมีจำนวนเท่ากับจำนวนอะตอมของคาร์บอน-12 หนัก 0.012 กิโลกรัม จะใช้โมลก็ต่อเมื่อมีการกำหนดองค์ประกอบมูลฐาน และอาจเป็น อะตอม(atoms), โมเลกุล (molecules), ไอออน (ions), อิเล็คตรอน (electrons), อนุภาคอื่นๆ (other particles) หรือ กลุ่มจำเพาะเจาะจงของอนุภาคดังกล่าว (14^{th} CGPM, 1971)

7. แคนเดลา (Candela) คือ ความเข้มการส่องแสง (luminous intensity) ในทิศทางที่กำหนด ความเข้มการส่องแสงของแหล่งกำเนิดซึ่งปลดปล่อยรังสีเอกรงค์ (monochromatic radiation) ด้วยความถี่ 540×10^{12} เฮิรตซ์ และมีความเข้มของการแผ่รังสีในทิศทางดังกล่าวเท่ากับ 1/683 วัตต์ต่อสเตอเรเดียน (watt per steradian) (16^{th} CGPM, 1979)

Derivation of Base Units

ความเร่งแรงโน้มถ่วง

(Gravitational Acceleration)

ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูง หรือตุ้มน้ำหนักแบบมาตราหรือมาตรฐาน Class E2, F1, F2, M1, และ M2 ตาม OIML R111 นั้น นอกจากจะต้องมีสิ่งแวดล้อมของห้องสอบเทียบ เครื่องชั่งหรือเครื่อง Mass comparator ที่ถูกต้องและมีความแม่นยำเหมาะสมกับงานสอบเทียบตุ้มน้ำหนักแต่ละชั้นความเที่ยง วิธีการและขั้นตอนการสอบเทียบที่ถูกต้องเหมาะสม การทำการสอบเทียบด้วยเจ้าหน้าที่ผู้มีประสบการณ์ อีกทั้งวิธีการคำนวณผลการสอบเทียบเพื่อสรุปไว้ในรายงานผลการสอบเทียบ ล้วนแล้วแต่มีความสอดคล้องและมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

ในการคำนวณผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูง มีปัจจัยและตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงและเลือกมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งแต่ละค่าจำเป็นต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและรอบคอบ ตัวแปรหนึ่งที่เราให้ความสนใจในที่นี้คือ ความเร่งแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration) เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณในการสอบเทียบอื่นๆ ที่ต่อเนื่องจากการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักอีกด้วย

เนื่องจากค่าน้ำหนักตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูงจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ตุ้มน้ำหนักจัดเก็บและใช้งานบนพื้นโลกหรือในแต่ละประเทศที่แตกต่างกัน เนื่องจากเราพบว่าตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูงที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยจะได้รับการรับรองค่าน้ำหนักจากประเทศที่มีเทคโนโลยีสูง เช่น ที่สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน, สวิสเซอร์แลนด์ เป็นต้น ซึ่งค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงที่ประเทศดังกล่าวมีค่าต่างกับค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงในประเทศไทย ดังนั้นการใช้ค่าน้ำหนักจากใบรับรองผล (Certificate report) ซึ่งมากับตุ้มน้ำหนักดังกล่าวจึงต้องพึงระวัง

ค่าความเร่งแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration) ที่น่าสนใจและน่าเชื่อถือ ซึ่งเป็นการประมาณค่าโดยประมาณ ด้วยสูตรหาค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงของ Cassini ได้ว่า

$$g = 9.780318 \left[1 + 5.3024 \times 10^{-3} \sin^2 \varphi - 5.8 \times 10^{-6} \sin^2 (2\varphi) \right] \quad m/s^2$$

เมื่อ

$$\varphi = \text{Geographical latitude}$$
$$\partial g/\partial z = 3.085 \pm 10^{-6} \ s^{-2} \quad \text{Vertical gradient}$$

สำหรับพิกัดตำแหน่งของกรุงเทพมหานคร จากข้อมูลที่ได้สอบถามจากกรมอุตุนิยมวิทยา ตำแหน่งที่ศูนย์สิริกิตต์ ได้ว่า

- ตำแหน่ง Latitude (เส้นรุ้ง) ที่ 13 องศา 43 ลิปดา 35 พิลิปดา เหนือ
- ตำแหน่ง Longitude (เส้นแวง) ที่ 100 องศา 33 ลิปดา 36 พิลิปดา ตะวันออก
- Sea level จากระดับน้ำทะเลปานกลาง 2 เมตร

ตำแหน่ง Latitude (เส้นรุ้ง) ที่ 13 องศา 43 ลิปดา 35 พิลิปดา เหนือ นั่นคือ 13.7264 องศาเหนือ ดังนั้นประมาณค่าความเร่งแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration) ได้

$$\begin{aligned} g &= 9.780318 \left[1 + 5.3024 \times 10^{-3} \sin^2 (13.7264) - 5.8 \times 10^{-6} \sin^2 (2 \times 13.7264) \right] \\ &= 9.780318 \left[1 + 2.985492 \times 10^{-4} - 1.232717 \times 10^{-6} \right] \\ &= 9.7832 \qquad m/s^2 \end{aligned}$$

นอกจากนี้ได้รวมเอาค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงของแต่ละประเทศเอาไว้พอสังเขป แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นให้ตรวจสอบอีกครั้งกับสถานที่จริงอีกครั้งว่ามีการใช้ค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงเท่าไรเนื่องจากระดับความสูงของระดับพื้นที่เหนือระดับระดับน้ำทะเลมีผลต่อค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงแต่ละสถานที่นั้นๆ ด้วยเช่นกัน

Europe

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Thule	9,82914	77
Hammerfest	9,82617	
Reykjavik	9,82265	
Oslo	9,81916	
Helsinki	9,8191	
Copenhagen	9,81543	
London (Teddington)	9,81185	9
Brussels	9,8113	19
Paris	9,8092	66
Zagreb	9,80658	135
Rome	9,8033	45
Lisbon	9,8007	
Madrid	9,7997	655

Asia

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Ankara	9,7992	851
Tokyo	9,7977	
Beirut	9,7968	
Teheran	9,7940	1232
New Delhi	9,7912	230
Kabul	9,7912	2224
Hong Kong	9,7876	
Manila	9,7835	
Aden	9,7831	
Bangkok **	9,7831 **	
Saigon	9,78215	
Colombo	9,7812	
Singapore	9,78065	
Kuala Lumpur	9,7803	88

Central and South America

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Punta Arenas	9,8131	
Buenos Aires	9,7970	
Rio de Janeiro	9,7878	
Lima	9,7827	
Panama	9,7823	
Caracas	9,7823	1042
San Salvador	9,7817	680
Brasilia	9,7808	1059
Paramaribo	9,78033	
Belém	9,7802	
Guatemala	9,7797	1493
San Jose	9,7796	1180
Mexico City	9,7794	2216
Bogotá	9,7739	2592
La Paz	9,7737	3800
Quito	9,7727	2815

Australia and the Pacific Islands

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Wellington	9,8027	
Melbourne	9,7995	
Sydney	9,7965	
Perth	9,7940	
Brisbane	9,7914	
Honolulu	9,7893	
Tahiti	9,7869	
Alice Springs	9,7865	554
Fidji	9,7859	
Darwin	9,78301	

Africa

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Casablanca	9,7963	
Capetown	9,7963	
Tripoli	9,7955	
Cairo	9,7929	118
Pretoria	9,78615	1362
Conakry	9,7822	
Freetown	9,7818	
Monrovia	9,7814	
Harare	9,7812	1470
Accra	9,7808	
Kinshasa	9,7793	285
Nairobi	9,7753	1660
Addis-Ababa	9,7745	2300

North America

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Winnipeg	9,8098	232
Fairbanks	9,8222	157
Anchorage	9,8191	
Vancouver	9,8092	
Montreal	9,8063	57
Ottawa	9,80606	83
Chicago	9,8027	205
Washington	9,8009	
San Francisco	9,7997	
Salt Lake City	9,7979	1282
Denver	9,7961	1584
Los Angeles	9,7958	
Houston	9,7928	
Miami	9,7902	

Germany

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
Flensburg	9,81486	
Hamburg	9,81364	
Bremen	9,81320	
Potsdam	9,81267	35
Hanover	9,81262	54
Brunswick	9,81252	76
Düsseldorf	9,81184	36
Göttingen	9,81163	150
Braunlage	9,81125	548
Frankfurt am Main	9,81046	98
Darmstadt	9,81028	144
Nuremberg	9,80919	309
Ingolstadt	9,80858	374
Stuttgart	9,80833	245
Freiburg i.Breisg.	9,80826	278
Munich	9,80723	512

Where no h is given, these are coastal cities. Gravitational acceleration g according to IGSN 71.

Antarctic

City	g in ms^{-2}	h above sea level in m
McMurdo Sound	9,8297676	

Where no h is given, these are coastal cities. Gravitational acceleration g according to IGSN 71.

ความหนาแน่นอากาศ

(Air Density)

ความหนาแน่นของอากาศ นับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญไม่เพียงในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูง แต่ยังครอบคลุมถึงการสอบเทียบที่ต้องคำนึงถึงแรงลอยตัวในอากาศ และการสอบเทียบซึ่งเป็นการสอบเทียบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักหรือเปรียบเทียบค่าน้ำหนัก คุณสมบัติทางฟิสิกส์เฉพาะตัวของสิ่งของที่ต้องการสอบเทียบโดยเฉพาะความหนาแน่นของสิ่งของที่ต้องการสอบเทียบ ล้วนมีผลต้องคำนึงถึงอิทธิพลของแรงลอยตัว

การหาค่าความหนาแน่นของอากาศโดยทั่วไป พบว่าอากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน, ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งความชื้นภายในอากาศ นอกจากนี้อาจมีสิ่งแปลกปลอมและละอองฝุ่นอีกจำนวนหนึ่ง แต่ในที่นี้เราจะสนใจค่าความหนาแน่นของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ด้วยสูตรคำนวณตามข้อแนะนำโดย Comite' International des Poids at Mesures หรือนิยมอ้างถึงเป็นหน่วยงาน BIPM หรือ CIPM สมการที่ 1981/91 (Equation of 1981/91) ซึ่งจะใช้สมการ Non-ideal Gas

$$\rho_a = \frac{pM}{ZRT} \qquad (1)$$

เมื่อ

p = the air pressure; Pa

M = the molar mass of moist air

Z = the real gas factor

R = 8.31451 J mol^{-1} K^{-1} (the molar gas constant)

T = 273 + t (the absolute temperature in K)

t = the temperature in $^{\circ}C$

p (the air pressure)

ค่าความดันอากาศจะถูกวัดด้วยเครื่องมือวัดความดัน บันทึกและแทนค่าในสมการในหน่วยของ Pa

M (the molar mass of moist air)

ค่า the molar mass of moist air M จะถูกคำนวณได้จาก the molar mass M_a ของอากาศแห้งและ the molar content x_v กับ the molar mass M_v ของไอน้ำ (water vapour) ในอากาศที่มีความชื้น (moist air)

$$M = M_a - x_v(M_a - M_v) \tag{2}$$

เมื่อ

$$M_a = \left(28{,}9635 + 12{,}011(x_{co_2} - 0.0004)\right) \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \tag{3}$$

= molar mass of dry air

$$M_v = 18{,}015 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \tag{4}$$

= molar mass of water vapour in moist air

X_v = molar water vapour content in moist air

โดยปกติแล้วค่า Molar CO_2 content (x_{co2}) จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.0004

ดังนั้นจากตัวแปรทั้งหมดในสมการเราจึงเหลือ Molar content x_v ของไอน้ำ (water vapour) ที่ต้องทำการหา x_v ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. การวัดค่าความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (Measurement of the relative air humidity) h_r ในรูปของค่า %

Molar content X_v ของไอน้ำ (water vapour) อยู่ในรูปสมการ sprung's formula ดังต่อไปนี้

$$x_v = \frac{h \times f_w(p,t) \times p_{sv}(t)}{p} \tag{5}$$

เมื่อ

h = relative air humidity referred to 1

= $h_r/100$

h_r = relative air humidity in %

$f_w(p,t)$ = the fugacity coefficient of water vapour in air

มีค่าดังในสมการข้างล่าง

$$f_w = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \qquad (6)$$

เมื่อ α = 1.00062

β = 3.14×10^{-8} Pa^{-1}

γ = 5.6×10^{-7} K^{-2}

p = air pressure in Pa

t = temperature in °C

$p_{sv}(t)$ = the saturation vapour pressure of water

มีค่าดังในสมการข้างล่าง

$$p_{sv} = k_1 \exp(k_2 T^2 + k_3 T + k_4 + k_5 T^{-1}) \qquad (7)$$

เมื่อ k_1 = 1 Pa

k_2 = 1.2378847×10^{-5} K^{-2}

k_3 = $-1.9121316 \times 10^{-2}$ K^{-1}

k_4 = 33.93711047

k_5 = -6.3431645×103 K

T = absolute temperature in K

2. การวัดค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง t_d ด้วย a dew-point hygrometer (measurement of the dew-point temperature with a dew-point hygrometer)

สามารถคำนวณด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$x_v = \frac{f_w(p,t_d) \times p_{sv}(t_d)}{p} \qquad (8)$$

เมื่อ t_d = อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (the dew-point temperature)

ในส่วนของ f_w (p,t_d) หาได้จากการแทนค่า t_d ลงในสมการที่ (6) f_w (p,t); the fugacity coefficient of water vapour in air และ p_{sv} (t_d) หาได้จากการแทน ค่า t_d ลงในสมการที่ (7) p_{sv} (t); the saturation vapour pressure of water ดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้น

3. การวัดค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจากกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิจากกระเปาะเปียก (t_{dry} -t_{wet}) ซึ่งวัดด้วย aspiration psychrometer (Measurement of the temperature difference (t_{dry} -t_{wet}) with an aspiration psychrometer) สามารถคำนวณด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$x_v = \frac{f_w(p,t_{wet}) \times p_v(t_{dry},t_{wet})}{p} \qquad (9)$$

เมื่อ

p_v = the vapour pressure

คำนวณหาความดันไอ (the vapour pressure) ได้จากสมการ p_{sv} (t); the saturation vapour pressure of water ตาม sprung's formula และสรุปได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$p_v = p_{sv}(t_{wet}) - c_s \times (t_{dry} - t_{wet}) \times p \qquad (10)$$

เมื่อ $c_s = 6.62 \times 10^{-4}\ K^{-1}$

t_{dry} = the temperature of the dry thermometer (°C)

t_{wet} = the temperature of the wet thermometer (°C)

Z (the real gas factor)

คำนวณค่าดังกล่าวด้วยสมการดังนี้

$$Z = 1 - \frac{p}{T}\left[f_1(t) + f_2(t, x_v)\right] + \frac{p^2}{T^2} f_3(x_v) \qquad (11)$$

เมื่อ

$$f_1(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \qquad (12)$$

$$f_2(t, x_v) = (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2 \qquad (13)$$

$$f_3(x_v) = d_0 + d_1 x_v^2 \qquad (14)$$

$a_0 = 1.58123 \times 10^{-6}$ K Pa^{-1}

$a_1 = -2.9331 \times 10^{-8}$ Pa^{-1}

$a_2 = 1.1043 \times 10^{-10}$ K^{-1}Pa^{-1}

$b_0 = 5.707 \times 10^{-6}$ K Pa^{-1}

$b_1 = -2.051 \times 10^{-8}$ Pa^{-1}

$c_0 = 1.9898 \times 10^{-4}$ K Pa^{-1}

$c_1 = -2.376 \times 10^{-6}$ Pa^{-1}

$d_0 = 1.83 \times 10^{-11}$ K^2 Pa^{-2}

$d_1 = -0.765 \times 10^{-8}$ K^2 Pa^{-2}

เมื่อคำนวณหาตัวแปรทั้งหมดได้ครบแล้วก็แทนค่าลงในสมการที่ 1 แต่ดูเหมือนว่ากว่าจะได้ค่าความหนาแน่นของอากาศต้องทำการวัดค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ และ molar Co_2 content in the moist air (x_{co2}) ค่อนข้างยุ่งยาก ถึงแม้ว่าจะให้ผลที่น่าเชื่อก็ตาม แต่อาจเกินความจำเป็น

ดังนั้นเราสามารถหาค่าความหนาแน่นของอากาศด้วยจากกราฟด้วยวิธีการประมาณค่าแบบหยาบๆ แต่ให้ผลน่าพอใจทีเดียว ดังแสดงในรูปที่ 1

เนื่องจากสูตรหาความหนาแน่นของอากาศของ CIPM มีความถูกต้องสูงมากเกินไปและบ่อยครั้งพบว่าเกินความจำเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าประมาณด้วย สมการดังข้างล่างน่าจะเพียงพอ

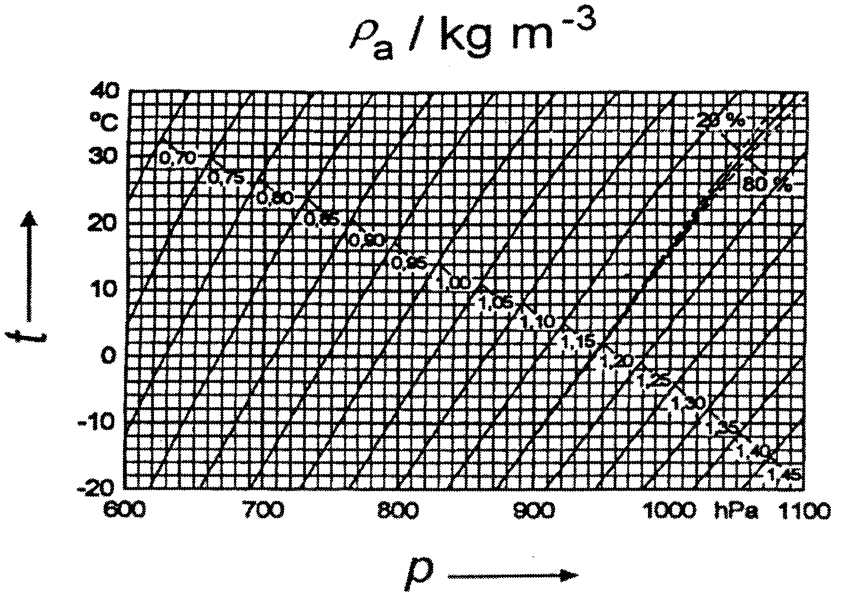


Fig. Roughly estimated determination of the air density ρ_a in kg m^{-3} at a relative air humidity h_r = 50%, in the temperature range from -20 °C to +40 °C in the air pressure range from 600 hPa to 1100 hPa (= mbar).

รูปที่ 1 กราฟประมาณค่าความหนาแน่นอากาศ

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times p - 0.009024 \times h_r \times e^{(0.0612t)}}{273.15 + t} \quad kg/m^3 \qquad (15)$$

เมื่อ

p = the air pressure; mbar หรือ hPa (1 mbar = 1 hPa)

h_r = ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (the relative air humidity); %

t = the temperature; °C

เมื่อเราทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นของอากาศที่คำนวณจากสมการที่ 1 หรือสมการหาค่าความหนาแน่นของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ด้วยสูตรคำนวณตามข้อแนะนำโดย Comite' International des Poids at Mesures หรือนิยมอ้างถึงเป็นหน่วยงาน BIPM หรือ CIPM สมการที่ 1981/91 (Equation of 1981/91) เราพบว่า

กรณีที่ 1 หากสภาวะเงื่อนไขสิ่งแวดล้อม

- 900 mbar ≤ p ≤ 1100 mbar
- 10 °C ≤ t ≤ 30 °C
- $h_r \leq 80\%$

ผลต่างสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ด้วยสมการที่ (15) กับค่าความหนาแน่นที่คำนวณตามคำแนะนำ CIPM จะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta\rho_a/\rho_a = 2 \times 10^{-4}$$

กรณีที่ 2 แต่ถ้าหากสภาวะเงื่อนไขสิ่งแวดล้อม

- 600 mbar ≤ p ≤ 1100 mbar
- -20 °C ≤ t ≤ +40 °C
- $h_r \leq 80\%$

ผลต่างสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ด้วยสมการที่ (15) กับค่าความหนาแน่นที่คำนวณตามคำแนะนำ CIPM จะมีค่าเท่ากับ

$$\Delta\rho_a/\rho_a = 2 \times 10^{-3}$$

ถือว่ามีค่าน้อยมากทั้ง 2 กรณี

พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ

(Determination of Mass in Practice)

ตอนที่ 1

ในปัจจุบันดูเหมือนวิถีชีวิตเราแถบทุกคนจะต้องเกี่ยวข้องกับการหาค่าน้ำหนัก ไม่ว่าจะเป็นการหาค่าน้ำหนักเพราะเป็นอาชีพโดยตรง หรือเพื่อการดำรงชีวิต หรือเพื่อสุขภาพ หรือการค้าขายทำธุรกิจ หรือการเสียภาษีอากร รวมทั้งอื่นๆ อีกมากมาย ตัวอย่างเช่น การดำรงชีวิตประจำวัน การซื้ออาหารเช่น เนื้อหมูชัก 1 กก. หรือการส่งพัสดุเพื่อให้ญาติพี่น้องต่างจังหวัดหรือต่างประเทศ การชั่งน้ำหนักตัวเองเพื่อควบคุมน้ำหนักดูเหมือนเป็นเรื่องที่สาวๆ ที่รักความสวยความงามแทบปฏิบัติกันถ้วนหน้า นอกจากนี้การชั่งน้ำหนักที่เราอาจพบมากในรูปของสินค้าสำเร็จรูปก็ได้แก่ สินค้าหีบห่อ เช่นข้าวสารบรรจุถุงพลาสติกขนาด 5 กิโลกรัม เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้เครื่องชั่งจึงได้รับการออกแบบให้มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการและวัตถุประสงค์การใช้งาน อีกทั้งง่ายและมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง ดังนั้นหากจำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่ต้องเกี่ยวข้องกับสาธารณะชนและด้วยวัตถุประสงค์ของการซื้อขายแลกเปลี่ยน หรือพูดง่ายๆ ว่าในแง่เชิงพาณิชย์ธุรกิจ รวมทั้งครอบคลุมถึงเครื่องชั่งที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเก็บค่าภาษีอากรและค่าธรรมเนียมต่างๆ ด้วย เครื่องชั่งที่กล่าวมานั้นต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) จากเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดก่อนนำเครื่องชั่งไปใช้งาน

เราจะเห็นว่าในการดำเนินธุรกิจซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศด้วยการตีมูลค่าของสินค้าหรือสิ่งของด้วยการชั่งน้ำหนักสินค้าหรือสิ่งของโดยเครื่องชั่งนั้นมีมูลค่าสูงมากมายเหลือเกินในแต่ละปี หรือหากพูดว่าในแต่ละวันก็มีมูลค่าสูงมากมายแล้ว ด้วยเหตุนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชั่งทั้งโดยตรงและโดยอ้อมและการตีราคาสินค้าหรือสิ่งของทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในวิธีการชั่งน้ำหนัก ปัจจัยหรืออิทธิพลที่มีผลต่อการชั่งน้ำหนัก ระดับความแม่นยำถูกต้องของเครื่องชั่งและชนิดเครื่องชั่งที่

ต้องการเพื่อเหมาะสมกับงานที่ต้องดำเนินการล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต้องทำความเข้าใจบนพื้นฐานที่ถูกต้องเสียก่อน

ในเรื่องของพื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติซึ่งจะกล่าวไว้ในต่อไปนี้ดูเหมือนจะเป็นเรื่องที่ต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์กายภาพเบื้องต้น และอาจอยู่ในระดับของการชั่งน้ำหนักที่ต้องการความแม่นยำถูกต้องสูงมากในระดับหนึ่ง อาจไม่ใช่เป็นความรู้พื้นฐานเพื่อการหาน้ำหนักที่ใช้ในทางการดำเนินธุรกิจเสียทีเดียวแต่ถือได้ว่าเป็นบทพื้นฐานก็ว่าได้ และเป็นเรื่องที่ต้องทำความเข้าใจกันเสียก่อนเนื่องจากเป็นทฤษฎีบทพื้นฐาน

พื้นฐานการชั่งเพื่อหามวล (Mass) และเพื่อให้ได้น้ำหนัก (Weight) ในทางปฏิบัติจึงขอกล่าวสิ่งที่ต้องคำนึงและมีผลต่อการชั่งน้ำหนักไว้ในที่นี้คือ

1. อิทธิพลของแรงลอยตัวอากาศต่อการชั่ง (Effect of force taking air buoyancy into account)
2. มวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass)
3. การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศ (Air density fluctuation)
4. อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวลตามอนุสัญญา (Effects of Air density fluctuation on conventional mass)

1. อิทธิพลของแรงลอยตัวอากาศต่อการชั่ง (Effect of force taking air buoyancy into account)

ในการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งนั้น เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อมวล m เกิดแรง F_m กระทำต่อมวลกดลงบนเครื่องชั่ง ตามกฎของนิวตัน

$$F_m = m \bullet g \qquad (1)$$

แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงลอยตัวอากาศกระทำต่อมวล m ยกตัวสวนขึ้นมาเนื่องจากปริมาตรของมวล m (V_m) ไปแทนที่อากาศด้วยปริมาตร V_a ด้วยปริมาตรที่เท่ากันตามหลักการ Archimedes' principle

$$V_a = V_m = \frac{m}{\rho_m} \quad (2)$$

ดังนั้นน้ำหนักของอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยมวล m จึงมีค่าเท่ากับ

$$m_a = V_a \rho_a \quad (3)$$

และแรงลอยตัวอากาศที่กระทำต่อมวล m มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} F_a &= m_a g \\ &= V_a \rho_a g \\ &= V_m \rho_a g \\ &= \frac{m}{\rho_m} \rho_a g \end{aligned} \quad (4)$$

จากสมการข้างบนเราจึงได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัวอากาศกับแรงเนื่องจากน้ำหนักของมวล m ได้ว่า

$$F_a = \frac{\rho_a}{\rho_m} mg = \frac{\rho_a}{\rho_m} F_m \quad (5)$$

$$\frac{F_a}{F_m} = \frac{\rho_a}{\rho_m} \quad (6)$$

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว ณ ที่สภาวะสมดุลของสภาวะแรงทั้งหมดจึงได้ว่า

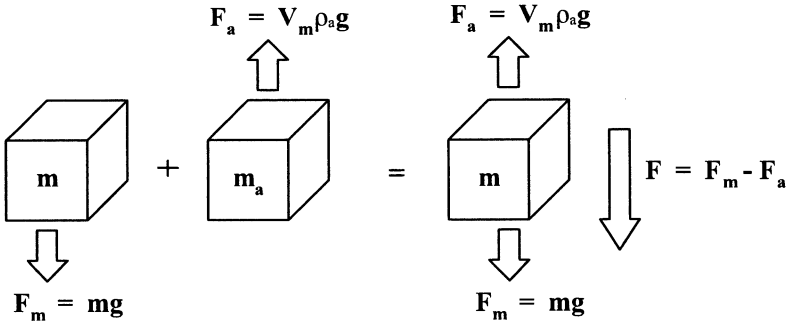
$$F = F_m - F_a \quad (7)$$

$$F = (m - V_m \rho_a) g \quad (7.1)$$

$$F = m(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}) g \quad (8)$$

จากสมการที่ 8 จึงเห็นได้ว่าในการชั่งน้ำหนักหรือหาค่าแรงน้ำหนัก F ของมวล m นั้นจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นของมวล m หรือมวลที่ต้องการชั่ง, ค่าความหนาแน่นของอากาศขณะทำการชั่ง ซึ่งก็จะมีปัจจัยอื่นๆ อีกหลายค่าที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน และปัจจัยสุดท้าย คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนพื้นโลกว่าอยู่บริเวณใดอีกทั้งอยู่ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลเท่าไร

สรุปแรงที่กระทำต่อมวล m ตามสมการที่ 7 ได้ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงผลรวมของแรงกระทำต่อมวล m

พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ
(Determination of Mass in Practice)
ตอนที่ 2

ต่อจากตอนที่ 1 ซึ่งได้พูดถึงอิทธิพลของแรงลอยตัวอากาศต่อการชั่ง (Effect of force taking air buoyancy into account) ว่ามีผลต่อค่าน้ำหนักที่ทำการชั่งอย่างไรในตอนที่ 2 เราจะมาพูดถึงความหมายของมวลตามอนุสัญญา (Convention mass) เพราะเป็นกติกาสากลในการอ้างอิงค่าน้ำหนักที่เราใช้กันอยู่ในกิจวัตรประจำวันและงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. มวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass)

ดูเหมือนจะเป็นเรื่องที่ก่อให้เกิดความสับสนและยุ่งยากมากสำหรับผู้เขียนในการแปลคำว่า *"Conventional Mass"* ให้เป็นชื่อภาษาไทย เพราะอาจแปลเป็นมวลอ้างอิง หรือมวลที่ตกลงตามสากล แต่ด้วยปัญญาอันจำกัดจึงขออนุญาต ณ ที่นี้ ขอแปลว่า *"มวลตามอนุสัญญา"* เนื่องจากการกำหนดคำนิยามของมวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass) เป็นการกำหนดสภาวะของการหาค่ามวลและวิธีการหาค่ามวลด้วยการประชุมของหน่วยงานระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง นั่นหมายถึงเป็นคำนิยามที่ได้รับมติเห็นชอบจากหน่วยงานสำคัญระหว่างประเทศและนานาประเทศได้ยอมรับนำไปปฏิบัติในทิศทางเดียวกัน จากเอกสาร OIML (The International Organization of Legal Metrology) R 111 นั้นได้นิยามมวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass) เป็นภาษาอังกฤษว่า

"Conventional Mass

Conventional value of the result of weighing in air, in accordance to international Recommendation OIML R33 (Conventional value of the result of weighing in air).

For a weight taken at 20 °C, the conventional mass is the mass of a reference weight of a density of 8,000 kg/m^3 which it balances in air of density of 1.2 kg/m^3."

จากภาษาอังกฤษข้างบนพอจะสรุปความหมายของมวลตามอนุสัญญา

(Conventional Mass) ได้ว่า เมื่อทำการชั่งน้ำหนักในบรรยากาศปกติตามข้อกำหนด OIML R33 ค่ามวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass) จะมีค่าเท่ากับมวลของตุ้มน้ำหนักอ้างอิงมีค่าความหนาแน่นของเนื้อมวลเท่ากับ 8,000 kg/m^3 ในขณะที่เนื้อของมวลตุ้มน้ำหนักอ้างอิงมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดเท่ากับ 20°C และเมื่อทำการชั่งเปรียบเทียบระหว่างมวลของตุ้มน้ำหนักอ้างอิงกับมวลตามอนุสัญญาแล้วเข้าสู่สภาวะสมดุลขณะชั่งในอากาศที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.2 kg/m^3

จากนิยามแล้วดูเหมือนวิธีการชั่งและการกำหนดสภาวะเงื่อนไขของการชั่งต้องกระทำไปด้วยความรอบคอบและมีความเข้าใจและมีประสบการณ์เพียงพอมากทีเดียวกว่าที่จะหาค่ามวลตามอนุสัญญาได้ เช่น ต้องเข้าใจว่าการที่จะทำให้ตุ้มน้ำหนักอ้างอิงมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดเท่ากับ 20°C ก็อย่างน้อยต้องเข้าใจหลักการของ Heat Transfer ซึ่งกว่าที่จะให้อุณหภูมิเนื้อตุ้มบริเวณผิวภายนอกเท่ากับอุณหภูมิผิวภายในจุดกึ่งกลางตุ้มน้ำหนักต้องใช้ระยะเวลาช้าหรือเร็วเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดตุ้มน้ำหนักว่าใหญ่หรือเล็ก รวมทั้งผลต่างของอุณหภูมิบริเวณผิวภายนอกกับจุดกึ่งกลางตุ้มน้ำหนัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีการกำหนดให้ตุ้มน้ำหนักที่รอรับการสอบเทียบต้องเก็บไว้ในห้องเดียวกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงนั่นเอง ส่วนการที่จะสร้างให้สภาวะสิ่งแวดล้อมให้มีความหนาแน่นอากาศคงที่เท่ากับ 1.2 kg/m^3 เพื่อทำการชั่งตุ้มน้ำหนักเปรียบเทียบ ดูเหมือนต้องลงทุนงบประมาณมากทีเดียวสำหรับประเทศอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย เอาล่ะคราวนี้เรามาดูว่านอกจากเงื่อนไขในนิยามแล้วเราพอสรุปได้ว่ามีค่าคุณสมบัติทางกายภาพคงที่ถูกกำหนดไว้ คือ

- Reference Temperature in air: 20°C
- Conventional density of standard of mass at 20°C : 8,000 kg/m^3
- Conventional density of the air: 1.2 kg/m^3

แต่ดูเหมือนไม่มีการกำหนดความเร่งแรงโน้มถ่วงหรือ Conventional gravitational acceleration เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งเครื่องชั่งเป็นตำแหน่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากติดตั้งเครื่องชั่งเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นค่าความเร่ง

แรงโน้มถ่วงจึงมีค่าคงที่ตลอดเวลาขณะทำการชั่ง

จากคำนิยามดังกล่าวจึงมีข้อสังเกตว่า หากต้องการให้เนื้อของมวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass) และมวลของตุ้มน้ำหนักอ้างอิงมีอุณหภูมิเท่ากับ 20°C นั่นหมายถึงต้องทำวางตุ้มน้ำหนักทั้งสองภายในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 20°C จนกระทั่งไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตุ้มน้ำหนักทั้งสองกับอุณหภูมิของห้อง ในส่วนของความหนาแน่นของอากาศที่ต้องมีค่าเท่ากับ 1.2 kg/m^3 จำเป็นต้องปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในห้องจนกระทั่งค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2 kg/m^3 ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากที่จะสร้างสภาวะให้ได้ตามข้อกำหนดนิยามไว้ในทางปฏิบัติ หากกระทำได้ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากทีเดียว แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละประเทศก็ควรจัดให้มีห้องปฏิบัติการดังกล่าวไว้เพื่อใช้งานเป็นของประเทศนั้นๆ เพื่อสามารถทำการตรวจสอบน้ำหนักและถ่ายทอดแบบมาตรลงไปยังแบบมาตราที่ใช้งานในระดับปฏิบัติการภาคสนามได้ แต่อาจจะเกินความจำเป็นในการสร้างห้องปฏิบัติการดังกล่าวหากเป็นการชั่งน้ำหนักโดยทั่วไป

เมื่อทำการชั่งมวลสิ่งของ m มีความหนาแน่น ρ_m เทียบกับ conventional mass; m_c มีความหนาแน่น ρ_c ด้วยวิธีการชั่งในอากาศ โดยสภาวะที่ทำการชั่งนั้นมีความหนาแน่นของอากาศ ρ_a เท่ากับ Conventional density of the air (ρ_0) และ

- Reference Temperature in air: 20°C
- Conventional density of standard of mass at 20°C (ρ_c): 8,000 kg/m^3
- Conventional density of the air (ρ_0): 1.2 kg/m^3

จากสมการที่ (8)

$$F = m(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})g \qquad (8)$$

ที่สภาวะสมดุลของการชั่งเปรียบเทียบระหว่างมวลสิ่งของ (m) กับมวลตามอนุสัญญา (conventional mass; m_c) จะได้ว่า

$$m_c(1 - \frac{\rho_0}{\rho_c})g = m(1 - \frac{\rho_0}{\rho_m})g \quad (9)$$

แก้สมการเพื่อหามวลตามอนุสัญญา

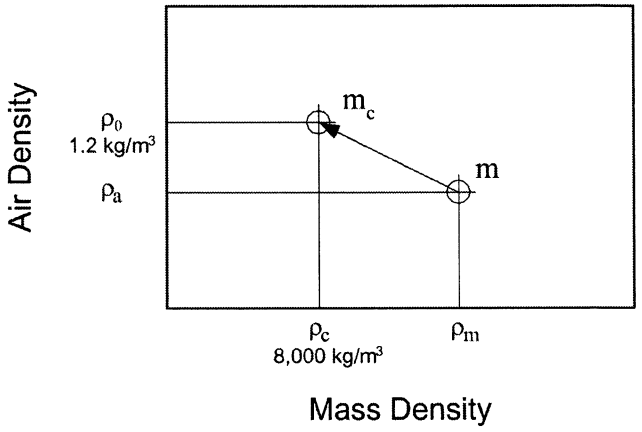
$$m_c = m \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \quad (10)$$

แทนค่า Conventional density of standard of mass at 20°C (ρ_c) ซึ่งเท่ากับ 8,000 kg/m^3 และแทนค่า Conventional density of the air (ρ_0) ซึ่งเท่ากับ 1.2 kg/m^3 จะได้ว่ามวลสิ่งของ (m) หากแปลงเป็นค่ามวลตามอนุสัญญามีค่าเท่ากับ

$$m_c = m \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}}{0.99985} \quad (11)$$

ในขณะเดียวกันหากเราทราบค่ามวลตามอนุสัญญา ซึ่งอาจมาในรูปของค่ามวลตามอนุสัญญาในใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration report) เราก็สามารถหาค่ามวลสิ่งของ m หากเราทราบค่าความหนาแน่นของมวลดังกล่าว ρ_m ด้วยการจัดสมการที่ (10) ใหม่

$$m = m_c \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}} \quad (12)$$



รูปที่ 2 แสดงการแปลงสภาวะมวลสิ่งของไปยังสภาวะอนุสัญญาเมื่อ Reference Temperature in air มีค่าเท่ากับ 20°C

หากมาพิจารณาในแง่ของค่าความแตกต่างระหว่างค่ามวลสิ่งของ m กับค่ามวลตามอนุสัญญา m_c จะได้ว่า

$$m - m_c = m\left[1 - \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}\right] \tag{13}$$

แทนค่าปริมาตร

$$V_m = \frac{m}{\rho_m} \tag{14}$$

และ Conventional volume

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \tag{15}$$

จัดรูปสมการที่ (13) ใหม่จะได้ว่า

$$m - m_c = m - \frac{m - \frac{m\rho_0}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}$$

$$m - m_c = m - \frac{m - V_m\rho_0}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}$$

$$-m_c + \frac{m_c\rho_0}{\rho_c} = -m + V_m\rho_0$$

$$-m_c + V_c\rho_0 = -m + V_m\rho_0$$

$$m - m_c = \rho_0(V_m - V_c) \qquad (16)$$

สมการข้างบนดูแล้วให้น่าสนใจ เนื่องจากผลต่างของมวลระหว่างค่ามวลสิ่งของ m กับค่ามวลตามอนุสัญญา m_c พบว่ามีค่าประมาณเท่ากับมวลของอากาศที่บรรจุอยู่ภายในผลต่างปริมาตรของ $(V_m - V_c)$ นั่นเอง

ในขณะเดียวหากเรามาเปรียบเทียบผลต่างของค่ามวลสิ่งของ m กับค่ามวลตามอนุสัญญา m_c เทียบกับค่ามวลสิ่งของ m หรือผลต่างสัมพัทธ์ เราจะได้ข้อสังเกตที่น่าสนใจดังในสมการที่ 17

$$\frac{m - m_c}{m} = 1 - \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}$$

$$\approx 1 - (1 - \frac{\rho_0}{\rho_m})(1 + 1 - \frac{\rho_0}{\rho_c})$$

$$\approx \rho_0\left[\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_c}\right] \qquad (17)$$

พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ

(Determination of Mass in Practice)

ตอนที่ 3

ในการชั่งน้ำหนักหามวลที่ต้องการความเที่ยงสูงในอากาศนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อผลการชั่งปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งดูเหมือนไม่พ้นค่าความหนาแน่นอากาศขณะทำการชั่งซึ่งจะส่งผลถึงแรงลอยตัวอากาศที่กระทำที่สภาวะสมดุลขณะชั่งอาจก่อให้สภาวะสมดุลเปลี่ยนแปลงไปนั้น หมายถึง ความถูกต้องเที่ยงตรงย่อมลดน้อยลงไป โดยปกติแล้วเราพบว่าความหนาแน่นอากาศเปลี่ยนแปลงได้บ้าง แต่จะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการจัดสภาวะสิ่งแวดล้อมของห้องปฏิบัติการว่าดีเยี่ยมเพียงใดด้วยเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศมีด้วยกันหลายปัจจัย

3. การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศ (Air density fluctuation); $\Delta\rho_a$

ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนที่ 2 แล้วว่าสภาวะตามอนุสัญญานั้นกำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศ ρ_a เท่ากับ Conventional density of the air (ρ_0) เท่ากับ 1.2 kg/m^3 ซึ่งเป็นไปได้ยากมากในทางปฏิบัติขณะทำการชั่งน้ำหนัก ด้วยเหตุนี้ในตอนที่ 3 เราจึงจะมาพูดถึงอิทธิพลของค่าความหนาแน่นของอากาศที่ต่างจาก Conventional density of the air ($\Delta\rho_a = \rho_0 - \rho_a$) ที่มีต่อค่ามวลตามอนุสัญญา (Conventional Mass) อย่างไรบ้าง

พบว่าอากาศประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน, ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งความชื้นภายในอากาศ นอกจากนี้อาจมีสิ่งแปลกปลอมและละอองฝุ่นอีกจำนวนหนึ่ง ด้วยเหตุนี้การหาค่าความหนาแน่นอากาศจึงเป็นการหาค่าความหนาแน่นของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ด้วยสูตรคำนวณตามข้อแนะนำโดย Comite' International des Poids at Mesures หรือนิยมอ้างถึงเป็นหน่วยงาน BIPM หรือ CIPM สมการที่ 1981/91 (Equation of 1981/91) ซึ่งจะใช้สมการ Non-ideal Gas

$$\rho_a = \frac{pM}{ZRT} \tag{17}$$

รายละเอียดหาอ่านได้ในหัวข้อ "ความหนาแน่นอากาศ (Air Density)" แต่อย่างไรก็ตามในที่นี้จะขอกล่าวโดยภาพรวม พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศขึ้นอยู่กับ

ก.) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2 Content) โดยหากปริมาณ x_{co2} เบี่ยงเบนจากค่าดังกล่าวภายในช่วง 0.0003 ถึง 0.0005 จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) ในเทอมของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณได้เท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(x_{CO2}) \approx 0.4\Delta x_{CO2} \tag{18}$$

แทนค่า Molar CO_2 content เบี่ยงเบนปริมาณ x_{co2} ไป ± 0.0001 จากค่าปกติมีค่าเท่ากับ 0.0004

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(x_{CO2}) \approx 0.4(\pm 0.0001) \approx \pm 4\times 10^{-5} \text{ s.} \tag{18.1}$$

เมื่อ

$$\Delta\rho_a = \rho_0 - \rho_a \tag{19}$$

ข.) ความชื้นอากาศ (h) หากขอบเขตของความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (relative air humidity; h_r) อยู่ภายในช่วง 30% ถึง 70%

และให้ความหนาแน่นอากาศเปลี่ยนแปลงที่ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ 50% ในเทอมของความชื้นอากาศ มีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(h) \approx 9\times10^{-3}\,\Delta h \qquad (20)$$

แทนค่าความชื้นอากาศสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลง ±20% จากความชื้นสัมพัทธ์ (h_r) 50%

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(h) \approx 9\times10^{-3}(\pm0.2)$$

$$\approx \pm2\times10^{-3}\ \% \qquad (20.1)$$

เมื่อ

h = relative air humidity referred to 1

= $h_r/100$

h_r = relative air humidity in %

ค.) ความดันอากาศ (air pressure; p) จากสมการ Non-ideal Gas (สมการที่ 17) ดังนั้นเราได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศกับความดันอากาศได้ในความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) ในเทอมของความดันอากาศได้ว่า

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(p) = \frac{\Delta p}{p} \qquad (21)$$

ในการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน หรือตุ้มน้ำหนักแบบมาตราปกติแล้วกระทำภายในห้องปรับอากาศอยู่แล้ว ดังนั้นจากการตรวจวัดและทดสอบพบว่าห้องที่มีระบบปรับอากาศการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศสัมพัทธ์ (the relative air pressure fluctuation) จะมีค่าอยู่ในช่วง ±3%

แต่ความดันอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากหากระดับความสูงที่แตกต่างกัน จากสูตรการหาค่าความดันเมื่อระดับความสูงเปลี่ยนแปลงไป (Barometric height formula)

$$\frac{p}{p_0} = e^{-H/H_1} \qquad (22)$$

เมื่อ

H_1 = Height of the homogeneous atmosphere = 8435 m.

H = Height

ตัวอย่างเช่น หากทำการชั่งน้ำหนักที่ความสูง (H) เท่ากับ 850 m ดังนั้นความดันอากาศเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ

$$\frac{p - p_0}{p_0} \approx -10\% \qquad (23)$$

ง.) อุณหภูมิอากาศ (t) เช่นเดียวกันกับความดันอากาศ จากสมการ Non-ideal Gas (สมการที่ 17) จะได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศกับอุณหภูมิอากาศ ได้ในความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) ในเทอมของอุณหภูมิอากาศ ได้ว่า

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(T) = \frac{\Delta T}{T} \qquad (24)$$

เมื่อ

T = 273 + t (the absolute temperature in K)

t = the temperature in °C

จาก OIML R 76, หัวข้อ 3.9.2 อุณหภูมิ (Temperature) ได้กำหนดไว้ว่าหากเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติไม่ระบุขอบเขตช่วงอุณหภูมิใช้งานแล้ว ให้ถือว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติดังกล่าวต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องภายในช่วงขอบเขตอุณหภูมิ

$-10°C$ ถึง $+40°C$

แต่ถ้าผู้ผลิตเครื่องชั่งแสดงขอบเขตอุณหภูมิใช้งานไว้อย่างชัดเจนแล้ว เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติดังกล่าวต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องภายในช่วงขอบเขตอุณหภูมิที่กำหนด แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นช่วงขอบเขตอุณหภูมิที่กำหนดอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ

- ช่วงอุณหภูมิ 5°C สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง I
- ช่วงอุณหภูมิ 15°C สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง II
- ช่วงอุณหภูมิ 30°C สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III และ IIII

ดังนั้นในการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง หรืออุณหภูมิตามอนุสัญญา ซึ่งกำหนดไว้ที่ 20°C กับช่วงอุณหภูมิเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องภายในช่วงขอบเขตอุณหภูมิ -10°C ถึง +40°C จึงต้องการหาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์มากที่สุด (Max. relative air density change) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงต่างกันมากที่สุด ในที่นี้ช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกับอุณหภูมิตามอนุสัญญาซึ่งกำหนดไว้ที่ 20°C คือ -10°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30°C การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์มากที่สุดจึงเท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(T) \approx \frac{-10-(+20)}{(273.15+20)} \approx -10\% \qquad (25)$$

ในส่วนกรณีผู้ผลิตเครื่องชั่งแสดงขอบเขตอุณหภูมิใช้งานไว้อย่างชัดเจนแล้วและมีช่วงขอบเขตอุณหภูมิที่กำหนดอย่างน้อยดังแสดงไว้ตามที่กำหนดข้างบน ดังนั้น

ตารางที่ 1 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ยังคงทำงานได้ถูกต้อง

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ชั้นความเที่ยง	ช่วงขอบเขตอุณหภูมิ ที่กำหนดอย่างน้อย	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
I	5°C	± 2.5°C
II	15°C	± 7.5°C
III และ IIII	30°C	± 15°C

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง I เท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(\pm 2.5\mathrm{K}) \approx \frac{\pm 2.5}{(273.15+20)} \approx \pm 0.9\% \qquad (26)$$

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II เท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(\pm 7.5\mathrm{K}) \approx \frac{\pm 7.5}{(273.15+20)} \approx \pm 2.6\,\% \qquad (27)$$

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III และ IIII เท่ากับ

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}(\pm 15\mathrm{K}) \approx \frac{\pm 15}{(273.15+20)} \approx \pm 5.1\% \qquad (28)$$

เราสรุปการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (Relative air density change) เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (Relative air density change)

เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ชั้นความเที่ยง	ช่วงขอบเขต อุณหภูมิ ที่กำหนดอย่างน้อย	อุณหภูมิ เปลี่ยนแปลง	Relative air density change
I	5°C	± 2.5°C	± 0.9%
II	15°C	± 7.5°C	± 2.6%
III และ IIII	30°C	± 15°C	± 5.1%
	-10°C ถึง +40°C	-30°C (MAX)	- 10.0%

จากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของอากาศ จึงนำมาสรุปไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นอากาศ

	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศสัมพัทธ์ (relative air density change) $\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a}$	
ก. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2 Content)	$\pm 4 \times 10^{-5}$%	
ข. ความชื้นอากาศ (h)	± 0.2%	
ค. ความดันอากาศ (air pressure; p)	± 3.0%	
ง. อุณหภูมิอากาศ (t)	± 0.9%	(Class I)
	± 2.6%	(Class II)
	± 5.1% หรือ 10.0%	(Class III and IIII)

เมื่อตรวจสอบอิทธิพลที่ทำให้ความหนาแน่นของกาศเปลี่ยนแปลงได้แล้วเรามาพิจารณา ณ สภาวะสมดุลของแรงกระทำต่อมวล m ในการชั่งน้ำหนักดังสรุปได้ในสมการที่ (8)

$$F = m(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})g \qquad (8)$$

หาการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำเนื่องการความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงหรือพูดอีกนัยหนึ่ง คือ แรงยกลอยตัว (Buoyancy force) เปลี่ยนแปลงไปได้เท่ากับ

$$\Delta F = \frac{\partial F}{\partial \rho_a}\Delta\rho_a \qquad (29)$$

ทำการ partial differential สมการที่ (8)

$$\frac{\partial F}{\partial \rho_a} = \frac{\partial\left[m(1-\frac{\rho_a}{\rho_m})g\right]}{\partial \rho_a} = -\frac{mg}{\rho_m} \qquad (30)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (29)

$$\Delta F = -mg\frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (31)$$

หากพิจารณาในเทอมของค่าสัมพัทธ์จะได้ว่า

$$\frac{\Delta F}{F} = -mg\frac{\Delta \rho_a}{F\rho_m} = \frac{-mg}{m(1-\frac{\rho_a}{\rho_m})g}\frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (32)$$

$$= \frac{-1}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_m})}\frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (32.1)$$

$$\approx -\frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (32.2)$$

แรงเนื่องจากน้ำหนักสิ่งของเปลี่ยนแปลงไปในเทอมของค่าสัมพัทธ์จึงล้วนขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

พื้นฐานการหามวลในทางปฏิบัติ

(Determination of Mass in Practice)

ตอนที่ 4

มาถึงหัวข้อสุดท้ายที่ต้องพิจารณากัน จากที่เราทราบมาแล้วในตอนที่ 3 ว่าความหนาแน่นอากาศเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้แรงลอยตัวอากาศที่กระทำต่อมวลสิ่งของเปลี่ยน สิ่งที่ตามมาก็คือแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน และหากพิจารณาตามกฎนิวตันข้อที่ 2 เมื่อแรงลัพธ์กระทำต่อมวลเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่ค่าความเร่งโน้มถ่วงยังคงมีค่าคงที่ นั่นหมายถึงมวลของสิ่งของจะเปลี่ยนแปลงไปนั้นเอง

4. อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวล ตามอนุสัญญา (Effects of Air density fluctuation on conventional mass)

เนื่องจากในการชั่งน้ำหนักนั้นกระทำในขณะที่ความหนาแน่นของอากาศ (ρ_a) ไม่เท่ากับ Conventional density of the air (ρ_0) ดังนั้นเครื่องชั่งน้ำหนักจึงเพียงให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าประมาณของค่ามวลตามอนุสัญญา (conventional mass) นั้นเอง เนื่องจากในการชั่งสิ่งของด้วยเครื่องชั่งในอากาศพบว่าเครื่องชั่งที่มีใช้อยู่มีหลักการทำงานเพื่อหาน้ำหนักสิ่งของที่แตกต่างกันอยู่ ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องชั่งที่แตกต่างกันนี้เองยังส่งผลให้ผลการชั่งน้ำหนักได้ค่าที่แตกต่างกันด้วย หากเป็นการชั่งน้ำหนักที่ต้องการความเที่ยงสูง แต่หากเป็นการชั่งน้ำหนักโดยทั่วไปก็สามารถละไว้ได้ แต่ในที่นี้เพื่อให้เข้าใจหลักพื้นฐานของการชั่งที่ลงลึกบ้างจึงจำเป็นต้องพิจารณาในประเด่นดังกล่าว ดังนั้นเพื่อสามารถพิจารณาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวลตามอนุสัญญา (Effects of Air density fluctuation on conventional mass) ในขณะทำการชั่งน้ำหนัก เราจึงแยกแยะลักษณะการทำงานของเครื่องชั่งที่ใช้ออกเป็น 2 กรณีใหญ่ๆ ได้แก่

กรณีที่ 1 เครื่องชั่งที่มีระบบชดเชยแรง (Weight force) ต่อแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่ง จนกระทั่งระบบชดเชยแรงภายในเครื่องชั่งได้ชดเชยแรงและเข้าสู่สภาวะสมดุลกับแรงอันเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของที่กดลงมา และให้ผลการชั่งด้วยการแปลงค่าอันเกิดจากระบบชดเชยแรงออกมาในรูปของน้ำหนักสิ่งของ ระบบชดเชยแรงของเครื่องชั่งที่มีหลักการทำงาน

- การเสียรูปทรงอยู่ภายในช่วงอิลาสติก (elastic deformation) เช่น สปริงที่อยู่ในเครื่องชั่งสปริง สปริงจะออกแรงต้านน้ำหนักสิ่งของจนกระทั่งสปริงมีการยืดตัวและสร้างแรงต้านน้ำหนักสิ่งของเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นจะแปลงค่าของระยะยืดตัวของสปริงออกมาในรูปของน้ำหนัก เป็นต้น
- Electrodynamics forces
- Electromagnetic forces
- Gyroscopic forces

และเมื่อระบบชดเชยแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของด้วยระบบดังกล่าวเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว และแสดงค่าออกมาเป็นน้ำหนัก ที่สภาวะสมดุลจะได้

$$m_c^*(1 - \frac{\rho_0}{\rho_c})g = m(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})g \qquad (33)$$

เมื่อ

m_c^* ค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c

จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบสมการสภาวะสมดุลที่สมบูรณ์แท้จริงของการหาค่ามวลตามอนุสัญญา (conventional mass) สมการที่ (9) กับสมการที่ (33) จะเห็นว่าได้ทำการแทนค่า Conventional density of the air (ρ_0) ด้วยความหนาแน่นของอากาศ (ρ_a) ขณะทำการชั่งในเทอมทางขวามือของสมการที่ (9)

$$m_c(1 - \frac{\rho_0}{\rho_c})g = m(1 - \frac{\rho_0}{\rho_m})g \qquad (9)$$

เมื่อจัดสมการที่ (33) ใหม่ เราจะได้ค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา m_c^* เท่ากับ

$$m_c^* = m\frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \tag{34}$$

ผลต่างของค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา m_c^* กับมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c สามารถหาได้ด้วยการนำเอาสมการที่ (34) ลบด้วยสมการที่ (10)

$$m_c = m\frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \tag{10}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
\Delta m_c^* &= m_c^* - m_c \\
&= m\left[\frac{\frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}\right] \\
&= m\left[\frac{\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}\right] \\
&= m\left[\frac{1}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}\right]\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m}
\end{aligned}$$

$$\Delta m_c^* = m_c^* \left[\frac{1}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}} \right] \frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (35)$$

$$\Delta m_c^* \approx m_c^* \frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (36)$$

เมื่อค่าความหนาแน่นของอากาศที่ต่างจาก Conventional density of the air คือ $\Delta\rho_a = \rho_0 - \rho_a$ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นมวลสิ่งของกับความหนาแน่นอากาศแล้วปกติพบว่า $\rho_m >>> \rho_a$ ด้วยเหตุนี้เทอม ρ_a/ρ_m จึงมีค่าน้อยมากและน้อยจนสมมุติให้เท่ากับ 0

มาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของมวลตามอนุสัญญา (Relative change of the conventional mass) จากสมการที่ (36) จะได้ว่า

$$\frac{\Delta m_c^*}{m_c^*} \approx \frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (37)$$

ดูเหมือนจะได้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจเมื่อเราพบว่าค่าทางขาวมือในสมการที่ (37) มีค่าเท่ากับค่าทางขวามือในสมการที่ (32.2) ซึ่งเป็นค่าเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ในค่าของแรงที่กระทำต่อมวลของสิ่งของที่ชั่งจริงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของอากาศ $\Delta\rho_a$

$$\frac{\Delta F}{F} \approx -\frac{\Delta \rho_a}{\rho_m} \qquad (32.2)$$

หากค่าความหนาแน่นของอากาศที่ต่างจาก Conventional density of the air ($\Delta\rho_a = \rho_0 - \rho_a$) มีค่าเท่ากับ 10% เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของอากาศ (ρ_a) และเมื่อทำการชั่งมวลสิ่งของที่มีความหนาแน่น $1{,}000\ \mathrm{kg/m^3} \le \rho \le 10{,}000$

kg/m^3 การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของมวลตามอนุสัญญา (Relative change of the conventional mass) จะมีค่าอยู่ภายในช่วง

$$\frac{0.1}{1{,}000\ kg/m^3} \geq \frac{\Delta m_c^*}{m_c^*} \geq \frac{0.1}{10{,}000\ kg/m^3}$$

$$10^{-4} \geq \frac{\Delta m_c^*}{m_c^*} \geq 10^{-5} \qquad (38)$$

ในขณะเดียวกันหากเราทราบค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c^* เราก็สามารถหาค่ามวลสิ่งของ m หากเราทราบค่าความหนาแน่นของมวลดังกล่าว ρ_m และค่าความหนาแน่นอากาศขณะทำการชั่ง (ρ_a) ด้วยการจัดสมการที่ (34) ใหม่

$$m = m_c^* \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}} \qquad (39)$$

กรณีที่ 2 เครื่องชั่งที่มีตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Counter weights) เพื่อถ่วงดุลกับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่ง จนกระทั่งตุ้มถ่วงน้ำหนักของเครื่องชั่งได้ถ่วงดุลและเข้าสู่สภาวะสมดุลกับแรงอันเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของที่กดลงมา และให้ผลการชั่งด้วยการอ่านค่าจากตุ้มถ่วงน้ำหนักออกมาในรูปของน้ำหนักสิ่งของ เครื่องชั่งที่มีหลักการทำงาน

- Equal and unequal arm beam balances
- Built-in weight balances
- Bench weighing instruments
- 1/10 ration beam balances

เครื่องชั่งที่มีหลักการทำงานเช่นนี้จะให้ผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหา conventional mass ได้แม่นยำได้ดีทีเดียว และสามารถใช้เพื่อหาค่า conventional mass ซึ่งมีค่าความหนาแน่นได้ถึง 15,000 kg/m^3 ด้วยการนำเอาวิธีการชดเชย

แรงด้วยระบบทันสมัย (the modern force-compensating balances) ที่ความหนาแน่นอากาศเท่ากับขณะที่ทำหรือใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนักภายในเครื่องชั่ง (Built-in weight)

และเมื่อตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Counter weights) เพื่อถ่วงดุลกับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่ง เข้าสู่สภาวะสมดุลกับแรงอันเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของที่กดลงมา ที่สภาวะสมดุลจะได้

$$m_c^{**}(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})g = m(1-\frac{\rho_a}{\rho_m})g \qquad (40)$$

เมื่อ

m_c^{**} ค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c

จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบสมการสภาวะสมดุลที่สมบูรณ์แท้จริงของการหาค่ามวลตามอนุสัญญา (conventional mass) สมการที่ (9) กับสมการที่ (40) จะเห็นว่าได้ทำการแทนค่า Conventional air density (ρ_0) ด้วยความหนาแน่นของอากาศ (ρ_a) ขณะทำการชั่งทั้งในเทอมทางขวามือและซ้ายมือของสมการที่ (9) ทั้งนี้เนื่องจากตุ้มถ่วงน้ำหนักซึ่งติดตั้งอยู่ หรือใช้กับเครื่องชั่งต่างก็ถูกใช้เพื่อถ่วงสมดุลของแรงอันเนื่องจากน้ำหนักสิ่งของที่สภาวะความหนาแน่นอากาศเดียวกันมีค่าเท่ากับความหนา แน่นของอากาศ (ρ_a) ขณะทำการชั่งจริง นอกจากนี้ที่สำคัญก็คือ ตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Counter weights) จะต้องมี Conventional mass density; ρ_c เท่ากับ 8,000 kg/m^3 แล้วสมการที่ (40) จะเป็นจริง

เมื่อจัดสมการที่ (40) ใหม่ เราจะได้ค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา m_c^{**} เท่ากับ

$$m_c^{**} = m\frac{1-\frac{\rho_a}{\rho_m}}{1-\frac{\rho_a}{\rho_c}} \qquad (41)$$

ผลต่างของค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา m_c^{**} กับมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c สามารถหาได้ด้วยการนำเอาสมการที่ 41) ลบด้วยสมการที่ (10) จะได้

$$\Delta m_c^{**} = m_c^{**} - m_c$$

$$= m\left[\frac{1-\frac{\rho_a}{\rho_m}}{1-\frac{\rho_a}{\rho_c}} - \frac{1-\frac{\rho_0}{\rho_m}}{1-\frac{\rho_0}{\rho_c}}\right]$$

$$= m\left[\frac{(1-\frac{\rho_a}{\rho_m})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})} - \frac{(1-\frac{\rho_0}{\rho_m})(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$= m\left[\frac{1-\frac{\rho_0}{\rho_c}-\frac{\rho_a}{\rho_m}+\frac{\rho_a}{\rho_m}\frac{\rho_0}{\rho_c}-1+\frac{\rho_0}{\rho_m}+\frac{\rho_a}{\rho_c}-\frac{\rho_a}{\rho_m}\frac{\rho_0}{\rho_c}}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$= m\left[\frac{-\frac{\rho_0}{\rho_c}-\frac{\rho_a}{\rho_m}+\frac{\rho_0}{\rho_m}+\frac{\rho_a}{\rho_c}}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$= m\left[\frac{\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m}-\frac{\Delta\rho_a}{\rho_c}}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$= m\left[\frac{(\frac{1}{\rho_m}-\frac{1}{\rho_c})\Delta\rho_a}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$= m\left[\frac{(\frac{\rho_c-\rho_m}{\rho_c})(\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m})}{(1-\frac{\rho_a}{\rho_c})(1-\frac{\rho_0}{\rho_c})}\right]$$

$$\Delta m_c^{**} = m_c^* \left[\frac{1}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}} \right] \left[\frac{(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c})(\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m})}{(1 - \frac{\rho_0}{\rho_c})} \right] \quad (42)$$

$$\Delta m_c^{**} \approx m_c^* \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c} \right) \frac{\Delta\rho_a}{\rho_m} \quad (43)$$

เมื่อค่าความหนาแน่นของอากาศที่ต่างจาก Conventional density of the air คือ $\Delta\rho_a = \rho_0 - \rho_a$ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นมวลสิ่งของและความหนาแน่นมวลตามอนุสัญญากับความหนาแน่นอากาศแล้วปกติพบว่า $\rho_m >>> \rho_a$ และ $\rho_c >>> \rho_0$ ด้วยเหตุนี้เทอม ρ_a/ρ_m และ ρ_0/ρ_c จึงมีค่าน้อยมาก และน้อยจนสมมุติให้เท่ากับ 0

มาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของมวลตามอนุสัญญา (Relative change of the conventional mass) จากสมการที่ (36) จะได้ว่า

$$\frac{\Delta m_c^{**}}{m_c^{**}} \approx \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c} \right) \frac{\Delta\rho_a}{\rho_m} \quad (44)$$

จากสมการที่ (43) จะเห็นได้ว่าหาก ρ_m เข้าใกล้หรือเท่ากับ Conventional mass density; ρ_c เท่ากับ 8,000 kg/m^3 แล้ว Δm_c^{**} จะมีค่าน้อยมาก

จากข้อมูลดังกล่าวจึงใช้เป็นเงื่อนไขในการเลือกตุ้มแบบมาตราเพื่อทำการตรวจสอบหรือสอบเทียบความถูกต้องการทำงานของเครื่องชั่ง ดังนั้นในการเลือกตุ้มแบบมาตราเพื่อใช้สอบเทียบเครื่องชั่งจึงเลือกตุ้มแบบมาตราที่มีความถูกต้องมากกว่าเครื่องชั่งอย่างน้อย 3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error; MPE) ของเครื่องชั่ง (หลังจากที่ได้รวมเอาตุ้มน้ำหนักจำนวนหนึ่ง เช่นตรวจสอบเครื่องชั่งที่พิกัดกำลัง 2 kg ต้องใช้ตุ้มน้ำหนักพิกัดกำลัง 1 kg จำนวน 2 ตุ้ม โดยนำเอาผลผิดของตุ้มหนัก 1 kg แต่ละตุ้มจำนวน 2 ตุ้มมารวมกัน

ต้องน้อยกว่า 3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error; MPE) ของเครื่องชั่งที่พิกัดกำลัง 2 kg) หากตุ้มน้ำหนักทดสอบที่เลือกใช้มีค่าความหนาแน่น $\rho_m = \rho_c + \Delta\rho_m$ และใช้ตรวจสอบให้คำรับรอง (verification) เครื่องชั่งภายใต้อิทธิพลที่มีต่อเครื่องชั่งเพียงปัจจัยเดียว คือ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวลตามอนุสัญญา (Effects of Air density fluctuation on conventional mass) โดยเราต้องการตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา หรือ Conventional mass m_c มีผลผิดน้อยกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error; MPE) ของตุ้มน้ำหนักจำนวน 4 เท่า หรือ 1/4 MPE ของ m_c แล้วเราประยุกต์สมการที่ (44)

$$\frac{\Delta m_c^{**}}{m_c} \approx \left(\frac{MPE}{4}\right)\frac{1}{m_c} \geq \left(1-\frac{\rho_m}{\rho_c}\right)\frac{\Delta\rho_a}{\rho_m} \qquad (45)$$

จาก $\rho_m = \rho_c + \Delta\rho_m$

$$\left(\frac{MPE}{4}\right)\frac{1}{m_c} \geq \left(1-\frac{\rho_c + \Delta\rho_m}{\rho_c}\right)\frac{\Delta\rho_a}{\rho_c + \Delta\rho_m} \qquad (45.1)$$

ดังนั้นตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบเครื่องชั่งต้องมีค่าความแตกต่างความหนาแน่นจาก Conventional mass density; ρ_c ($\Delta\rho_m$) น้อยกว่าค่าความหนาแน่น ดังในสมการที่ (46) จึงสามารถถูกเลือกให้เป็นตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบเครื่องชั่ง

$$\left(\frac{MPE}{4}\right)\frac{1}{m_c} \geq \left(-\frac{\Delta\rho_m}{\rho_c}\right)\frac{\Delta\rho_a}{\rho_c + \Delta\rho_m}$$

$$\left(\frac{MPE}{4}\right)\frac{1}{m_c}\left(\frac{\rho_c^2 + \rho_c\Delta\rho_m}{\Delta\rho_a}\right) \geq -\Delta\rho_m$$

$$\left(\frac{MPE}{4\,m_c}\right)\left(\frac{\rho_c^2}{\Delta\rho_a} + \frac{\rho_c\Delta\rho_m}{\Delta\rho_a}\right) \geq -\Delta\rho_m \qquad (45.2)$$

เมื่อเทอม $\Delta\rho_m/\Delta\rho_a$ มีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้

$$\left(\frac{MPE}{4\ m_c}\right)\left(\frac{\rho_c^2}{\Delta\rho_a}\right) \quad \approx\geq \quad \Delta\rho_m \qquad (46)$$

เนื่องจากค่าความแตกต่างความหนาแน่นจาก Conventional mass density; ρ_c ($\Delta\rho_m$) ของมวลที่จะนำมาใช้สามารถยอมได้ทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อย ดังนั้นเครื่องหมายลบจึงไม่ต้องพิจารณา

นอกจากนี้เราสามารถประยุกต์สมการที่ (46) เพื่อใช้งานในการเลือกชนิดโลหะเพื่อทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา หรือการเลือกตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเพื่อสอบเทียบตุ้มน้ำหนักด้วยกันเองว่าควรมีค่าความหนาแน่นเท่าไหร่ เพื่อลดอิทธิพลของแรงลอยตัวอากาศให้มากที่สุด ดังตัวอย่างข้างล่าง

ตัวอย่าง 1 ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง E1 พิกัดกำลัง 1 kg. มี MPE เท่ากับ 5 mg หรือ 5×10^{-7} kg และให้ขณะทำการชั่งการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศมีค่า $\Delta\rho_a = \rho_a/10$ ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวลตามอนุสัญญา (Effects of Air density fluctuation on conventional mass) ปัจจัยเดียว เราต้องเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักที่มีค่าความหนาแน่นเท่าใดเพื่อใช้ทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง E1 พิกัดกำลัง 1 kg. หรือใช้สอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราด้วยกัน

$$\Delta\rho_m \quad \leq\approx \quad \left(\frac{MPE}{4\ m_c}\right)\left(\frac{\rho_c^2}{\Delta\rho_a}\right)$$

$$\Delta\rho_m \quad \leq\approx \quad \left(\frac{5\times10^{-7}\ kg}{4 \bullet (1\ kg)}\right)\left(\frac{8{,}000^2\ kg/m^3}{\frac{1.2\ kg/m^3}{10}}\right)$$

$$\Delta\rho_m \quad \leq\approx \quad 66.67\ \ kg/m^3$$

ดังนั้นต้องเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักที่มีค่าความหนาแน่นทำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง E1 หรือหากต้องการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักเพื่อถ่ายลำดับลงไปก็ควรเลือกตุ้มน้ำหนักที่มีความหนาแน่น

$$\rho_m = (8{,}000 \pm 66.67)\ \mathrm{kg/m^3}$$

หากเราไปดู OIML R111, Table 3 Minimum and maximum limits for density (ρ_{min}, ρ_{max}) ของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง E1 พิกัดกำลังตั้งแต่ 100 g. จะยอมให้ตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 7,934 ถึง 8,067 kg/m^3 นั้นคือ $8{,}000 \pm 67\ \mathrm{kg/m^3}$

จากตัวอย่างดังกล่าวเห็นได้ว่า อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอากาศต่อมวลตามอนุสัญญามีอิทธิพลต่อการชั่งน้ำหนักมากทีเดียวในกรณีต้องการผลการชั่งที่มีความเที่ยงตรงสูง *Ans*

ในขณะเดียวกันหากเราทราบค่าประมาณของมวลตามอนุสัญญา (conventional mass); m_c^{**} เราก็สามารถหาค่ามวลสิ่งของ m หากเราทราบค่าความหนาแน่นของมวลดังกล่าว ρ_m และค่าความหนาแน่นอากาศขณะทำการชั่ง (ρ_a) ด้วยการจัดสมการที่ (41) ใหม่

$$m = m_c^{**} \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_c}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}} \qquad (47)$$

จากการแยกพิจารณาเครื่องชั่งออกเป็น 2 กรณีนั้นเราจะพบว่าเครื่องชั่งกรณีที่ 2 ได้แก่ Equal and unequal arm beam balances, Bench weighing instruments, 1/10 ration beam balances และ Built-in weight balances ระบบการชดเชยหรือถ่วงดุลกับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งต่างได้รับอิทธิพลและปัจจัยในทิศทางเดียวกัน

ซึ่งจะมีข้อดีนั้นคือจะมีผลหักล้างออกไปซึ่งกันและกัน (โดยหลักการ) แต่ในขณะเดียวกันเครื่องชั่งกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่มีระบบชดเชยแรง (Weight force) ต่อแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งด้วยการเสียรูปทรงอยู่ภายในช่วงอิลาสติก (elastic deformation) เช่น สปริงที่อยู่ในเครื่องชั่งสปริง, สนามแม่เหล็กเพื่อสร้างระบบชดเชยแรงด้วย Electromagnetic forces รวมทั้งปรากฏการณ์ Gyroscopic เพื่อสร้าง Gyroscopic forces ซึ่งเป็นหลักการทำงานของเครื่องชั่งสมัยใหม่ พบว่าเครื่องชั่งชนิด electromechanical weighting instrument จะไวต่อสิ่งที่มารบกวนและรุนแรงมากกว่าเครื่องชั่งชนิด counterbalance

ความสั่นสะเทือน (vibration) ดูเหมือนจะมีอิทธิพลต่อเครื่องชั่งชนิด ที่มีหลักการทำงานแบบ counterweights น้อยมากแต่จะมีผลกระทบต่อความทำงานและความแม่นยำของเครื่องชั่งเกือบทุกชนิด

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอากาศ (Fluctuating air density) ซึ่งจะส่งผลต่อแรงลอยตัวอากาศที่กระทำต่อมวลในหลายรูปแบบและหลายระดับความรุนแรง สำหรับเครื่องชั่งกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่มีระบบชดเชยแรง (Weight force) ต่อแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งของซึ่งกดลงบนส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่ง เครื่องชั่งดังกล่าวอาจจำเป็นต้องมีมาตรการพิเศษเข้าช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการจัดให้มีตุ้มน้ำหนักเพื่อตรวจสอบการทำงานภายในเครื่องชั่ง (internal calibration weight)

ความเร่งโน้มถ่วงโลก (Gravitational acceleration) ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าเนื่องจากเราได้ทำการติดตั้งเครื่องชั่งประจำที่ดังนั้นจึงถือว่าความเร่งโน้มถ่วงโลกมีค่าคงที่ สามารถตัดทิ้งปัจจัยดังกล่าวที่จะไปมีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่งได้ ($\Delta g/g < 10^{-7}$)

ความลาดเอียง (tilting) ขณะทำการชั่งหากเครื่องชั่งไม่ได้ตั้งอยู่ในระนาบขนาดกับพื้นโลกหรือเครื่องชั่งเอียงทำมุมกับระนาบพื้นโลกเท่ากับ α จะส่งผลให้แรงของน้ำหนักสิ่งของที่กระทำลงบนเครื่องชั่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

จะมีการแตกแนวแรงออกไป 2 ระนาบ คือ แนวราบ (horizontal) กับแนวดิ่ง (vertical) กับพื้นโลกทำให้น้ำหนักที่ขาดหายไปและไม่ได้ถูกทำการชั่ง คือ แรงในแนวราบ พบว่าเครื่องชั่งกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องชั่งที่มีระบบชดเชยแรง (Weight force) ต่อแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสิ่งจะได้รับผลกระทบมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta m}{m} = -\frac{\alpha^2}{2} \qquad (48)$$

เมื่อ α = มุมเครื่องชั่งเอียงกับระนาบพื้นโลก

ด้วยเหตุนี้เครื่องชั่งจึงจำเป็นต้องมีเครื่องวัดระดับ (level indicator) ประจำเครื่องชั่ง เพื่อใช้ดูในการติดตั้งเพื่อปรับระดับเครื่องชั่งก่อนใช้งานจริง นอกจากนี้เครื่องชั่งบางเครื่องอาจมีระบบ built-in calibration weight เพื่อลดอิทธิพลของการติดตั้งเครื่องชั่งผิดหรือเกิดจากเหตุสุดวิสัย

แรงจากภายนอก ในกรณีที่สิ่งของขณะทำการชั่งเกิดแรงดึงหรือดัน เนื่องจาก magnetic force หรือ electrostatic force กับสิ่งของนอกเครื่องชั่ง สิ่งเหล่านี้จึงเป็นข้อควรระวังในการใช้งานเครื่องชั่งด้วยเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นอกจากมีผลต่อความหนาแน่นของอากาศแล้วยังมีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคซึ่งเป็นเครื่องชั่งสมัยใหม่ และมีส่วนแสดงค่า (indicating device) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีส่วนประมวลผลอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ไปเปลี่ยนตำแหน่งของ Zero และ span ของส่วนแสดงค่าของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค

ความชื้นในอากาศ (air humidity) หากมีค่าสูงมากหรือน้อยมากจนเกินไปล้วนมีผลต่อการทำงานของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค โดยเฉพาะกับโหลดเซลชนิด stain gauges ประกอบอยู่ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจร (bridge circuits) เพียงเท่ากับ 10^{-6} เท่าของแรงดันไฟฟ้าด้านทางเข้าของวงจรก็สามารถทำให้ผลการชั่งเปลี่ยนไป 1 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (1e)

การปล่อยประจุ (electrostatic charges) การปลดปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งอาจจะเกิดได้มากเมื่ออากาศเย็นและแห้ง เช่น ในฤดูหนาว อาจก่อความเสียหายให้กับส่วนประกอบของเครื่องชั่งที่เป็นอิเล็คทรอนิคได้

การแผ่ของสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic radiation) หากเครื่องชั่งต้องใช้หรือติดตั้งใกล้แหล่งสนามแม่เหล็กก็ต้องพึงระวังผลการชั่งที่อาจผิดพลาดได้ เช่น radio transmitters, broadcasting station, radar facilities, microwave ovens, x-ray equipment, electromotors, computers และอื่นๆ ในการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติตาม OIML R76 จึงได้มีการกำหนดการทดสอบความสามารถของการป้องกันผลกระทบของเครื่องชั่งอันเนื่องจากการแผ่ของสนามแม่เหล็กจนถึงความถี่ 1 GHz ด้วยความเข้มสนามแม่เหล็ก 3V/m แล้วเครื่องชั่งต้องยังคงให้ผลการชั่งที่ถูกต้อง ดังนั้นหากบริษัทใดมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่ต้องการความเที่ยงแต่มีสภาวะแวดล้อมที่อาจมีสนามแม่เหล็กความเข้มน้อยกว่าดังที่กล่าวก็ควรมองหาเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ผ่านการตรวจสอบต้นแบบตาม OIML R76

นอกจากนี้ยังมีเรื่องการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่มากับสายส่งแรงดันไฟฟ้า การประมวลผลของสัญญาณ สายส่งสัญญาณ การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องชั่งกับเครื่อง PC หรือ printer ต้องไม่รบกวนการประมวลผลของเครื่องชั่ง รายละเอียดสามารถหาอ่านได้จากหนังสือสำนักงานกลางชั่งตวงวัด "การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighing Instruments)" วีระศักดิ์, โสภณ, และสาธิต

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรอง เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

(Verification standards for non-automatic weighing instrument)

ในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดในการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัตินั้น มักจะมีคำถามเกิดขึ้นอยู่เสมอว่าควรที่จะเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักที่ควรมีความเที่ยงระดับใดจึงจะเหมาะสมกับความแม่นยำถูกต้องของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่กำลังต้องการตรวจสอบให้คำรับรอง คำว่าเหมาะสมกับความถูกต้องแม่นยำของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัตินั้นเราควรที่จะพิจารณาในหลายแง่มุมด้วย แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นต้องสามารถปฏิบัติงานได้สำเร็จตามความมุ่งหมายในฐานะที่เป็นหน่วยงานเพื่อรักษาและบังคับใช้กฎหมายชั่งตวงวัด พ.ศ 2542 ให้ได้ตามบทบาทของหน่วยงาน

สิ่งแรกที่เราควรพิจารณาก่อนว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัตินั้นถูกจัดอยู่ในชั้นความเที่ยงใด หรือ Class ใด ตามการจัดชั้นความเที่ยงตาม OIML R76 หรือกฎกระทรวงที่มีบัญญัติไว้ สำหรับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติและสัญลักษณ์ให้เป็นไปตามตารางที่ 1 (OIML R76-1)

ตารางที่ 1 (OIML R76-1)

ชั้นความถูกต้องพิเศษ	I
ชั้นความถูกต้องสูงสุด	II
ชั้นความถูกต้องปานกลาง	III
ชั้นความถูกต้องธรรมดา	IIII

จากนั้นจึงมาเลือกชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (ตาม OIML R111) ว่าสามารถใช้แยกแยะการทำงานของเครื่องชั่งว่าให้ผลการชั่งถูกหรือผิด คำแนะนำ OIML R76 หัวข้อ 3.7 แบบมาตราสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification standards) ได้แนะนำว่า *"ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้ในการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติต้องมีค่าผลผิดไม่เกิน 1/3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักทดสอบนั้น"*

แล้วตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่เลือกใช้ควรมีคุณลักษณะและคุณสมบัติเป็นอย่างไร ตลอดจนมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดในขอบเขตใด ในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เราเลือกตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด OIML R111 ซึ่งสามารถอ่านได้ในหัวข้อ "ข้อกำหนดและอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Specifications and Maximum Permissible errors for Standard Weights)"

ด้วยเหตุนี้เราพอสรุปการเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้ตรงกับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่สามารถใช้ตรวจสอบ ให้คำรับรองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

ชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง (OIML R76)	ชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (OIML R111)						
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
I	♦	♦	♦				
II	♦	♦	♦	♦	♦		
III	♦	♦	♦	♦	♦	♦	
IIII	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦

เมื่อดูตารางที่ 2 ท่านมีความคิดใดเกิดขึ้นบ้าง สำหรับตัวผู้เขียนเกิดคำถามขึ้นมาว่า ในการดำเนินการตรวจสอบให้คำรับรองจะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับดำเนินการทั้งค่าตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา, เงินเดือนเจ้าหน้าที่, เบี้ยเลี้ยง และค่ายานพาหนะ ค่าซ่อมบำรุงรักษา, ค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ และอื่นๆ ดังนั้นจึงมาดูราคาตุ้มน้ำหนักแบบมาตราของแต่ละชั้นความเที่ยงมีราคาแพงมากน้อยต่างกันเพียงใด หากมีราคาแพงและมีราคาต่างกันมาก เราพอที่จะเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักที่มีราคาถูกที่สุดและยังคงให้ผลการทำงานตรวจสอบให้คำรับรองถูกต้องตามเจตนารมณ์ของกฎหมายอยู่เพื่อใช้ทำงานในภาคสนามและในขณะเดียวกันก็เลือกซื้อแบบมาตราที่อาจมีชั้นความเที่ยงสูงขึ้นมาบ้างเพื่อสามารถใช้สอบเทียบตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีชั้นความเที่ยงต่ำลงไป เพราะเมื่อนำตุ้มน้ำหนักแบบมาตราดังกล่าวไปใช้งานระยะเวลาหนึ่งย่อมแน่นอนว่าความถูกต้องเที่ยงตรงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรานั้นลดลง นอกจากนี้การเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูงๆ เพื่อสอบเครื่องชั่งที่มีชั้นความเที่ยงต่ำๆ ก็ใช่จะสามารถทำให้เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงต่ำๆ เปลี่ยนไปมีความเที่ยงตรงสูงขึ้นแม้นแต่อย่างใด แถมยังต้องเสียเงินเพื่อซื้อตุ้มน้ำหนักแบบมาตราไปโดยสูญเปล่าเพราะไม่รู้หรือเข้าใจผิด ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่ง class II แต่เราซื้อตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา E1 เพื่อใช้งาน ดูเอาเองแล้วกันว่ามันเกินความจำเป็นมากน้อยเพียงใด ผู้เขียนเคยได้พบกับเจ้าหน้าที่ของประเทศหนึ่งซึ่งได้ทำการสำรวจการใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีชั้นความเที่ยงสูง พบว่าประเทศไทยในสมัยที่เศรษฐกิจเฟื่องฟูได้มีการสั่งนำเข้าตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีชั้นความเที่ยงสูง ระดับ E1 จำนวนมาก ซึ่งเขาก็ไม่เข้าใจว่าซื้อไปทำไม หากนำมาเพื่อใช้สอบเทียบเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง class I ก็ไม่น่าจะใช่เนื่องจากจำนวนเครื่องชั่งชั้นความเที่ยงระดับ I นั้นในแต่ละประเทศมีน้อยมาก จะมีใช้กันในวงแคบเฉพาะวงการอุตสาหกรรมชั้นสูงหรือวงการงานวิจัยเสียมากกว่า คงไม่ใช่เป็นการเสียค่าโง่ น่ะครับ ซึ่งตั้งข้อสังเกตว่าในสมัยช่วงเวลาดังกล่าวอาจเป็นเพราะบริษัทหลายบริษัทเริ่มที่จะปรับปรุงพัฒนาระบบการทำงานและการผลิตของบริษัทเพื่อให้ได้ ISO serial 9xxx เพื่อสามารถขายสินค้าตัวเองให้ได้ในตลาดที่มีการแข่งขันสูง

ด้วยเหตุนี้เราจึงพิจารณาตารางที่ 1 ใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับงานตรวจสอบให้คำรับรองที่ต้องปฏิบัติในหน่วยงานของรัฐเราเอง สรุปในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชั้นความเที่ยงตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเพื่อตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

ชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง (OIML R76)	ชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (OIML R111)						
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
I		♦	♦				
II				♦	♦		
III					♦	♦	
IIII							♦

ในขณะเดียวกันใน OIML R76 ยังได้กำหนดให้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติสามารถมี

1. ส่วนตรวจรับรองช่วยเสริม (Auxiliary verification device) เมื่อเครื่องชั่งติดตั้งส่วนตรวจรับรองช่วยเสริม หรือเมื่อต้องทดสอบเครื่องชั่งด้วยส่วนตรวจรับรองที่แยกออกเสริมต่างหาก ส่วนตรวจรับรองเสริมดังกล่าวต้องมีผลผิดไม่เกิน 1/3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักทดสอบนั้น แต่ถ้าใช้เป็นตุ้มน้ำหนัก (weights) เป็นอุปกรณ์เสริมในการตรวจรับรอง ผลกระทบของผลผิดของตุ้มน้ำหนักดังกล่าวต้องไม่เกิน 1/5 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่ขอตรวจรับรองที่ค่าน้ำหนักทดสอบนั้น

2. การแทนค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Substitution of standard weights) เมื่อทดสอบเครื่องชั่งที่มีพิกัดกำลังสูงสุดเกินกว่า 1 ตัน สามารถใช้น้ำหนักอื่นๆ ที่มีค่าคงที่เพื่อแทนน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราได้โดยต้องจัดให้มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอย่างน้อย 1 ตัน หรือ 50% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง แล้วแต่ค่าใดมากกว่าเลือกเอาค่านั้น ในการใช้น้ำหนักอื่นแทนค่าน้ำหนัก

ของตุ้ม น้ำหนักแบบมาตราเท่ากับ 50% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง สัดส่วนของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอาจลดจำนวนลงให้มีค่าน้ำหนักเหลือ เท่ากับ

- 35% ของพิกัดกำลังสูงสุดเครื่องชั่ง ถ้าผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability error) ไม่เกิน 0.3e และ
- 20% ของพิกัดกำลังสูงสุดเครื่องชั่ง ถ้าผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability error) ไม่เกิน 0.2e

การหาผลผิดของการทำซ้ำได้ (Repeatability Error) กระทำได้โดยวางน้ำหนักทดสอบด้วยน้ำหนักประมาณ 50% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งบนส่วนรับน้ำหนัก 3 ครั้งติดต่อกัน ความแตกต่างของผลการชั่งน้ำหนักเดียวกันหลาย ๆครั้งต้องไม่มากกว่าค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่น้ำหนักนั้น

ตัวอย่าง เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง (class) III พิกัดกำลังสูงสุด (Max.) 15 kg พิกัดกำลังต่ำสุด (Min.) 40 g มีค่าขั้นหมายตรวจสอบให้คำรับรอง (e) เท่ากับ 5 g ควรเลือกตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยงใดเพื่อตรวจสอบให้คำรับรอง

จำนวนช่องขั้นหมายมาตรา (n) = Max./e = 15000 g/5 g = 3000

หากเป็นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิด retail scale จำนวนช่องขั้นหมายมาตรา (n) ควร มีค่าไม่เกิน 6,000 สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ class III

ตาม OIML R76 หัวข้อ 3.5 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error) สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ class III จะได้ว่า

น้ำหนักทดสอบ (m)	MPE	MPE ในเทอมของน้ำหนัก
0 g ≤ m ≤ 2,500 g	±0.5e	±2.5 g
2,500 g < m ≤ 10,000 g	±1.0e	±5.0 g
10,000 g < m ≤ 15,000 g	±1.5e	±7.5 g

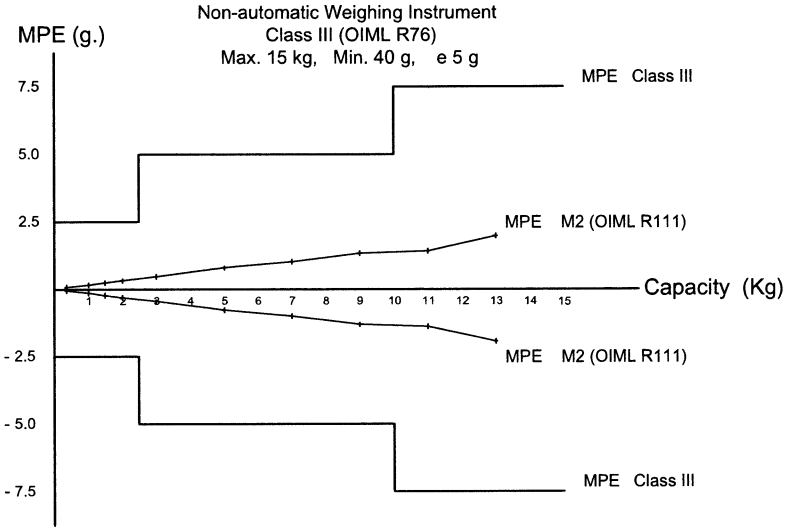
ในการตรวจสอบให้คำรับรองเรากำหนดค่าน้ำหนักทดสอบให้ครอบคลุมค่าน้ำหนักทั้ง 3 ช่วงของค่าช่วงน้ำหนักดังในตารางข้างบนโดยกำหนดช่วงน้ำหนักทดสอบอย่างน้อย 10 ช่วงการทดสอบ, L นั่นคือน้ำหนักทดสอบที่มีค่าแตกต่างกันเพื่อทดสอบอย่างน้อย 10 ค่า และสำหรับการทดสอบการชั่งอื่นๆ ต้องเลือกน้ำหนักทดสอบที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบอย่างน้อย 5 ค่า โดยขอบเขตในการเลือกค่าน้ำหนักทดสอบให้ครอบคลุมถึงน้ำหนักทดสอบต่อไปนี้

- น้ำหนักทดสอบต้องครอบคลุมตั้งแต่พิกัดกำลังต่ำสุดจนกระทั่งพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง
- ค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าน้ำหนักทดสอบตรงตำแหน่งที่อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งมีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่เป็นเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ (Multi-interval instrument) ที่มีหลายช่วงการชั่งย่อย (partial weighing ranges) ให้เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดด้วย
- ต้องไม่เลือกค่าน้ำหนักทดสอบที่เป็นจุดที่ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) เปลี่ยน ให้เลือกตำแหน่งที่น้อยกว่าจุดดังกล่าว 5e แทน
- ต้องไม่เลือกจุดน้ำหนักที่เท่ากับพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งหากเมื่อทำการชั่งน้ำหนักมากกว่าค่าพิกัดกำลังของเครื่องชั่งแล้วส่วนแสดงค่าไม่แสดงผลการชั่งใดๆ ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้ตำแหน่งน้ำหนักทดสอบให้มีค่าน้อยกว่าพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง 5e แทน

หลังจากกำหนดจุดน้ำหนักทดสอบแล้วเราสรุปการเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา M2 (OIML R111) ตามตารางที่ 3 จากนั้นเรามาเปรียบเทียบกับผลผิดของเครื่องชั่งที่ยอมให้ได้ตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง M2 จะได้ว่า

น้ำหนักทดสอบ (m) g.	MPE g. (MPE_{WI})	ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา M2 พิกัดกำลัง & MPE	(OIML R111) ผลรวม MPE (MPE_{STD_W}) g.	MPE_{WI}/ MPE_{STD_W}
400	± 2.5 g	200 g ± 30 mg	± 0.06	41.67
		200 g ± 30 mg		
1000	± 2.5 g	500 g ± 75 mg	± 0.15	16.67
		500 g ± 75 mg		
1500	± 2.5 g	500 g ± 75 mg	± 0.225	11.11
		500 g ± 75 mg		
		500 g ± 75 mg		
2000	± 2.5 g	1000 g ± 150 mg	± 0.3	8.33
		1000 g ± 150 mg		
3000	± 5.0 g	2000 g ± 300 mg	± 0.45	11.11
		1000 g ± 150 mg		
5000	± 5.0 g	2000 g ± 300 mg	± 0.75	6.67
		2000 g ± 300 mg		
		1000 g ± 150 mg		
7000	± 5.0 g	5000 g ± 750 mg	± 1.05	4.76
		2000 g ± 300 mg		
9000	± 5.0 g	5000 g ± 750 mg	± 1.35	3.70
		2000 g ± 300 mg		
		2000 g ± 300 mg		
11000	± 7.5 g	10000 g ± 1500 mg	± 1.65	4.55
		1000 g ± 150 mg		
13000	± 7.5 g	10000 g ± 1500 mg	± 1.95	3.85
		2000 g ± 300 mg		
		1000 g ± 150 mg		

จะเห็นได้ว่าที่ค่าน้ำหนักทดสอบใดๆ MPE ของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง M2 ยังคงมีค่าผลผิดไม่เกิน 1/3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักทดสอบนั้น ดูจากตารางข้างบน $\mathbf{MPE_{WI}/MPE_{STD_W}} > 3$ ทุกค่าน้ำหนักทดสอบ นำค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง M2 มาเปรียบเทียบกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติในรูปของกราฟได้ว่า



รูปที่ 1 เปรียบเทียบอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE) ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา M2

แสดงว่าเราสามารถใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา M2 และชั้นความเที่ยงที่สูงกว่า M2 เพื่อตรวจสอบให้คำรับรองได้ จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง F1 หรือ F2 เสียด้วยซ้ำเพียงชั้นความเที่ยง M2 ก็เกินพอแล้ว แต่ถ้ามีตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา M1 ก็ใช้ได้ครับไม่ต้องไปซื้อ M2 มาอีกน่ะครับ **ANS**

แต่สำหรับการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern approval) นั้นจำเป็นเหลือเกินที่ต้องกำหนดขอบเขตการเลือกใช้ความถูกต้องแม่นยำของตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูงกว่าการตรวจสอบให้คำรับรองซึ่งในประเทศที่มีการทดสอบและตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติบางประเทศได้กำหนดให้ *"ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้ในการตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern approval) ต้องมีค่าผลผิดไม่เกิน 1/10 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งที่ค่าน้ำหนักทดสอบนั้น"* ดังนั้นจึงสรุปการเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเพื่อตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งให้ตรงกับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเพื่อตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

ชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง (OIML R76)	ชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (OIML R111)						
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
I	♦	♦					
II		♦	♦				
III			♦	♦			
IIII				♦	♦		

ค่าความหนาแน่นของเหลว ในเทอมของ API degree

(Gravity in term of API number)

หลายต่อหลายครั้งที่เจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัด ที่ออกไปตรวจสินค้าหีบห่อ โดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นนั้นอาจพบว่าการบ่งบอกค่าความหนาแน่น (density) ของน้ำมันหล่อลื่นจะบอกค่าอยู่ในรูปของความหนาแน่น API อาจทำให้เกิดความสับสน ซึ่งจริงๆ แล้วไม่มีอะไรที่น่าตื่นเต้นเนื่องจากการแสดงค่าความหนาแน่นด้วยตัวเลข API เป็นการแสดงค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่นิยามโดยสถาบัน American Petroleum Institute (API) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งไม่ใช่หน่วยเมตริก (Metric Unit หรือ SI unit) แต่อย่างใด จำเป็นต้องทำการแปลงหน่วยค่าความหนาแน่น API ให้เป็น**หน่วยเมตริก** คือ kg/m^3 เพราะฉะนั้นหากผู้บรรจุหรือผู้นำเข้าสินค้าหีบห่อจำพวกผลิตภัณฑ์ที่แสดงค่าความหนาแน่นด้วยค่า API เราก็บอกให้เขาบอกค่าความหนาแน่นเป็นหน่วยเมตริกมาก็แล้วกัน แต่ดูเป็นการยื่ยวนเขามากเกินไปกระมัง เอาละเราก็มาทำความเข้าใจค่าความหนาแน่นที่แสดงค่าเป็น API ดังต่อไปนี้ครับ

เดิมทีก็เพราะการซื้อขายน้ำมัน (fuel oil) รวมทั้งน้ำมันดิบต่างมีการซื้อขายในรูปของปริมาตรของเหลว ดังนั้นหน่วยงาน American Petroleum Institute (API) ได้นำหน่วยของความหนาแน่นสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมตั้งแต่ในปี 1921 ด้วยหน่วย API degreees โดยนิยามด้วย

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{SG}@60^{\circ}\text{F}} - 131.5 \qquad (1)$$

หรือหากจะให้เต็มยศเลยก็จาก **Table 3 API gravity at 60°F to relative density 60/60°F and to density at 15°C (59°F)** ซึ่งได้นิยามไว้ว่า

$$\text{API gravity at } 60\,^{\circ}\text{F} = \frac{141.5}{\text{relative density } 60/60\,^{\circ}\text{F}} - 131.5 \qquad (2)$$

เนื่องจากความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) ของเหลวที่อุณหภูมิ 60°F (15.6°C) เทียบกับความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 60°F หรือนั่นคือค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) นั่นเอง ซึ่งจะไม่มีหน่วยแสดงใดๆ

$$\text{Specific Gravity } 60/60\,^{\circ}\text{F} = \frac{\text{Product density at } 60\,^{\circ}\text{F}}{\text{Water density at } 60\,^{\circ}\text{F}} \qquad (3)$$

นอกจากนี้ U.S. Bureau of Standard ในสมัยนั้นยังได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลวกับค่าความร้อนที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลวด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ

Heat of Combustion at constant volume (Btu/lb)

$$= 22{,}320 - 3{,}780 \times (\text{SG}@60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F})^2 \qquad (4)$$

ตัวอย่าง 1 น้ำมันปิโตรเลียมที่มีค่าความหนาแน่น API degree 36.5 ดังนั้นจะมีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิที่ 15°C เท่าไร

$$36.5 = \frac{141.5}{\text{SG}@60\,^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

$$\text{SG}@60\,^{\circ}\text{F} = \frac{141.5}{36.5 + 131.5} = 0.8423$$

จาก

$$\text{Specific Gravity } 60/60\,^{\circ}\text{F} = \frac{\text{Product density at } 60\,^{\circ}\text{F}}{\text{Water density at } 60\,^{\circ}\text{F}}$$

เราหาความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 60°F (15.6°C) จากตารางที่ 3 ในหัวข้อ "ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density)" มีค่าเท่ากับ 999.0045 kg/m^3 ดังนั้นน้ำมันปิโตรเลียมจะมีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 60°F (15.6°C) เท่ากับ

Product density at 60°F = Specific Gravity 60/60°F * Water density at 60°F

= 0.8423*999.0045 = 841.46 kg/m^3

แต่หากนำค่า API ของน้ำมันปิโตรเลียมที่มีค่าความหนาแน่น API degree 36.5 ไปเปิดจาก Table 3 API gravity at 60°F to relative density 60/60°F and to density at 15°C (59°F) จะได้ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (specific gravity) ของเหลวที่อุณหภูมิ 60°F/60°F ได้ว่าเท่ากับ 0.8423 และค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C เท่ากับ 841.8 kg/m^3 หรือ 7.013 lb/gal

จะเห็นว่าจากที่คำนวณเป็นค่าความหนาแน่นน้ำมันปิโตรเลียมที่อุณหภูมิ 60°F (15.6°C) มีค่าเท่ากับ 841.46 kg/m^3 แต่ที่เปิดจากตารางที่ Table 3 API gravity at 60°F ให้ค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C มีค่าเท่ากับ 841.8 kg/m^3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิต่างกันเพียง 0.6°C (15.6°C–15°C) ความหนาแน่นน้ำมันปิโตรเลียมก็ต่างกันแล้ว

ดังนั้นในทางปฏิบัติ Table 3 API gravity at 60°F to relative density 60/60°F and to density at 15°C (59°F) จึงได้รับความเชื่อถือจากหน่วยงานทั้งระดับชาติและระดับสากลมาเป็นเวลานาน ***ANS***

นอกจากนี้ยังมีค่าความหนาแน่นในหน่วยต่างๆ ที่ควรทราบและต้องใช้ตัวแปรคูณ เพื่อแปลงค่าให้เป็นค่าความหนาแน่นด้วยหน่วย คือ kg/m^3 ดังตารางที่ 1

ได้รวบรวมตารางที่อาจเกี่ยวข้องจาก Petroleum Measurement Tables ASTM D. 1250-80 ซึ่งจะมี

Table 1 : Interrelation of Units of Measurement

Table 3 : API Gravity to Specific Gravity and to Density

ดังนั้นหากทราบค่า API จากผลิตภัณฑ์สินค้าหีบห่อก็นำค่า API เอามาเปิดดูได้ทันทีใน Table 3 API Gravity to Specific Gravity and to Density ก็จะได้ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) ของเหลวที่อุณหภูมิ 60°F (15.6°C) กับความหนาแน่นของเหลวที่ 15°C แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว เราต้อง

ตารางที่ 1 ตัวแปรคูณ เพื่อแปลงค่าให้เป็นค่าความหนาแน่นด้วยหน่วย คือ kg/m^3

Convert	Multiple by	To
Grain (lb avoirdupois/7000)/gal (U.S. liquid)	1.711806 E-02	kg/m^3
g/cm^3	1.000000 E+03	
Oz (avoirdupois)/gal (U.K. liquid)	6.236021 E+00	
Oz (avoirdupois)/gal (U.S. liquid)	7.489152 E+00	
Oz (avoirdupois)/in^3	1.729994 E+03	
lb/ft^3	1.601846 E+01	
lb/in^3	2.767990 E+04	
lb/gal (U.K. liquid)	9.977633 E+01	
lb/gal (U.S. liquid)	1.198264 E+02	
lb/yd^3	5.932764 E-01	
Slug/ft^3	5.153788 E+02	
Ton(long)/yd^3	1.328939 E+03	
ton(short)/yd^3	1.186553 E+03	

Remark: 1 lb/ft^3 = 0.1337 lb/gal (U.S. liquid)

หาค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิปฏิบัติงาน นั้นคืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ ขณะปฏิบัติงานนั้นเอง เราจึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ไขค่าที่ความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิ 15°C ไปยังอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพื่อตรวจสอบว่าค่าความหนาแน่นตรงกับที่ค่า API ที่เราทราบหรือไม่ **ตัวแปรแก้ไขค่าในที่นี้ คือ ตัวแปรแก้ไขค่าสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อของเหลว (Correction for The Effect of Temperature on a Liquid); C_{tl} หรือ (CTL)**

เนื่องจากปริมาณของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเมื่อถูกกระทำให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ปริมาตรของเหลวปิโตรเลียมเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน โดยปริมาตรจะขยายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะหดตัวลงเมื่ออุณหภูมิลดลง พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเหลวปิโตรเลียมดังกล่าวนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ the thermal coefficient of expansion ของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังกล่าวซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่น (API gravity) และอุณหภูมิ ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรของเหลว (***C_{tl} หรือ CTL*** ; the correction factor for the effect of temperature on the petroleum liquid) จึงใช้เพื่อแก้ไขปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมภายในภาชนะบรรจุ จากปริมาตรที่อุณหภูมิใดๆ (V_T) ไปเป็นปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐาน (V_0) หาได้จาก

$$V_o = V_T \times C_{tl} \tag{5}$$

ในทางกลับกันถ้าเรารู้ค่าปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมภายในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐานแล้วก็จะสามารถคำนวณหาปริมาตรที่อุณหภูมิใดๆ ได้

$$V_T = \frac{V_0}{C_{tl}} \tag{6}$$

สภาวะอ้างอิงหรือสภาวะมาตรฐาน คือ สภาวะที่ 30°C หรือ 15°C (59°F) หรือ 15.6°C (60°F) และความดันบรรยากาศ (equilibrium pressure) (0.0 psig)

หากพิจารณาในอีกแง่มุมหนึ่งจะพบว่า ค่า C_{tl} เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงกับปริมาตรที่อุณหภูมิ T

$$C_{tl} = \frac{V_o}{V_T} \tag{7}$$

แต่เนื่องจากความจริงที่ว่าค่ามวลของเหลวที่สภาวะใดๆ จะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อ 2 สภาวะมีค่าความดันคงที่เท่ากัน จะได้ว่า

$$M_0 = M_T \tag{8}$$

$$\rho_0 V_0 = \rho_T V_T \tag{9}$$

$$\frac{V_0}{V_T} = \frac{\rho_T}{\rho_0} \tag{10}$$

ดังนั้นพอสรุปได้ว่าที่สภาวะความดันเท่ากันในที่นี้ให้ที่ความดันบรรยากาศ แต่อุณหภูมิของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างกันจะได้ว่า

$$C_{tl} = \frac{\rho_T}{\rho_0} \tag{11}$$

หรือ

$$\rho_T = \rho_0 C_{tl} \tag{12}$$

จากสมการที่ (12) เมื่อเราทราบความหนาแน่นที่อุณหภูมิสภาวะอ้างอิง 30°C หรือ 15°C (59°F) หรือ 15.6°C (60°F) และความดันบรรยากาศ (equilibrium pressure) (0.0 psig) เราก็สามารถหาค่าความหนาแน่นของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่อุณหภูมิ T และความดันบรรยากาศ

ดังนั้นมาทำความรู้จักกับการหาค่า C_{tl} แต่หากทราบอยู่แล้วก็ถือว่าเป็นการทบทวนเสียแล้วกัน ค่าตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรของเหลว พิจารณาแบ่งออกตามประเภทชนิดของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม 3 กรณีใหญ่ๆ คือ

กรณีที่ 1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG, NGL) เราสามารถหาค่า C_{tl} ได้จาก

- จากตาราง **API 54** หรือ
- จากการคำนวณ C_{tl} จากสูตร (Anhang C DIN 51757 seite 19) สมการที่ (13) โดยแก้ไขปริมาตรไปที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐาน 15°C

$$C_{tl} = [1 + Q \times \Delta T + S\Delta T^2] - \frac{[P \times \Delta T + R\Delta T^2]}{\rho_{15}} \quad (13)$$

เมื่อ $\Delta T = T - 15^{\circ}C$

โดยหาค่า P, Q, R และ S ได้จากตารางข้างนี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของของเหลวก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG, NGL)

ความหนาแน่น @ 15°C (kg/m^3)	P × 10^3	Q × 10^6	R × 10^3	S × 10^6
500-600	4075	5050	27.5	45
601-620	2448.9	2340.9	1.589	1.947
621-640	2225.1	1980	1.588	1.946
641-650	1936.6	1529.1	1.588	1.946

กรณีที่ 2 สำหรับน้ำมันดิบ (crude oil) สามารถหาค่า C_{tl} ได้จาก

- ตาราง **API 54 A หรือ**
- จากการคำนวณ C_{tl} จากสมการที่ (14) โดยแก้ไขปริมาตรไปที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐาน 15°C

$$C_{tl} = e^{[-\alpha T \times \Delta T \times (1 + 0.8 \times \alpha T \times \Delta T)]} \quad (14)$$

เมื่อ

$$\alpha T = \frac{K_0}{\rho_{15}^2} + \frac{K_1}{\rho_{15}} \quad (15)$$

เมื่อความหนาแน่น**น้ำมันดิบ (crude oil)** ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15°C (ρ_{15}) มีค่าระหว่าง

$$610.50 < \rho_{15} < 1075.0 \text{ kg/m}^3$$

แล้วได้ว่า $K_0 = 613.9723$

$K_1 = 0.0$

กรณีที่ 3 สำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสำเร็จรูป สามารถหาค่า C_{tl} ได้จาก

- ตาราง **API 54 B** หรือ
- จากการคำนวณ C_{tl} จากสมการที่ (16) โดยแก้ไขปริมาตรไปที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิมาตรฐาน 15°C (สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูป)

$$C_{tl15} = e^{[-\alpha T \times \Delta T \times (1+0.8 \times \alpha T \times \Delta T)]} \tag{16}$$

เมื่อ $\Delta T = T - 15\ ^{\circ}C$

หรือถ้าใช้อุณหภูมิอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็น 30°C จะใช้สมการหาค่า C_{tl} ดังต่อไปนี้

$$C_{tl30} = \frac{e^{[-\alpha T \times \Delta T \times (1+0.8 \times \alpha T \times \Delta T)]}}{e^{[-\alpha T \times 15 \times (1+0.8 \times \alpha T \times 15)]}} \tag{17}$$

หรือ

$$C_{tl30} = \frac{C_{tl15}}{C_{tl30-15}} \tag{17.1}$$

เมื่อ $C_{tl30-15}$ คือการปรับค่าจากอุณหภูมิ 15°C ไปยังอุณหภูมิ 30°C เพราะ

$$\Delta T = 30 - 15 = 15\ ^{\circ}C$$

$$\alpha T = \frac{K_0}{\rho_{15}^2} + \frac{K_1}{\rho_{15}} + K_2 \tag{18}$$

โดยสามารถเลือกหาค่า K_0, K_1, K_2 (จาก **ASTM D1250(1980)**) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 °C ดังต่อไปนี้

Product type : **Fuel oil**

838.50 < ρ_{15} < **1075.00** kg/m^3

K_0 = 186.9696

K_1 = 0.4862

K_2 = 0

Product type : **Gasoline**

653.00 < ρ_{15} ≤ **770.00** kg/m^3

K_0 = 346.4228

K_1 = 0.4388

K_2 = 0

Product type : **Jet Group**

788.00 < ρ_{15} ≤ **838.50** kg/m^3

K_0 = 594.5418

K_1 = 0.0

K_2 = 0

Product type : **Between Jet And Gasoline**

770.50 < ρ_{15} ≤ **787.50** kg/m^3

K_0 = 2680.3206

K_1 = 0

K_2 = -0.00336312

กรณีที่ 4 น้ำ

ค่า $C_{tl} = 1$ เนื่องจาก ค่า C_{tl} เป็นตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกระทำต่อปริมาตรของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเท่านั้น อีกทั้งน้ำเป็นสารที่มีการขยายตัวหรือหดตัวต่ำมาก (low coefficient of expansion) เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไป จึงไม่ต้องนำมาคิดในการคำนวณหาค่าปริมาตร หากใช้น้ำเป็นของเหลวทดสอบ

การเปลี่ยนแปลงค่า C_{tl} ต่ออุณหภูมิ

จากการคำนวณพบว่าพอประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงค่า C_{tl} ต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้มีค่าประมาณ

$$\Delta C_{tl} = 0.10\% \text{ Per } ^{\circ}C \quad (19)$$
$$= 0.06\% \text{ Per } ^{\circ}F$$

ตัวอย่าง 2 น้ำมันปิโตรเลียมที่มีค่าความหนาแน่น API degree 36.5 ดังนั้นจะมีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิที่ 32°C เท่าไร

นำค่า API ของน้ำมันปิโตรเลียมที่มีค่าความหนาแน่น API degree 36.5 ไปเปิดจาก Table 3 API gravity at 60°F to relative density 60/60°F and to density at 15°C (59°F) จะได้ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (specific gravity) ของเหลวที่อุณหภูมิ 60°F/60°F ได้ค่าเท่ากับ 0.8423 และค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C เท่ากับ 841.8 kg/m^3

$$\rho_0 = 841.8 \text{ kg/m}^3$$

จากสมการที่ (12) เราสามารถหาค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 32°C ได้ว่า

$$\rho_T = \rho_0 C_{tl} \quad (12)$$

$$C_{tl15} = e^{[-\alpha T \times \Delta T \times (1+0.8 \times \alpha T \times \Delta T)]} \quad (16)$$

เมื่อ $\Delta T = T\text{-}15^{\circ}C$

$$\alpha T = \frac{K_0}{\rho_{15}^2} + \frac{K_1}{\rho_{15}} + K_2 \quad (18)$$

เนื่องจาก ρ_0 = 841.8 kg/m^3 ดังนั้นอยู่ในกลุ่มความหนาแน่น Product type : Fuel oil

$$838.50 < \rho_{15} < 1075.00 \text{ kg/m}^3$$
$$K_0 = 186.9696$$
$$K_1 = 0.4862$$
$$K_2 = 0$$

ดังนั้น

$$\alpha T = \frac{186.9696}{841.8^2} + \frac{0.4862}{841.8} + 0 = 0.000841$$
$$\Delta T = 32\text{-}15 \ ^{\circ}C = 17 \ ^{\circ}C$$

ดังนั้น

$$C_{tl15} = e^{[-0.000841\times17\times(1+0.8\times0.000841\times17)]} = 0.9856$$

ค่าความหนาแน่นน้ำมันปิโตรเลียมที่อุณหภูมิที่ 32°C มีค่าเท่ากับ

$$\rho_T = \rho_0 C_{tl} = 841.8\times0.9856 = 829.71\ \mathrm{kg/m^3}$$

จะเห็นว่าความหนาแน่นน้อยลงนั้นหมายถึงปริมาตรเพิ่มขึ้นขณะที่มวลยังคงเท่าเดิม

ANS

TABLE 1

Interrelation of Units of Measurement

Table 1

Interrelation of Units of Measurement

LENGTH

To Convert	Multiply By
METRES	
To Yards	1,0936
To Feet	3,2808
To Inches	39,370
YARDS	
To Metres	0,91440
FEET	
To Metres	0,30480
INCHES	
To Centimetres	2,5400

WEIGHT

To Convert	Multiply By
LONG TONS	
To Pounds (Avoirdupois)	2240
To Short Tons	1,12
To Metric Tons (Tonnes)	1,01605
SHORT TONS	
To Pounds (Avoirdupois)	2000
To Long Tons	0,892857
To Metric Tons (Tonnes)	0,907185
METRIC TON (TONNES)	
To Long Tons	0,98421
To Short Tons	1,10231
POUNDS (Avoirdupois)	
To Kilograms	0,453592
KILOGRAMS	
To Pounds (Avoirdupois)	2,20462

VOLUME AND CAPACITY *

To Convert	Multiply By
U.S. GALLONS	
To Cubic Inches	231 †
To Cubic Feet	0,133681
To Imperial Gallons	0,83268
To U.S. Barrels	0,0238095
To Litres	3,78533
U.S. BARRELS	
To U.S. Gallons	42 †
To Cubic Inches	9702 †
To Cubic Feet	5,6146
To Imperial Gallons	34,9726
To Litres	158,984
IMPERIAL GALLONS	
To Cubic Inches	277,42
To Cubic Feet	0,160544
To U.S. Gallons	1,20094
To U.S. Barrels	0,028594
To Litres	4,54596
CUBIC FEET	
To Imperial Gallons	6,2288
To U.S. Gallons	7,4805
To U.S. Barrels	0,17811
To Litres	28,316
To Cubic Metres	0,028317
CUBIC INCHES	
To Imperial Gallons	0,00360463
To U.S. Gallons	0,0043290
To Litres	0,016387
LITRES	
To Cubic Inches	61,026
To Cubic Feet	0,035316
To Imperial Gallons	0,219975
To U.S. Gallons	0,264178
To U.S. Barrels	0,0062900
CUBIC METRES	
To Imperial Gallons	219,97
To U.S. Gallons	264,17
To U.S. Barrels	6,2898
To Cubic Feet	35,315

* These factors are solely for conversion at the same temperature.
† This relationship is exact by definition.

TABLE 3

API Gravity to Specific Gravity and to Density

TABLE 3

API Gravity at 60°F. to Specific Gravity 60/60°F. and to Density at 15°C.

(Density in this table is mass per unit volume at 15°C. expressed in kilograms per litre)

This table gives the values for specific gravity 60/60°F. and density at 15°C. equivalent to values of API gravity at 60°F. in the range 0 to 100° API. The relation between API gravity and specific gravity is purely mathematical and is given by the equation :—

$$\text{API gravity at } 60°\text{F.} = \frac{141{,}5}{\text{sp. gr. } 60/60°\text{F.}} - 131{,}5$$

This table must be entered with API gravity at 60°F. It is emphasized that the equivalent density is at 15°C. (59°F.) and not at 60°F.

Example :

What is the density at 15°C. of an oil having a gravity of 62,15° API at 60°F. ?

Enter the table with 62,1° API gravity and note that the equivalent density is.....	0,7307 kg per litre
Likewise, enter the table with 62,2° API gravity and note that the equivalent density is.....	0,7303 kg per litre
This represents a decrease of 0,0004 in density for an increase of 0,10 API. Therefore, by simple proportion, an increase in API gravity from 62,1 to 62,15° API represents a decrease in density of 0,5 × 0,0004 or	0,0002
Then, the density of oil at 15°C. is 0,7307 – 0,0002 or	0,7305 kg per litre

Table 3

0–15° API — API Gravity to Specific Gravity and to Density *

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
0,0	1,0760	1,0754	5,0	1,0366	1,0360	10,0	1,0000	0,9994
0,1	1,0752	1,0745	5,1	1,0359	1,0352	10,1	0,9993	0,9987
0,2	1,0744	1,0737	5,2	1,0351	1,0345	10,2	0,9986	0,9980
0,3	1,0736	1,0729	5,3	1,0344	1,0337	10,3	0,9979	0,9973
0,4	1,0728	1,0721	5,4	1,0336	1,0330	10,4	0,9972	0,9966
0,5	1,0720	1,0713	5,5	1,0328	1,0322	10,5	0,9965	0,9959
0,6	1,0712	1,0705	5,6	1,0321	1,0315	10,6	0,9958	0,9952
0,7	1,0703	1,0697	5,7	1,0313	1,0307	10,7	0,9951	0,9945
0,8	1,0695	1,0689	5,8	1,0306	1,0300	10,8	0,9944	0,9938
0,9	1,0687	1,0681	5,9	1,0298	1,0292	10,9	0,9937	0,9931
1,0	1,0679	1,0673	6,0	1,0291	1,0285	11,0	0,9930	0,9924
1,1	1,0671	1,0664	6,1	1,0283	1,0277	11,1	0,9923	0,9917
1,2	1,0663	1,0656	6,2	1,0276	1,0270	11,2	0,9916	0,9910
1,3	1,0655	1,0648	6,3	1,0269	1,0262	11,3	0,9909	0,9903
1,4	1,0647	1,0640	6,4	1,0261	1,0255	11,4	0,9902	0,9896
1,5	1,0639	1,0632	6,5	1,0254	1,0247	11,5	0,9895	0,9889
1,6	1,0631	1,0624	6,6	1,0246	1,0240	11,6	0,9888	0,9882
1,7	1,0623	1,0616	6,7	1,0239	1,0233	11,7	0,9881	0,9875
1,8	1,0615	1,0609	6,8	1,0231	1,0225	11,8	0,9874	0,9869
1,9	1,0607	1,0601	6,9	1,0224	1,0218	11,9	0,9868	0,9862
2,0	1,0599	1,0593	7,0	1,0217	1,0210	12,0	0,9861	0,9855
2,1	1,0591	1,0585	7,1	1,0209	1,0203	12,1	0,9854	0,9848
2,2	1,0583	1,0577	7,2	1,0202	1,0196	12,2	0,9847	0,9841
2,3	1,0575	1,0569	7,3	1,0195	1,0188	12,3	0,9840	0,9834
2,4	1,0568	1,0561	7,4	1,0187	1,0181	12,4	0,9833	0,9827
2,5	1,0560	1,0553	7,5	1,0180	1,0174	12,5	0,9826	0,9821
2,6	1,0552	1,0545	7,6	1,0173	1,0166	12,6	0,9820	0,9814
2,7	1,0544	1,0537	7,7	1,0165	1,0159	12,7	0,9813	0,9807
2,8	1,0536	1,0530	7,8	1,0158	1,0152	12,8	0,9806	0,9800
2,9	1,0528	1,0522	7,9	1,0151	1,0145	12,9	0,9799	0,9793
3,0	1,0520	1,0514	8,0	1,0143	1,0137	13,0	0,9792	0,9787
3,1	1,0513	1,0506	8,1	1,0136	1,0130	13,1	0,9786	0,9780
3,2	1,0505	1,0498	8,2	1,0129	1,0123	13,2	0,9779	0,9773
3,3	1,0497	1,0491	8,3	1,0122	1,0116	13,3	0,9772	0,9766
3,4	1,0489	1,0483	8,4	1,0114	1,0108	13,4	0,9765	0,9760
3,5	1,0481	1,0475	8,5	1,0107	1,0101	13,5	0,9759	0,9753
3,6	1,0474	1,0467	8,6	1,0100	1,0094	13,6	0,9752	0,9746
3,7	1,0466	1,0460	8,7	1,0093	1,0087	13,7	0,9745	0,9739
3,8	1,0458	1,0452	8,8	1,0086	1,0080	13,8	0,9738	0,9733
3,9	1,0451	1,0444	8,9	1,0078	1,0072	13,9	0,9732	0,9726
4,0	1,0443	1,0436	9,0	1,0071	1,0065	14,0	0,9725	0,9719
4,1	1,0435	1,0429	9,1	1,0064	1,0058	14,1	0,9718	0,9713
4,2	1,0427	1,0421	9,2	1,0057	1,0051	14,2	0,9712	0,9706
4,3	1,0420	1,0413	9,3	1,0050	1,0044	14,3	0,9705	0,9699
4,4	1,0412	1,0406	9,4	1,0043	1,0037	14,4	0,9698	0,9693
4,5	1,0404	1,0398	9,5	1,0035	1,0029	14,5	0,9692	0,9686
4,6	1,0397	1,0390	9,6	1,0028	1,0022	14,6	0,9685	0,9680
4,7	1,0389	1,0383	9,7	1,0021	1,0015	14,7	0,9679	0,9673
4,8	1,0382	1,0375	9,8	1,0014	1,0008	14,8	0,9672	0,9666
4,9	1,0374	1,0368	9,9	1,0007	1,0001	14,9	0,9665	0,9660
5,0	1,0366	1,0360	10,0	1,0000	0,9994	15,0	0,9659	0,9653

Table 3

API Gravity to Specific Gravity and to Density *

15-30° API

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
15,0	0,9659	0,9653	20,0	0,9340	0,9335	25,0	0,9042	0,9037
15,1	0,9652	0,9647	20,1	0,9334	0,9328	25,1	0,9036	0,9031
15,2	0,9646	0,9640	20,2	0,9328	0,9322	25,2	0,9030	0,9025
15,3	0,9639	0,9633	20,3	0,9321	0,9316	25,3	0,9024	0,9019
15,4	0,9632	0,9627	20,4	0,9315	0,9310	25,4	0,9018	0,9014
15,5	0,9626	0,9620	20,5	0,9309	0,9304	25,5	0,9013	0,9008
15,6	0,9619	0,9614	20,6	0,9303	0,9298	25,6	0,9007	0,9002
15,7	0,9613	0,9607	20,7	0,9297	0,9292	25,7	0,9001	0,8996
15,8	0,9606	0,9601	20,8	0,9291	0,9286	25,8	0,8996	0,8991
15,9	0,9600	0,9594	20,9	0,9285	0,9280	25,9	0,8990	0,8985
16,0	0,9593	0,9588	21,0	0,9279	0,9273	26,0	0,8984	0,8979
16,1	0,9587	0,9581	21,1	0,9273	0,9267	26,1	0,8978	0,8974
16,2	0,9580	0,9575	21,2	0,9267	0,9261	26,2	0,8973	0,8968
16,3	0,9574	0,9568	21,3	0,9260	0,9255	26,3	0,8967	0,8962
16,4	0,9567	0,9562	21,4	0,9254	0,9249	26,4	0,8961	0,8956
16,5	0,9561	0,9555	21,5	0,9248	0,9243	26,5	0,8956	0,8951
16,6	0,9554	0,9549	21,6	0,9242	0,9237	26,6	0,8950	0,8945
16,7	0,9548	0,9542	21,7	0,9236	0,9231	26,7	0,8944	0,8940
16,8	0,9541	0,9536	21,8	0,9230	0,9225	26,8	0,8939	0,8934
16,9	0,9535	0,9530	21,9	0,9224	0,9219	26,9	0,8933	0,8928
17,0	0,9529	0,9523	22,0	0,9218	0,9213	27,0	0,8927	0,8923
17,1	0,9522	0,9517	22,1	0,9212	0,9207	27,1	0,8922	0,8917
17,2	0,9516	0,9510	22,2	0,9206	0,9201	27,2	0,8916	0,8911
17,3	0,9509	0,9504	22,3	0,9200	0,9195	27,3	0,8911	0,8906
17,4	0,9503	0,9498	22,4	0,9194	0,9189	27,4	0,8905	0,8900
17,5	0,9497	0,9491	22,5	0,9188	0,9183	27,5	0,8899	0,8895
17,6	0,9490	0,9485	22,6	0,9182	0,9177	27,6	0,8894	0,8889
17,7	0,9484	0,9478	22,7	0,9176	0,9171	27,7	0,8888	0,8883
17,8	0,9478	0,9472	22,8	0,9170	0,9165	27,8	0,8883	0,8878
17,9	0,9471	0,9466	22,9	0,9165	0,9159	27,9	0,8877	0,8872
18,0	0,9465	0,9459	23,0	0,9159	0,9153	28,0	0,8871	0,8867
18,1	0,9459	0,9453	23,1	0,9153	0,9148	28,1	0,8866	0,8861
18,2	0,9452	0,9447	23,2	0,9147	0,9142	28,2	0,8860	0,8856
18,3	0,9446	0,9441	23,3	0,9141	0,9136	28,3	0,8855	0,8850
18,4	0,9440	0,9434	23,4	0,9135	0,9130	28,4	0,8849	0,8845
18,5	0,9433	0,9428	23,5	0,9129	0,9124	28,5	0,8844	0,8839
18,6	0,9427	0,9422	23,6	0,9123	0,9118	28,6	0,8838	0,8833
18,7	0,9421	0,9415	23,7	0,9117	0,9112	28,7	0,8833	0,8828
18,8	0,9415	0,9409	23,8	0,9111	0,9106	28,8	0,8827	0,8822
18,9	0,9408	0,9403	23,9	0,9106	0,9100	28,9	0,8822	0,8817
19,0	0,9402	0,9397	24,0	0,9100	0,9095	29,0	0,8816	0,8811
19,1	0,9396	0,9390	24,1	0,9094	0,9089	29,1	0,8811	0,8806
19,2	0,9390	0,9384	24,2	0,9088	0,9083	29,2	0,8805	0,8801
19,3	0,9383	0,9378	24,3	0,9082	0,9077	29,3	0,8800	0,8795
19,4	0,9377	0,9372	24,4	0,9076	0,9071	29,4	0,8794	0,8790
19,5	0,9371	0,9366	24,5	0,9071	0,9065	29,5	0,8789	0,8784
19,6	0,9365	0,9359	24,6	0,9065	0,9060	29,6	0,8783	0,8779
19,7	0,9358	0,9353	24,7	0,9059	0,9054	29,7	0,8778	0,8773
19,8	0,9352	0,9347	24,8	0,9053	0,9048	29,8	0,8772	0,8768
19,9	0,9346	0,9341	24,9	0,9047	0,9042	29,9	0,8767	0,8762
20,0	0,9340	0,9335	25,0	0,9042	0,9037	30,0	0,8762	0,8757

Table 3

30–45° API API Gravity to Specific Gravity and to Density *

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
30,0	0,8762	0,8757	35,0	0,8499	0,8494	40,0	0,8251	0,8247
30,1	0,8756	0,8752	35,1	0,8493	0,8489	40,1	0,8246	0,8242
30,2	0,8751	0,8746	35,2	0,8488	0,8484	40,2	0,8241	0,8237
30,3	0,8745	0,8741	35,3	0,8483	0,8479	40,3	0,8236	0,8232
30,4	0,8740	0,8735	35,4	0,8478	0,8474	40,4	0,8232	0,8228
30,5	0,8735	0,8730	35,5	0,8473	0,8469	40,5	0,8227	0,8223
30,6	0,8729	0,8725	35,6	0,8468	0,8464	40,6	0,8222	0,8218
30,7	0,8724	0,8719	35,7	0,8463	0,8459	40,7	0,8217	0,8213
30,8	0,8718	0,8714	35,8	0,8458	0,8454	40,8	0,8212	0,8208
30,9	0,8713	0,8708	35,9	0,8453	0,8449	40,9	0,8208	0,8204
31,0	0,8708	0,8703	36,0	0,8448	0,8443	41,0	0,8203	0,8199
31,1	0,8702	0,8698	36,1	0,8443	0,8438	41,1	0,8198	0,8194
31,2	0,8697	0,8692	36,2	0,8438	0,8433	41,2	0,8193	0,8189
31,3	0,8692	0,8687	36,3	0,8433	0,8428	41,3	0,8189	0,8185
31,4	0,8686	0,8682	36,4	0,8428	0,8423	41,4	0,8184	0,8180
31,5	0,8681	0,8676	36,5	0,8423	0,8418	41,5	0,8179	0,8175
31,6	0,8676	0,8671	36,6	0,8418	0,8413	41,6	0,8174	0,8171
31,7	0,8670	0,8666	36,7	0,8413	0,8408	41,7	0,8170	0,8166
31,8	0,8665	0,8660	36,8	0,8408	0,8403	41,8	0,8165	0,8161
31,9	0,8660	0,8655	36,9	0,8403	0,8398	41,9	0,8160	0,8156
32,0	0,8654	0,8650	37,0	0,8398	0,8393	42,0	0,8156	0,8152
32,1	0,8649	0,8645	37,1	0,8393	0,8388	42,1	0,8151	0,8147
32,2	0,8644	0,8639	37,2	0,8388	0,8383	42,2	0,8146	0,8412
32,3	0,8639	0,8634	37,3	0,8383	0,8379	42,3	0,8142	0,8138
32,4	0,8633	0,8629	37,4	0,8378	0,8374	42,4	0,8137	0,8133
32,5	0,8628	0,8624	37,5	0,8373	0,8369	42,5	0,8132	0,8128
32,6	0,8623	0,8618	37,6	0,8368	0,8364	42,6	0,8128	0,8124
32,7	0,8618	0,8613	37,7	0,8363	0,8359	42,7	0,8123	0,8119
32,8	0,8612	0,8608	37,8	0,8358	0,8354	42,8	0,8118	0,8114
32,9	0,8607	0,8603	37,9	0,3353	0,8349	42,9	0,8114	0,8110
33,0	0,8602	0,8597	38,0	0,8348	0,8344	43,0	0,8109	0,8105
33,1	0,8597	0,8592	38,1	0,8343	0,8339	43,1	0,8104	0,8100
33,2	0,8591	0,8578	38,2	0,8338	0,8334	43,2	0,8100	0,8096
33,3	0,8586	0,8582	38,3	0,8333	0,8329	43,3	0,8095	0,8091
33,4	0,8581	0,8577	38,4	0,8328	0,8324	43,4	0,8090	0,8087
33,5	0,8576	0,8571	38,5	0,8324	0,8319	43,5	0,8086	0,8082
33,6	0,8571	0,8566	38,6	0,8319	0,8315	43,6	0,8081	0,8077
33,7	0,8565	0,8561	38,7	0,8314	0,8310	43,7	0,8076	0,8073
33,8	0,8560	0,8556	38,8	0,8309	0,8305	43,8	0,8072	0,8068
33,9	0,8555	0,8551	38,9	0,8304	0,8300	43,9	0,8067	0,8064
34,0	0,8550	0,8545	39,0	0,8299	0,8295	44,0	0,8063	0,8059
34,1	0,8545	0,8540	39,1	0,8294	0,8290	44,1	0,8058	0,8054
34,2	0,8540	0,8535	39,2	0,8289	0,8285	44,2	0,8054	0,8050
34,3	0,8534	0,8530	39,3	0,8285	0,8280	44,3	0,8049	0,8045
34,4	0,8529	0,8525	39,4	0,8280	0,8276	44,4	0,8044	0,8041
34,5	0,8524	0,8520	39,5	0,8275	0,8271	44,5	0,8040	0,8036
34,6	0,8519	0,8515	39,6	0,8270	0,8266	44,6	0,8035	0,8032
34,7	0,8514	0,8509	39,7	0,8265	0,8261	44,7	0,8031	0,8027
34,8	0,8509	0,8504	39,8	0,8260	0,8256	44,8	0,8026	0,8022
34,9	0,8504	0,8499	39,9	0,8256	0,8252	44,9	0,8022	0,8018
35,0	0,8499	0,8494	40,0	0,8251	0,8247	45,0	0,8017	0,8013

Table 3

API Gravity to Specific Gravity and to Density * 45–60° API

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
45,0	0,8017	0,8013	50,0	0,7796	0,7793	55,0	0,7587	0,7584
45,1	0,8012	0,8009	50,1	0,7792	0,7789	55,1	0,7583	0,7580
45,2	0,8008	0,8004	50,2	0,7788	0,7784	55,2	0,7579	0,7576
45,3	0,8003	0,8000	50,3	0,7783	0,7780	55,3	0,7575	0,7572
45,4	0,7999	0,7995	50,4	0,7779	0,7776	55,4	0,7571	0,7568
45,5	0,7994	0,7991	50,5	0,7775	0,7771	55,5	0,7567	0,7564
45,6	0,7990	0,7986	50,6	0,7770	0,7767	55,6	0,7563	0,7560
45,7	0,7985	0,7982	50,7	0,7766	0,7763	55,7	0,7559	0,7556
45,8	0,7981	0,7977	50,8	0,7762	0,7759	55,8	0,7555	0,7552
45,9	0,7976	0,7973	50,9	0,7758	0,7754	55,9	0,7551	0,7548
46,0	0,7972	0,7968	51,0	0,7753	0,7750	56,0	0,7547	0,7544
46,1	0,7967	0,7964	51,1	0,7749	0,7746	56,1	0,7543	0,7540
46,2	0,7963	0,7959	51,2	0,7745	0,7742	56,2	0,7539	0,7536
46,3	0,7958	0,7955	51,3	0,7741	0,7738	56,3	0,7535	0,7532
46,4	0,7954	0,7950	51,4	0,7736	0,7733	56,4	0,7531	0,7528
46,5	0,7949	0,7946	51,5	0,7732	0,7729	56,5	0,7527	0,7524
46,6	0,7945	0,7941	51,6	0,7728	0,7725	56,6	0,7523	0,7520
46,7	0,7941	0,7937	51,7	0,7724	0,7721	56,7	0,7519	0,7516
46,8	0,7936	0,7933	51,8	0,7720	0,7716	56,8	0,7515	0,7512
46,9	0,7932	0,7928	51,9	0,7715	0,7712	56,9	0,7511	0,7508
47,0	0,7927	0,7924	52,0	0,7711	0,7708	57,0	0,7507	0,7504
47,1	0,7923	0,7919	52,1	0,7707	0,7704	57,1	0,7503	0,7500
47,2	0,7918	0,7915	52,2	0,7703	0,7700	57,2	0,7499	0,7496
47,3	0,7914	0,7910	52,3	0,7699	0,7695	57,3	0,7495	0,7492
47,4	0,7909	0,7906	52,4	0,7694	0,7691	57,4	0,7491	0,7488
47,5	0,7905	0,7902	52,5	0,7690	0,7687	57,5	0,7487	0,7484
47,6	0,7901	0,7897	52,6	0,7686	0,7683	57,6	0,7483	0,7480
47,7	0,7896	0,7893	52,7	0,7682	0,7679	57,7	0,7479	0,7476
47,8	0,7892	0,7888	52,8	0,7678	0,7675	57,8	0,7475	0,7472
47,9	0,7887	0,7884	52,9	0,7674	0,7670	57,9	0,7471	0,7468
48,0	0,7883	0,7880	53,0	0,7669	0,7666	58,0	0,7467	0,7464
48,1	0,7879	0,7875	53,1	0,7665	0,7662	58,1	0,7463	0,7460
48,2	0,7874	0,7871	53,2	0,7661	0,7658	58,2	0,7459	0,7457
48,3	0,7870	0,7866	53,3	0,7657	0,7654	58,3	0,7455	0,7453
48,4	0,7865	0,7862	53,4	0,7653	0,7650	58,4	0,7451	0,7449
48,5	0,7861	0,7858	53,5	0,7649	0,7646	58,5	0,7447	0,7445
48,6	0,7857	0,7853	53,6	0,7645	0,7642	58,6	0,7443	0,7441
48,7	0,7852	0,7849	53,7	0,7640	0,7637	58,7	0,7440	0,7437
48,8	0,7848	0,7845	53,8	0,7636	0,7633	58,8	0,7436	0,7433
48,9	0,7844	0,7840	53,9	0,7632	0,7629	58,9	0,7432	0,7429
49,0	0,7839	0,7836	54,0	0,7628	0,7625	59,0	0,7428	0,7425
49,1	0,7835	0,7832	54,1	0,7624	0,7621	59,1	0,7424	0,7421
49,2	0,7831	0,7827	54,2	0,7620	0,7617	59,2	0,7420	0,7417
49,3	0,7826	0,7823	54,3	0,7616	0,7613	59,3	0,7416	0,7414
49,4	0,7822	0,7819	54,4	0,7612	0,7609	59,4	0,7412	0,7410
49,5	0,7818	0,7814	54,5	0,7608	0,7605	59,5	0,7408	0,7406
49,6	0,7813	0,7810	54,6	0,7603	0,7601	59,6	0,7405	0,7402
49,7	0,7809	0,7806	54,7	0,7599	0,7596	59,7	0,7401	0,7398
49,8	0,7805	0,7801	54,8	0,7595	0,7592	59,8	0,7397	0,7394
49,9	0,7800	0,7797	54,9	0,7591	0,7588	59,9	0,7393	0,7390
50,0	0,7796	0,7793	55,0	0,7587	0,7584	60,0	0,7389	0,7387

Table 3

60–75° API **API Gravity to Specific Gravity and to Density ***

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
60,0	0,7389	0,7387	65,0	0,7201	0,7199	70,0	0,7022	0,7020
60,1	0,7385	0,7383	65,1	0,7197	0,7195	70,1	0,7019	0,7017
60,2	0,7381	0,7379	65,2	0,7194	0,7192	70,2	0,7015	0,7014
60,3	0,7377	0,7375	65,3	0,7190	0,7188	70,3	0,7012	0,7010
60,4	0,7374	0,7371	65,4	0,7186	0,7184	70,4	0,7008	0,7007
60,5	0,7370	0,7367	65,5	0,7183	0,7181	70,5	0,7005	0,7003
60,6	0,7366	0,7364	65,6	0,7179	0,7177	70,6	0,7001	0,7000
60,7	0,7362	0,7360	65,7	0,7175	0,7173	70,7	0,6998	0,6996
60,8	0,7358	0,7356	65,8	0,7172	0,7170	70,8	0,6995	0,6993
60,9	0,7354	0,7352	65,9	0,7168	0,7166	70,9	0,6991	0,6989
61,0	0,7351	0,7348	66,0	0,7165	0,7162	71,0	0,5988	0,6986
61,1	0,7347	0,7344	66,1	0,7161	0,7159	71,1	0,6984	0,6982
61,2	0,7343	0,7341	66,2	0,7157	0,7155	71,2	0,6981	0,6979
61,3	0,7339	0,7337	66,3	0,7154	0,7152	71,3	0,6977	0,6975
61,4	0,7335	0,7333	66,4	0,7150	0,7148	71,4	0,6974	0,6972
61,5	0,7332	0,7329	66,5	0,7146	0,7144	71,5	0,6970	0,6969
61,6	0,7328	0,7325	66,6	0,7143	0,7141	71,6	0,6967	0,6965
61,7	0,7324	0,7322	66,7	0,7139	0,7137	71,7	0,6964	0,6962
61,8	0,7320	0,7318	66,8	0,7136	0,7134	71,8	0,6960	0,6958
61,9	0,7316	0,7314	66,9	0,7132	0,7130	71,9	0,6957	0,6955
62,0	0,7313	0,7310	67,0	0,7128	0,7126	72,0	0,6953	0,6952
62,1	0,7309	0,7307	67,1	0,7125	0,7123	72,1	0,6950	0,6948
62,2	0,7305	0,7303	67,2	0,7121	0,7119	72,2	0,6946	0,6945
62,3	0,7301	0,7299	67,3	0,7118	0,7116	72,3	0,6943	0,6941
62,4	0,7298	0,7295	67,4	0,7114	0,7112	72,4	0,6940	0,6938
62,5	0,7294	0,7291	67,5	0,7111	0,7109	72,5	0,6936	0,6935
62,6	0,7290	0,7288	67,6	0,7107	0,7105	72,6	0,6933	0,6931
62,7	0,7286	0,7284	67,7	0,7103	0,7101	72,7	0,6929	0,6928
62,8	0,7283	0,7280	67,8	0,7100	0,7098	72,8	0,6926	0,6924
62,9	0,7279	0,7277	67,9	0,7096	0,7094	72,9	0,6923	0,6921
63,0	0,7275	0,7273	68,0	0,7093	0,7091	73,0	0,6919	0,6918
63,1	0,7271	0,7269	68,1	0,7089	0,7087	73,1	0,6916	0,6914
63,2	0,7268	0,7265	68,2	0,7086	0,7084	73,2	0,6913	0,6911
63,3	0,7264	0,7262	68,3	0,7082	0,7080	73,3	0,6909	0,6907
63,4	0,7260	0,7258	68,4	0,7079	0,7077	73,4	0,6906	0,6904
63,5	0,7256	0,7254	68,5	0,7075	0,7073	73,5	0,6902	0,6901
63,6	0,7253	0,7250	68,6	0,7071	0,7070	73,6	0,6899	0,6897
63,7	0,7249	0,7247	68,7	0,7068	0,7066	73,7	0,6896	0,6894
63,8	0,7245	0,7243	68,8	0,7064	0,7062	73,8	0,6892	0,6891
63,9	0,7242	0,7239	68,9	0,7061	0,7059	73,9	0,6889	0,6887
64,0	0,7238	0,7236	69,0	0,7057	0,7055	74,0	0,6886	0,6884
64,1	0,7234	0,7232	69,1	0,7054	0,7052	74,1	0,6882	0,6881
64,2	0,7230	0,7228	69,2	0,7050	0,7048	74,2	0,6879	0,6877
64,3	0,7227	0,7225	69,3	0,7047	0,7045	74,3	0,6876	0,6874
64,4	0,7223	0,7221	69,4	0,7043	0,7041	74,4	0,6872	0,6871
64,5	0,7219	0,7217	69,5	0,7040	0,7038	74,5	0,6869	0,6867
64,6	0,7216	0,7214	69,6	0,7036	0,7034	74,6	0,6866	0,6864
64,7	0,7212	0,7210	69,7	0,7033	0,7031	74,7	0,6862	0,6861
64,8	0,7208	0,7206	69,8	0,7029	0,7027	74,8	0,6859	0,6857
64,9	0,7205	0,7203	69,9	0,7026	0,7024	74,9	0,6856	0,6854
65,0	0,7201	0,7199	70,0	0,7022	0,7020	75,0	0,6852	0,6851

Table 3

API Gravity to Specific Gravity and to Density * 75–90° API

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
75,0	0,6852	0,6851	80,0	0,6690	0,6689	85,0	0,6536	0,6535
75,1	0,6849	0,6847	80,1	0,6687	0,6686	85,1	0,6533	0,6532
75,2	0,6846	0,6844	80,2	0,6684	0,6683	85,2	0,6530	0,6529
75,3	0,6842	0,6841	80,3	0,6681	0,6680	85,3	0,6527	0,6526
75,4	0,6839	0,6837	80,4	0,6678	0,6676	85,4	0,6524	0,6523
75,5	0,6836	0,6834	80,5	0,6675	0,6673	85,5	0,6521	0,6520
75,6	0,6832	0,6831	80,6	0,6671	0,6670	85,6	0,6518	0,6517
75,7	0,6829	0,6828	80,7	0,6668	0,6667	85,7	0,6515	0,6514
75,8	0,6826	0,6824	80,8	0,6665	0,6664	85,8	0,6512	0,6511
75,9	0,6823	0,6821	80,9	0,6662	0,6661	85,9	0,6509	0,6508
76,0	0,6819	0,6818	81,0	0,6659	0,6658	86,0	0,6506	0,6505
76,1	0,6816	0,6814	81,1	0,6656	0,6654	86,1	0,6503	0,6502
76,2	0,6813	0,6811	81,2	0,6653	0,6651	86,2	0,6500	0,6499
76,3	0,6809	0,6808	81,3	0,6649	0,6648	86,3	0,6497	0,6496
76,4	0,6806	0,6805	81,4	0,6646	0,6645	86,4	0,6494	0,6493
76,5	0,6803	0,6801	81,5	0,6643	0,6642	86,5	0,6491	0,6490
76,6	0,6800	0,6798	81,6	0,6640	0,6639	86,6	0,6488	0,6487
76,7	0,6796	0,6795	81,7	0,6637	0,6636	86,7	0,6485	0,6484
76,8	0,6793	0,6792	81,8	0,6634	0,6633	86,8	0,6482	0,6481
76,9	0,6790	0,6788	81,9	0,6631	0,6630	86,9	0,6479	0,6478
77,0	0,6787	0,6785	82,0	0,6628	0,6626	87,0	0,6476	0,6475
77,1	0,6783	0,6782	82,1	0,6625	0,6623	87,1	0,6473	0,6472
77,2	0,6780	0,6779	82,2	0,6621	0,6620	87,2	0,6470	0,6469
77,3	0,6777	0,6775	82,3	0,6618	0,6617	87,3	0,6467	0,6466
77,4	0,6774	0,6772	82,4	0,6615	0,6614	87,4	0,6464	0,6463
77,5	0,6770	0,6769	82,5	0,6612	0,6611	87,5	0,6461	0,6460
77,6	0,6767	0,6766	82,6	0,6609	0,6608	87,6	0,6458	0,6457
77,7	0,6764	0,6762	82,7	0,6606	0,6605	87,7	0,6455	0,6454
77,8	0,6761	0,6759	82,8	0,6603	0,6602	87,8	0,6452	0,6451
77,9	0,6757	0,6756	82,9	0,6600	0,6599	87,9	0,6449	0,6448
78,0	0,6754	0,6753	83,0	0,6597	0,6596	88,0	0,6446	0,6446
78,1	0,6751	0,6750	83,1	0,6594	0,6592	88,1	0,6444	0,6443
78,2	0,6748	0,6746	83,2	0,6591	0,6589	88,2	0,6441	0,6440
78,3	0,6745	0,6743	83,3	0,6588	0,6586	88,3	0,6438	0,6437
78,4	0,6741	0,6740	83,4	0,6584	0,6583	88,4	0,6435	0,6434
78,5	0,6738	0,6737	83,5	0,6581	0,6580	88,5	0,6432	0,6431
78,6	0,6735	0,6733	83,6	0,6578	0,6577	88,6	0,6429	0,6428
78,7	0,6732	0,6730	83,7	0,6575	0,6574	88,7	0,6426	0,6425
78,8	0,6728	0,6727	83,8	0,6572	0,6571	88,8	0,6423	0,6422
78,9	0,6725	0,6724	83,9	0,6569	0,6568	88,9	0,6420	0,6419
79,0	0,6722	0,6721	84,0	0,6566	0,6565	89,0	0,6417	0,6416
79,1	0,6719	0,6718	84,1	0,6563	0,6562	89,1	0,6414	0,6413
79,2	0,6716	0,6714	84,2	0,6560	0,6559	89,2	0,6411	0,6411
79,3	0,6713	0,6711	84,3	0,6557	0,6556	89,3	0,6409	0,6408
79,4	0,6709	0,6708	84,4	0,6554	0,6553	89,4	0,6406	0,6405
79,5	0,6706	0,6705	84,5	0,6551	0,6550	89,5	0,6403	0,6402
79,6	0,6703	0,6702	84,6	0,6548	0,6547	89,6	0,6400	0,6399
79,7	0,6700	0,6698	84,7	0,6545	0,6544	89,7	0,6397	0,6396
79,8	0,6697	0,6695	84,8	0,6542	0,6541	89,8	0,6394	0,6393
79,9	0,6693	0,6692	84,9	0,6539	0,6538	89,9	0,6391	0,6390
80,0	0,6690	0,6689	85,0	0,6536	0,6535	90,0	0,6388	0,6387

Table 3

90–100° API API Gravity to Specific Gravity and to Density *

API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.	API Gravity 60°F.	Specific Gravity 60/60°F.	Density * 15°C.
90,0	0,6388	0,6387	93,5	0,6289	0,6288	97,0	0,6193	0,6192
90,1	0,6385	0,6385	93,6	0,6286	0,6286	97,1	0,6190	0,6189
90,2	0,6383	0,6382	93,7	0,6283	0,6283	97,2	0,6187	0,6187
90,3	0,6380	0,6379	93,8	0,6281	0,6280	97,3	0,6184	0,6184
90,4	0,6377	0,6376	93,9	0,6278	0,6277	97,4	0,6182	0,6181
90,5	0,6374	0,6373	94,0	0,6275	0,6274	97,5	0,6179	0,6179
90,6	0,6371	0,6370	94,1	0,6272	0,6272	97,6	0,6176	0,6176
90,7	0,6368	0,6367	94,2	0,6269	0,6269	97,7	0,6174	0,6173
90,8	0,6365	0,6365	94,3	0,6267	0,6266	97,8	0,6171	0,6171
90,9	0,6362	0,6362	94,4	0,6264	0,6263	97,9	0,6168	0,6168
91,0	0,6360	0,6359	94,5	0,6261	0,6261	98,0	0,6166	0,6165
91,1	0,6357	0,6356	94,6	0,6258	0,6258	98,1	0,6163	0,6163
91,2	0,6354	0,6353	94,7	0,6256	0,6255	98,2	0,6160	0,6160
91,3	0,6351	0,6350	94,8	0,6253	0,6252	98,3	0,6158	0,6157
91,4	0,6348	0,6347	94,9	0,6250	0,6250	98,4	0,6155	0,6155
91,5	0,6345	0,6345	95,0	0,6247	0,6247	98,5	0,6152	0,6152
91,6	0,6342	0,6342	95,1	0,6244	0,6244	98,6	0,6150	0,6149
91,7	0,6340	0,6339	95,2	0,6242	0,6241	98,7	0,6147	0,6147
91,8	0,6337	0,6336	95,3	0,6239	0,6239	98,8	0,6144	0,6144
91,9	0,6334	0,6333	95,4	0,6236	0,6236	98,9	0,6141	0,6141
92,0	0,6331	0,6330	95,5	0,6233	0,6233	99,0	0,6139	0,6139
92,1	0,6328	0,6328	95,6	0,6231	0,6230	99,1	0,6136	0,6136
92,2	0,6325	0,6325	95,7	0,6228	0,6228	99,2	0,6134	0,6133
92,3	0,6323	0,6322	95,8	0,6225	0,6225	99,3	0,6131	0,6131
92,4	0,6320	0,6319	95,9	0,6223	0,6222	99,4	0,6128	0,6128
92,5	0,6317	0,6316	96,0	0,6220	0,6219	99,5	0,6126	0,6125
92,6	0,6314	0,6314	96,1	0,6217	0,6217	99,6	0,6123	0,6123
92,7	0,6311	0,6311	96,2	0,6214	0,6214	99,7	0,6120	0,6120
92,8	0,6309	0,6308	96,3	0,6212	0,6211	99,8	0,6118	0,6117
92,9	0,6306	0,6305	96,4	0,6209	0,6208	99,9	0,6115	0,6115
93,0	0,6303	0,6302	96,5	0,6206	0,6206	100,0	0,6112	0,6112
93,1	0,6300	0,6299	96,6	0,6203	0,6203			
93,2	0,6297	0,6297	96,7	0,6201	0,6200			
93,3	0,6294	0,6294	96,8	0,6198	0,6198			
93,4	0,6292	0,6291	96,9	0,6195	0,6195			
93,5	0,6289	0,6288	97,0	0,6193	0,6192			

ความหนาแน่นของน้ำ และความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ

(Water Density and Absolute Viscosity of Water)

ในการปฏิบัติงานตรวจสอบ, ตรวจสอบให้คำรับรอง รวมทั้งการสอบเทียบเครื่องชั่งตวงวัด และสินค้าหีบห่อ ในบางขั้นตอนหรือในบางวิธีการ การใช้น้ำสะอาดหรือน้ำกลั่นเป็นสารตัวกลางในการสอบเทียบหรือเพื่อใช้ในการดำเนินการไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อมย่อมมีให้เห็นอยู่บ่อยครั้ง เนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีคุณสมบัติดีในหลายแง่มุมไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำหรือในแง่ของความปลอดภัย และความสะดวกในการจัดหาและราคา เป็นต้น คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำที่มักนิยมใช้ในการปฏิบัติงานคือ ค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะซึ่งจะสะท้อนออกมาในรูปของค่าน้ำหนักและค่าปริมาตร ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติเด่นดังนี้

- มีความจุความร้อนมาก (high heat capacity) นั้นหมายถึงหากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปหากไม่มากนัก น้ำยังคงรักษาค่าอุณหภูมิของน้ำได้ค่อนข้างคงที่
- มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ (low coefficient of expansion) ส่งผลให้ปริมาตรของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ค่อนข้างน้อยหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- การลดปริมาตรเนื่องจากความดัน (low compressibility) มีค่าน้อยมาก
- เป็นของเหลวที่ราคาถูกหาง่าย อีกทั้งง่ายต่อการเก็บรักษา

อย่างเช่นการสอบเทียบ Prover tank เพื่อหาปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน คือที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิเท่ากับ 30°C นั้นจะใช้น้ำสะอาดและสมมุติว่าคุณสมบัติใกล้เคียงเทียบเท่าน้ำบริสุทธิ์ หรือการสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก เช่น ปิเปท บิวเรต เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจสอบสินค้าหีบห่อซึ่งอาจใช้เทคนิคของการแทนที่ปริมาตรของเหลวในบรรจุภัณฑ์ด้วยน้ำบริสุทธิ์ที่ระดับเท่ากันเพื่อหาค่าปริมาตรบรรจุสุทธิของการบรรจุของสินค้าหีบห่อดังกล่าว ในกรณีที่

ของเหลวภายในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีความหนืดสูงไม่สามารถถ่ายออกมาวัดปริมาตรได้ด้วยระยะเวลาอันสั้นเป็นต้น นอกจากนี้ในห้องปฏิบัติการมวลที่มีความเที่ยงสูงอาจใช้เทคนิคของการชั่งน้ำหนักของมวลภายในน้ำบริสุทธิ์ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราก็เป็นวิธีการหนึ่ง

ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density)

เราสามารถหาค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้จากในหนังสือคุณสมบัติของสารต่างๆ ซึ่งได้จัดทำไว้เป็นตารางทั่วๆ ไปไว้แล้ว ในขณะเดียวกันเรายังสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้จาก

ก.) สมการของ H. Wagenbreth และ W. Blanke, PTB โดยใช้สเกลอุณหภูมิ ITS-90 ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (ρ) ที่ความดันบรรยากาศ

$$\rho = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t^n}{1 + bt} \qquad (1)$$

เมื่อ

$a_0 = 9.9983952 \times 10^{2}$ kg/m^3

$a_1 = 1.6952577 \times 10$ $^{\circ}C^{-1}\ kg/m^3$

$a_2 = -7.9905127 \times 10^{-3}$ $^{\circ}C^{-1}\ kg/m^3$

$a_3 = -4.624175 \times 10^{-5}$ $^{\circ}C^{-1}\ kg/m^3$

$a_4 = 1.0584601 \times 10^{-7}$ $^{\circ}C^{-1}\ kg/m^3$

$a_5 = -2.8103006 \times 10^{-10}$ $^{\circ}C^{-1}\ kg/m^3$

$b = 1.6887236 \times 10^{-2}$ $^{\circ}C^{-1}$

t = อุณหภูมิ องศาเซลเซียส $^{\circ}C$

แสดงค่าความหนาแน่นน้ำบริสุทธ์จากสมการนี้ไว้ในตารางที่ 1 โดยอุณหภูมิเท่ากับ 0 สมการที่ (1) จะไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นเราจึงแทนค่าที่ค่าเข้าใกล้ศูนย์ คือ เท่ากับ 0.001°C และถือว่าเป็นค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิเท่ากับ 0°C

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันบรรยากาศ (สมการที่ 1) หน่วย kg/m^3

t	kg/m³									
(°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.8396	999.8463	999.8528	999.8592	999.8653	999.8713	999.8771	999.8828	999.8882	999.8935
1	999.8985	999.9035	999.9082	999.9128	999.9172	999.9214	999.9254	999.9293	999.9330	999.9365
2	999.9399	999.9431	999.9461	999.9490	999.9516	999.9541	999.9565	999.9587	999.9607	999.9625
3	999.9642	999.9657	999.9671	999.9682	999.9693	999.9701	999.9708	999.9714	999.9717	999.9719
4	999.9720	999.9719	999.9716	999.9712	999.9706	999.9699	999.9690	999.9679	999.9667	999.9653
5	999.9638	999.9621	999.9603	999.9583	999.9562	999.9539	999.9514	999.9488	999.9461	999.9432
6	999.9401	999.9369	999.9336	999.9301	999.9264	999.9226	999.9187	999.9146	999.9103	999.9059
7	999.9014	999.8967	999.8919	999.8869	999.8818	999.8766	999.8712	999.8656	999.8599	999.8541
8	999.8481	999.8420	999.8358	999.8294	999.8228	999.8161	999.8093	999.8024	999.7953	999.7880
9	999.7807	999.7732	999.7655	999.7577	999.7498	999.7417	999.7335	999.7252	999.7168	999.7082
10	999.6994	999.6906	999.6816	999.6724	999.6632	999.6538	999.6442	999.6346	999.6248	999.6148
11	999.6048	999.5946	999.5843	999.5738	999.5633	999.5526	999.5417	999.5308	999.5197	999.5085
12	999.4971	999.4856	999.4740	999.4623	999.4505	999.4385	999.4264	999.4141	999.4018	999.3893
13	999.3767	999.3640	999.3511	999.3382	999.3251	999.3119	999.2985	999.2850	999.2715	999.2578
14	999.2439	999.2300	999.2159	999.2017	999.1874	999.1730	999.1584	999.1438	999.1290	999.1141
15	**999.0991**	999.0839	999.0687	999.0533	999.0378	999.0222	999.0065	998.9906	998.9747	998.9586
16	998.9424	998.9261	998.9097	998.8931	998.8765	998.8597	998.8429	998.8259	998.8088	998.7915
17	998.7742	998.7568	998.7392	998.7216	998.7038	998.6859	998.6679	998.6498	998.6316	998.6132
18	998.5948	998.5762	998.5576	998.5388	998.5199	998.5009	998.4818	998.4626	998.4433	998.4239
19	998.4043	998.3847	998.3649	998.3451	998.3251	998.3051	998.2849	998.2646	998.2442	998.2237
20	**998.2031**	998.1824	998.1616	998.1407	998.1197	998.0986	998.0773	998.0560	998.0346	998.0130
21	997.9914	997.9696	997.9478	997.9258	997.9038	997.8816	997.8594	997.8370	997.8145	997.7920
22	997.7693	997.7466	997.7237	997.7007	997.6777	997.6545	997.6312	997.6079	997.5844	997.5608
23	997.5372	997.5134	997.4895	997.4656	997.4415	997.4173	997.3931	997.3687	997.3443	997.3197
24	997.2951	997.2703	997.2455	997.2206	997.1955	997.1704	997.1452	997.1198	997.0944	997.0689
25	997.0433	997.0176	996.9918	996.9659	996.9399	996.9138	996.8877	996.8614	996.8350	996.8086
26	996.7820	996.7554	996.7288	996.7018	996.6749	996.6478	996.6207	996.5935	996.5662	996.5388
27	996.5114	996.4838	996.4561	996.4284	996.4005	996.3726	996.3445	996.3164	996.2882	996.2599
28	996.2315	996.2030	996.1745	996.1458	996.1171	996.0882	996.0593	996.0303	996.0012	995.9720
29	995.9427	995.9133	995.8838	995.8543	995.8247	995.7949	995.7651	995.7352	995.7052	995.6752
30	**995.6450**	995.6147	995.5844	995.5540	995.5235	995.4929	995.4622	995.4314	995.4006	995.3696
31	995.3386	995.3075	995.2763	995.2450	995.2136	995.1822	995.1506	995.1190	995.0873	995.0555
32	995.0236	994.9917	994.9596	994.9275	994.8953	994.8630	994.8306	994.7982	994.7656	994.7330
33	994.7003	994.6675	994.6346	994.6016	994.5686	994.5355	994.5023	994.4690	994.4356	994.4022
34	994.3686	994.3350	994.3013	994.2675	994.2337	994.1997	994.1657	994.1316	994.0974	994.0632
35	994.0288	993.9944	993.9599	993.9253	993.8906	993.8559	993.8211	993.7862	993.7512	993.7161
36	993.6810	993.6458	993.6105	993.5751	993.5397	993.5041	993.4685	993.4328	993.3970	993.3612
37	993.3253	993.2893	993.2532	993.2170	993.1808	993.1445	993.1081	993.0716	993.0351	992.9985
38	992.9618	992.9250	992.8881	992.8512	992.8142	992.7771	992.7400	992.7027	992.6654	992.6281
39	992.5906	992.5531	992.5155	992.4778	992.4400	992.4022	992.3643	992.3263	992.2882	992.2501
40	992.2119	992.1736	992.1352	992.0968	992.0583	992.0197	991.9810	991.9423	991.9035	991.8646

ข.) สมการ polynomial equation จาก ISO 8222 : 1987 (International Organization for Standardization, Petroleum measurement systems – Calibration–Temperature corrections for use with volumetric reference measuring systems) ค่าความหนาแน่นของน้ำสำหรับอุณหภูมิของน้ำบริสุทธิ์ตั้งแต่อุณหภูมิ 0.05°C ถึง 45°C ด้วยสมการที่ (2)

ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (ρ) ที่ความดันบรรยากาศ

$$\rho = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \qquad (2)$$

เมื่อ

a_0 = 999.839 563 9
a_1 = +0.067 982 999 89
a_2 = –0.009 106 025 564
a_3 = +0.000 100 527 299 9
a_4 = –0.000 001 126 713 526
a_5 = +0.000 000 006 591 795 606
t = อุณหภูมิ องศาเซลเซียส °C

ค่าความละเอียดถึง ทศนิยม 6 ตำแหน่งสำหรับความหนาแน่นน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 0.05°C ถึง 45°C

ได้แสดงค่าความหนาแน่นน้ำบริสุทธ์จากสมการนี้ไว้ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ต่างกันไม่มากเสียทีเดียว

ค.) หนังสือ Units and fundamental Constants in Physics and Chemistry, Volume a: Units in Physics and Chemistry, edited by J. Bortfeld and B. Kramer, Springer, Berlin 1991, pp2–140 ที่ความหนาแน่นของน้ำที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (the density of standard mean ocean water; SMOW) และมีอิสระของการผสมของก๊าซที่ความดันที่ 1013.25 mBar ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันบรรยากาศ(สมการที่2) หน่วย kg/m^3

t (°C)	kg/m³										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.8396	999.8463	999.8528	999.8591	999.8653	999.8713	999.8771	999.8827	999.8882	999.8934
1	999.8985	999.9035	999.9082	999.9128	999.9172	999.9214	999.9254	999.9293	999.9330	999.9365
2	999.9399	999.9431	999.9461	999.9489	999.9516	999.9541	999.9565	999.9587	999.9607	999.9625
3	999.9642	999.9657	999.9670	999.9682	999.9692	999.9701	999.9708	999.9713	999.9717	999.9719
4	999.9720	999.9718	999.9716	999.9711	999.9705	999.9698	999.9689	999.9678	999.9666	999.9652
5	999.9637	999.9620	999.9602	999.9582	999.9560	999.9537	999.9513	999.9487	999.9459	999.9430
6	999.9399	999.9367	999.9334	999.9299	999.9262	999.9224	999.9184	999.9143	999.9101	999.9057
7	999.9011	999.8964	999.8916	999.8866	999.8815	999.8762	999.8708	999.8652	999.8595	999.8537
8	999.8477	999.8416	999.8353	999.8289	999.8223	999.8157	999.8088	999.8019	999.7947	999.7875
9	999.7801	999.7726	999.7649	999.7571	999.7492	999.7411	999.7329	999.7246	999.7161	999.7075
10	999.6987	999.6898	999.6808	999.6717	999.6624	999.6530	999.6434	999.6337	999.6239	999.6140
11	999.6039	999.5937	999.5834	999.5729	999.5623	999.5516	999.5408	999.5298	999.5187	999.5074
12	999.4961	999.4846	999.4730	999.4612	999.4494	999.4374	999.4253	999.4130	999.4007	999.3882
13	999.3756	999.3628	999.3500	999.3370	999.3239	999.3106	999.2973	999.2838	999.2702	999.2565
14	999.2427	999.2287	999.2146	999.2004	999.1861	999.1717	999.1571	999.1424	999.1276	999.1127
15	**999.0977**	999.0826	999.0673	999.0519	999.0364	999.0208	999.0051	998.9892	998.9733	998.9572
16	998.9410	998.9247	998.9083	998.8917	998.8751	998.8583	998.8414	998.8244	998.8073	998.7901
17	998.7728	998.7553	998.7378	998.7201	998.7023	998.6845	998.6665	998.6483	998.6301	998.6118
18	998.5934	998.5748	998.5562	998.5374	998.5185	998.4995	998.4804	998.4612	998.4419	998.4225
19	998.4030	998.3833	998.3636	998.3438	998.3238	998.3037	998.2836	998.2633	998.2429	998.2224
20	**998.2019**	998.1812	998.1604	998.1395	998.1185	998.0973	998.0761	998.0548	998.0334	998.0119
21	997.9902	997.9685	997.9467	997.9247	997.9027	997.8805	997.8583	997.8360	997.8135	997.7910
22	997.7683	997.7456	997.7227	997.6998	997.6767	997.6536	997.6303	997.6070	997.5835	997.5600
23	997.5363	997.5126	997.4887	997.4648	997.4408	997.4166	997.3924	997.3680	997.3436	997.3191
24	997.2944	997.2697	997.2449	997.2200	997.1950	997.1699	997.1446	997.1193	997.0939	997.0685
25	997.0429	997.0172	996.9914	996.9655	996.9396	996.9135	996.8873	996.8611	996.8347	996.8083
26	996.7818	996.7551	996.7284	996.7016	996.6747	996.6477	996.6206	996.5934	996.5661	996.5388
27	996.5113	996.4837	996.4561	996.4284	996.4005	996.3726	996.3446	996.3165	996.2883	996.2600
28	996.2316	996.2032	996.1746	996.1460	996.1172	996.0884	996.0595	996.0305	996.0014	995.9722
29	995.9430	995.9136	995.8842	995.8546	995.8250	995.7953	995.7655	995.7356	995.7056	995.6756
30	**995.6454**	995.6152	995.5848	995.5544	995.5239	995.4934	995.4627	995.4319	995.4011	995.3701
31	995.3391	995.3080	995.2768	995.2456	995.2142	995.1828	995.1512	995.1196	995.0879	995.0561
32	995.0243	994.9923	994.9603	994.9282	994.8960	994.8637	994.8313	994.7988	994.7663	994.7337
33	994.7010	994.6682	994.6353	994.6024	994.5693	994.5362	994.5030	994.4697	994.4364	994.4029
34	994.3694	994.3358	994.3021	994.2683	994.2345	994.2005	994.1665	994.1324	994.0982	994.0640
35	994.0296	993.9952	993.9607	993.9261	993.8915	993.8567	993.8219	993.7870	993.7521	993.7170
36	993.6819	993.6467	993.6114	993.5760	993.5406	993.5050	993.4694	993.4338	993.3980	993.3622
37	993.3263	993.2903	993.2542	993.2181	993.1818	993.1455	993.1092	993.0727	993.0362	992.9996
38	992.9629	992.9261	992.8893	992.8524	992.8154	992.7784	992.7412	992.7040	992.6668	992.6294
39	992.5920	992.5545	992.5169	992.4792	992.4415	992.4037	992.3658	992.3279	992.2899	992.2518
40	992.2136	992.1754	992.1371	992.0987	992.0602	992.0217	991.9831	991.9444	991.9057	991.8668

ตารางที่ 3 Units and fundamental Constants in Physics and Chemistry, Volume a: Units in Physics and Chemistry

t_{90}/°C	ρ_w/kgm^{-3}									
	+0,0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8	+0,9
0	999,8396	999,8463	999,8528	999,8591	999,8653	999,8713	999,8771	999,8827	999,8882	999,8935
1	999,8986	999,9035	999,9082	999,9128	999,9172	999,9214	999,9254	999,9293	999,9330	999,9365
2	999,9399	999,9431	999,9461	999,9490	999,9516	999,9542	999,9565	999,9587	999,9607	999,9625
3	999,9642	999,9657	999,9671	999,9682	999,9693	999,9701	999,9708	999,9713	999,9717	999,9719
4	999,9720	999,9718	999,9716	999,9711	999,9705	999,9698	999,9689	999,9678	999,9666	999,9652
5	999,9637	999,9620	999,9602	999,9582	999,9560	999,9537	999,9513	999,9486	999,9459	999,9430
6	999,9399	999,9367	999,9333	999,9298	999,9261	999,9223	999,9184	999,9143	999,9100	999,9056
7	999,9011	999,8964	999,8915	999,8865	999,8814	999,8761	999,8707	999,8651	999,8594	999,8536
8	999,8476	999,8415	999,8352	999,8288	999,8222	999,8155	999,8087	999,8017	999,7946	999,7873
9	999,7799	999,7724	999,7647	999,7569	999,7490	999,7409	999,7327	999,7244	999,7159	999,7073
10	999,6985	999,6896	999,6806	999,6714	999,6622	999,6527	999,6432	999,6335	999,6237	999,6137
11	999,6037	999,5934	999,5831	999,5726	999,5620	999,5513	999,5405	999,5295	999,5184	999,5071
12	999,4958	999,4843	999,4726	999,4609	999,4490	999,4370	999,4249	999,4127	999,4003	999,3878
13	999,3752	999,3624	999,3495	999,3366	999,3234	999,3102	999,2968	999,2834	999,2698	999,2560
14	999,2422	999,2282	999,2141	999,1999	999,1856	999,1712	999,1566	999,1419	999,1271	999,1122
15	999,0972	999,0820	999,0667	999,0513	999,0358	999,0202	999,0045	998,9886	998,9726	998,9566
16	998,9404	998,9240	998,9076	998,8911	998,8744	998,8576	998,8407	998,8237	998,8066	998,7894
17	998,7721	998,7546	998,7371	998,7194	998,7016	998,6837	998,6657	998,6476	998,6293	998,6110
18	998,5926	998,5740	998,5553	998,5365	998,5177	998,4987	998,4796	998,4604	998,4410	998,4216
19	998,4021	998,3824	998,3627	998,3428	998,3229	998,3028	998,2826	998,2623	998,2419	998,2214
20	998,2008	998,1801	998,1593	998,1384	998,1174	998,0963	998,0751	998,0537	998,0323	998,0108
21	997,9891	997,9674	997,9455	997,9236	997,9015	997,8794	997,8571	997,8348	997,8123	997,7898
22	997,7671	997,7443	997,7215	997,6985	997,6755	997,6523	997,6290	997,6057	997,5822	997,5586
23	997,5350	997,5112	997,4874	997,4634	997,4394	997,4152	997,3910	997,3666	997,3422	997,3176
24	997,2930	997,2683	997,2434	997,2185	997,1935	997,1683	997,1431	997,1178	997,0924	997,0669
25	997,0413	997,0156	996,9898	996,9639	996,9379	996,9118	996,8857	996,8594	996,8330	996,8066
26	996,7800	996,7534	996,7267	996,6998	996,6729	996,6459	996,6188	996,5916	996,5643	996,5369
27	996,5095	996,4819	996,4542	996,4265	996,3986	996,3707	996,3427	996,3146	996,2864	996,2581
28	996,2297	996,2012	996,1726	996,1440	996,1152	996,0864	996,0574	996,0284	995,9993	995,9701
29	995,9408	995,9115	995,8820	995,8525	995,8228	995,7931	995,7633	995,7334	995,7034	995,6733
30	995,6431	995,6129	995,5826	995,5521	995,5216	995,4910	995,4603	995,4296	995,3987	995,3677
31	995,3367	995,3056	995,2744	995,2431	995,2117	995,1803	995,1487	995,1171	995,0854	995,0536
32	995,0217	994,9897	994,9577	994,9255	994,8933	994,8610	994,8286	994,7962	994,7636	994,7310
33	994,6983	994,6654	994,6325	994,5996	994,5665	994,5334	994,5002	994,4669	994,4335	994,4000
34	994,3665	994,3329	994,2992	994,2654	994,2315	994,1976	994,1635	994,1294	994,0952	994,0609
35	994,0266	993,9922	993,9576	993,9231	993,8884	993,8536	993,8188	993,7839	993,7489	993,7138
36	993,6787	993,6434	993,6081	993,5728	993,5373	993,5018	993,4661	993,4304	993,3947	993,3588
37	993,3229	993,2869	993,2508	993,2146	993,1784	993,1421	993,1057	993,0692	993,0327	992,9961
38	992,9594	992,9226	992,8857	992,8488	992,8118	992,7747	992,7376	992,7004	992,6631	992,6257
39	992,5882	992,5507	992,5131	992,4755	992,4377	992,3999	992,3620	992,3240	992,2860	992,2479
40	992,2097									

ในการเลือกใช้ตารางใดนั้นๆ ขึ้นอยู่กับคุณเป็นผู้ตัดสินใจ แต่หากใช้เพื่อการคำนวณทางด้านมวลขอแนะนำใช้ตารางที่ 3

ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ (Absolute Viscosity of Water)

เนื่องจากในการสอบเทียบและตรวจสอบให้คำรับรอง ตลอดจนถึงการตรวจสอบสินค้าหีบห่อ เราได้ใช้น้ำเป็นตัวกลางและเป็นสารตัวกลางในการดำเนินการในแต่วิธีการดังกล่าวด้วยกันหลายกรณี ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญและจำเป็นอีกคุณสมบัติทางฟิสิกส์ประจำตัวของน้ำดังกล่าวคือ ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ (absolute viscosity or dynamic viscosity of water)

ความหนืด คือ คุณสมบัติของเหลวที่ไม่ยอมเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดของอนุภาคหรือการเรียงตัวของอนุภาคเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ในกรณีของเหลวมีการเคลื่อนที่คุณสมบัติดังกล่าวเรียก dynamic viscosity or absolute viscosity (μ) นั่นคือความต้านทานอันเกิดจากความเสียดทานภายในระหว่างชั้นของเหลวในแนวขนานกับการเคลื่อนที่

ในขณะเดียวกันเราเรียกค่าเศษส่วนกลับของ dynamic viscosity (μ) $1/\mu$ เรียกว่า "fluidity"

นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์อีกค่าหนึ่งที่จำเป็นต้องกล่าวถึง คือ kinemetic viscosity (ν) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนระหว่าง dynamic viscosity (μ) กับน้ำหนักจำเพาะของเหลว ρ

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

จากสมการข้างบนดังกล่าวเราจึงพบว่าหากเราทราบค่าความหนืดสมบูรณ์ของเหลว (absolute viscosity or dynamic viscosity) เราก็สามารถหาค่าความหนืด kinemetic viscosity (ν) ได้ หรือในทางกลับกัน

แต่เนื่องจากความหนืดของเหลวจะเป็นฟังก์ชั่นของความดัน (p) และอุณหภูมิ (T) หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าความหนืดของเหลวจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิของเหลวนั้นๆ รวมถึงน้ำด้วย นั้นเอง

$$\mu = f(p, T)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทั้งความดันและอุณหภูมิจึงล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

– อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความหนืด เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิได้ว่า

$$\mu = \mu_0 e^{-\beta(T-T_0)}$$

เมื่อ μ_0 = ความหนืดอ้างอิง (reference viscoscity)

β = ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด–อุณหภูมิคงที่ (constant viscosity–temperature coefficient)

T_0 = อุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature)

ในกรณีของเหลวรวมถึง น้ำ เราพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเหลวสูงมากขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดของเหลวลดลง อธิบายได้ว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเหลวมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในของเหลวจะมีความเร็วเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลแต่ละตัวอยู่ห่างกันมากขึ้นจึงทำให้ความหนืดของเหลวลดลง

แต่ในกรณีแก๊ส ปรากฏการณ์การถ่ายเทโมเมนต์ตัมระหว่างโมเลกุลมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง นั้นคือเมื่ออุณหภูมิของแก๊สสูงขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นโอกาสที่จะมีการกระทบกันระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้นและเกิดการรวมตัว (cohesion) กันระหว่างโมเลกุลของแก๊สหลังจากโมเลกุลชนกันก็มีมากขึ้น นั้นหมายถึงความหนืดของแก๊สจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

– อิทธิพลของความดันมีผลต่อความหนืด ทั้งของเหลวและแก๊สรวมถึงน้ำจะมีค่าความหนืดสูงมากขึ้นเมื่อความดันสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลถูกกดดันให้อยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ความดันและความหนืดจึงมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\mu = \mu_0 e^{\alpha p}$$

เมื่อ μ_0 = ความหนืดอ้างอิง (reference viscosity)

α = สัมประสิทธิ์ความดัน-ความหนืด (pressure-viscosity coefficient)

p = ความดัน

เมื่อเราทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของเหลวรวมทั้งน้ำแล้ว แต่ในบทนี้เราจะให้ความสนใจเฉพาะน้ำเท่านั้น ดังนั้นเราสามารถหาค่าความหนืดสมบูรณ์ของน้ำอยู่ในรูปของสมการจากสมการของ Hardy and Cottington (1949) และ Swindells (NBS) โดยกำหนดให้ความดันมีค่าคงที่และมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) จะได้ว่า

- **ถ้าอุณหภูมิของน้ำมีค่า $0^{\circ}C \le t\ (^{\circ}C) \le 20^{\circ}C$; P_{atm}**

$$\mu = 100 \times 10^{A} \quad cP \text{ (Centipoise)}$$

เมื่อ

$$A = \frac{1301}{\left[998.333 + 8.1855(t-20) + 0.00585(t-20)^2\right]} - 3.30233$$

t = อุณหภูมิ องศาเซลเซียส $^{\circ}C$

- **ถ้าอุณหภูมิของน้ำมีค่า $20^{\circ}C \le t\ (^{\circ}C) \le 100^{\circ}C$; P_{atm}**

$$\mu = \left(\mu \text{ at } 20\ ^{\circ}C\right) \times 10^{A} \qquad cP \text{ (Centipoise)}$$

เมื่อ

$$A = \frac{\left[1.3272(20-t) - 0.001053(t-20)^2\right]}{(t+105)}$$

t = อุณหภูมิ องศาเซลเซียส $^{\circ}C$

เมื่อ 1 Poise = 0.1 Pa.s

ตารางที่ 4 ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ หน่วย cP (Centipoise)

t (°C)	cP									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	1.7869	1.7808	1.7748	1.7688	1.7628	1.7569	1.7510	1.7451	1.7393	1.7335
1	1.7277	1.7219	1.7162	1.7105	1.7048	1.6992	1.6935	1.6880	1.6824	1.6769
2	1.6714	1.6659	1.6604	1.6550	1.6496	1.6443	1.6389	1.6336	1.6283	1.6231
3	1.6178	1.6126	1.6074	1.6023	1.5971	1.5920	1.5869	1.5819	1.5769	1.5718
4	1.5669	1.5619	1.5570	1.5520	1.5472	1.5423	1.5375	1.5326	1.5278	1.5231
5	1.5183	1.5136	1.5089	1.5042	1.4995	1.4949	1.4903	1.4857	1.4811	1.4766
6	1.4720	1.4675	1.4631	1.4586	1.4541	1.4497	1.4453	1.4409	1.4366	1.4322
7	1.4279	1.4236	1.4193	1.4151	1.4108	1.4066	1.4024	1.3982	1.3941	1.3899
8	1.3858	1.3817	1.3776	1.3735	1.3695	1.3655	1.3615	1.3575	1.3535	1.3495
9	1.3456	1.3417	1.3378	1.3339	1.3300	1.3262	1.3223	1.3185	1.3147	1.3109
10	1.3072	1.3034	1.2997	1.2960	1.2923	1.2886	1.2849	1.2813	1.2776	1.2740
11	1.2704	1.2668	1.2633	1.2597	1.2562	1.2527	1.2491	1.2457	1.2422	1.2387
12	1.2353	1.2318	1.2284	1.2250	1.2216	1.2183	1.2149	1.2116	1.2082	1.2049
13	1.2016	1.1983	1.1951	1.1918	1.1886	1.1853	1.1821	1.1789	1.1757	1.1726
14	1.1694	1.1663	1.1631	1.1600	1.1569	1.1538	1.1507	1.1477	1.1446	1.1416
15	**1.1385**	1.1355	1.1325	1.1295	1.1265	1.1236	1.1206	1.1177	1.1147	1.1118
16	1.1089	1.1060	1.1031	1.1003	1.0974	1.0946	1.0917	1.0889	1.0861	1.0833
17	1.0805	1.0777	1.0750	1.0722	1.0695	1.0668	1.0640	1.0613	1.0586	1.0559
18	1.0533	1.0506	1.0479	1.0453	1.0427	1.0400	1.0374	1.0348	1.0322	1.0297
19	1.0271	1.0245	1.0220	1.0194	1.0169	1.0144	1.0119	1.0094	1.0069	1.0044
20	**1.0019**	0.9996	0.9970	0.9946	0.9922	0.9897	0.9873	0.9849	0.9825	0.9801
21	0.9779	0.9756	0.9732	0.9709	0.9686	0.9662	0.9639	0.9616	0.9593	0.9571
22	0.9548	0.9525	0.9503	0.9480	0.9458	0.9436	0.9413	0.9391	0.9369	0.9347
23	0.9325	0.9303	0.9282	0.9260	0.9239	0.9217	0.9196	0.9174	0.9153	0.9132
24	0.9111	0.9090	0.9069	0.9048	0.9027	0.9007	0.8986	0.8965	0.8945	0.8925
25	0.8904	0.8884	0.8864	0.8844	0.8824	0.8804	0.8784	0.8764	0.8744	0.8725
26	0.8705	0.8685	0.8666	0.8647	0.8627	0.8608	0.8589	0.8570	0.8551	0.8532
27	0.8513	0.8494	0.8475	0.8456	0.8438	0.8419	0.8401	0.8382	0.8364	0.8346
28	0.8327	0.8309	0.8291	0.8273	0.8255	0.8237	0.8219	0.8201	0.8184	0.8166
29	0.8148	0.8131	0.8113	0.8096	0.8078	0.8061	0.8044	0.8027	0.8009	0.7992
30	**0.7975**	0.7958	0.7942	0.7925	0.7908	0.7891	0.7874	0.7858	0.7841	0.7825
31	0.7808	0.7792	0.7776	0.7759	0.7743	0.7727	0.7711	0.7695	0.7679	0.7663
32	0.7647	0.7631	0.7615	0.7600	0.7584	0.7568	0.7553	0.7537	0.7522	0.7506
33	0.7491	0.7475	0.7460	0.7445	0.7430	0.7415	0.7400	0.7385	0.7370	0.7355
34	0.7340	0.7325	0.7310	0.7295	0.7281	0.7266	0.7252	0.7237	0.7223	0.7208
35	0.7194	0.7179	0.7165	0.7151	0.7137	0.7122	0.7108	0.7094	0.7080	0.7066
36	0.7052	0.7038	0.7024	0.7011	0.6997	0.6983	0.6970	0.6956	0.6942	0.6929
37	0.6915	0.6902	0.6888	0.6875	0.6862	0.6848	0.6835	0.6822	0.6809	0.6796
38	0.6783	0.6770	0.6757	0.6744	0.6731	0.6718	0.6705	0.6692	0.6679	0.6667
39	0.6654	0.6641	0.6629	0.6616	0.6604	0.6591	0.6579	0.6566	0.6554	0.6542
40	0.6529	0.6517	0.6505	0.6493	0.6481	0.6469	0.6456	0.6444	0.6432	0.6421

*ที่ความดันบรรยากาศ

ตารางปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์

(International alcoholometric tables)

เป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก โดยเฉพาะคอสุราแล้ว หัวข้อนี้น่าจับตาอ่าน เนื่องจากเนื้อหาในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งบอกปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) หรือ ethanol หรือแอลกอฮอล์ที่เราดื่มกินได้ ที่ผสมอยู่ในน้ำ เป็นส่วนผสมน้ำกับแอลกอฮอล์ (Water/Alcohol mixture) หรือต่อไปนี้เรียก ส่วนผสมน้ำกับแอลกอฮอล์ อย่างย่อด้วยคำว่า "ส่วนผสม"

การบ่งบอกปริมาณดังกล่าวจะแสดงในรูปของ ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ (Alcoholic strengths) ซึ่งจะอยู่ในเทอมของปริมาตร (volume) และของมวล (mass) ด้วยนิยาม

ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของปริมาตร (Alcoholic strengths by volume) ของส่วนผสมน้ำกับแอลกอฮอล์ (Water/Alcohol mixture) คือ อัตราส่วนของปริมาตรแอลกอฮอล์ซึ่งถูกวัดที่อุณหภูมิ 20°C มีอยู่ในส่วนผสม ต่อปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม ซึ่งถูกวัดที่อุณหภูมิ 20°C ด้วยเช่นกัน สำหรับการแสดงค่าความเข้มจะแสดงในอยู่ในรูป จำนวนเปอร์เซนต์ปริมาตร (% Vol)

ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวล (Alcoholic strengths by mass) ของส่วนผสมน้ำกับแอลกอฮอล์ (Water/Alcohol mixture) คือ อัตราส่วนของมวลแอลกอฮอล์มีอยู่ในส่วนผสม ต่อมวลทั้งหมดของส่วนผสม การแสดงค่าความเข้มจะแสดงในอยู่ในรูป จำนวนเปอร์เซนต์มวล (% mass)

ขั้นตอนในการหาความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์เพื่อให้ได้มาซึ่งสัดส่วนของแอลกอฮอล์ โดยการอ่านค่าจากเครื่องวัด Alcoholmeter หรือ hydrometer หรือการชั่งน้ำหนักของ pycnometer ที่อุณหภูมิของส่วนผสม จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของส่วนผสม ดังนั้นเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้เพื่อหาความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ ได้แก่

- hydrometers ที่มีขีดขั้นหมายมาตราที่อุณหภูมิอ้างอิง 20°C โดยอาจอยู่ในหน่วยของความหนาแน่น เรียกว่า "hydrometers for alcohol" หรืออยู่หน่วยของความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของปริมาตร (Alcoholic strengths by volume) เรียกว่า "volume alcoholmeters" หรือความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวล (Alcoholic strengths by mass) เรียกว่า "mass alcoholmeters"

- Pycnometers

ตารางปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ (International alcoholometric tables) ที่จะกล่าวในที่นี้อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณ หรือผลจากการกระทำการวัดซึ่งกระทำโดย

1. D.I. MENDELEEV,
   N.S. OSBORNE, E.C. McKELVY and E.W. BEARCE
   (National Bureau of Standards) - UNITED STATES OF AMERICA
2. T. PLEBANKI and B. OGONOWSKA
   (Nation Bureau of Quality and Measures) - POLAND
3. T. KAWASAKI, Z. MINOWA and T. INAMATSU
   (Nation Research Laboratory of Metrology) - JAPAN
4. P. JAULMES, S. BRUN and Y. TEP
   (Montpellier Faculty of Pharmacy) - FRANCE
5. H. WAGENBRETH
   (Physikalisch - Technische Bundesanstalt) - FED. REP. GERMANY
6. L. NYKANEN
   (International Union of Pure and Applied Chemistry)

แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถคำนวณหาตารางปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ (International alcoholometric tables) ซึ่งเป็นส่วนผสมของ ethyl alcohol กับ น้ำ ด้วยสมการของ H. WAGENBRETH and W. BLANKE (Physikalisch - Technische Bundesanstalt) - FED. REP. GERMANY ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิขณะทำการวัดส่วนผสมของ ethyl alcohol กับน้ำอยู่ระหว่าง -20°C กับ +40°C คือ

$$\rho = A_1 + \sum_{k=2}^{12} A_k p^{k-1} + \sum_{k=1}^{6} B_k (t-20\,^{\circ}C)^k + \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m_i} C_{i,k} p^k (t-20\,^{\circ}C)^i$$

เมื่อ

ρ = ความหนาแน่นของส่วนผสมของ ethyl alcohol กับน้ำ; kg/m^3 ที่อุณหภูมิ t (°C) แสดงค่าได้ถึง 5 significant figures

p = ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวล (Alcoholic strengths by mass) แทนค่าในรูปของทศนิยม เช่น ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวลเท่ากับ 12% ดังนั้นแทนค่า $p = 0.12$ (น้ำกลั่น $p = 0$)

q = ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของปริมาตร (Alcoholic strengths by volume) แทนค่าในรูปของทศนิยม เช่น ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของปริมาตรเท่ากับ 12% ดังนั้นแทนค่า $q = 0.12$

t = อุณหภูมิขณะทำการวัดส่วนผสม ในหน่วย °C (I.P.T.S. 68)

$n = 5$

$m_1 = 11$

$m_2 = 10$

$m_3 = 9$

$m_4 = 4$

$m_5 = 2$

k	A_k kg/m^3
1	$9.982\,012\,300 \cdot 10^{2}$
2	$-1.929\,769\,495 \cdot 10^{2}$
3	$3.891\,238\,958 \cdot 10^{2}$
4	$-1.668\,103\,923 \cdot 10^{3}$
5	$1.352\,215\,441 \cdot 10^{4}$
6	$-8.829\,278\,388 \cdot 10^{4}$
7	$3.062\,874\,042 \cdot 10^{5}$
8	$-6.138\,381\,234 \cdot 10^{5}$
9	$7.470\,172\,998 \cdot 10^{5}$
10	$-5.478\,461\,354 \cdot 10^{5}$
11	$2.234\,460\,334 \cdot 10^{5}$
12	$-3.903\,285\,426 \cdot 10^{4}$

k	B_k kg/m^3
1	$-2.061\,851\,3 \cdot 10^{-1}$ kg/(m^3 • °C)
2	$-5.268\,254\,2 \cdot 10^{-3}$ kg/(m^3 • °C^2)
3	$3.613\,001\,3 \cdot 10^{-5}$ kg/(m^3 • °C^3)
4	$-3.895\,770\,2 \cdot 10^{-7}$ kg/(m^3 • °C^4)
5	$7.169\,354\,0 \cdot 10^{-9}$ kg/(m^3 • °C^5)
6	$-9.973\,923\,1 \cdot 10^{-11}$ kg/(m^3 • °C^6)

k	$C_{1,k}$ kg/(m^3• °C)
1	$1.693\,443\,461\,530\,087 \cdot 10^{-1}$
2	$-1.046\,914\,743\,455\,169 \cdot 10^{-1}$
3	$7.196\,353\,469\,546\,523 \cdot 10^{1}$
4	$-7.047\,478\,054\,272\,729 \cdot 10^{2}$
5	$3.924\,090\,430\,035\,045 \cdot 10^{3}$
6	$-1.210\,164\,659\,068\,747 \cdot 10^{4}$
7	$2.248\,646\,550\,400\,788 \cdot 10^{4}$
8	$-2.605\,562\,982\,188\,164 \cdot 10^{4}$
9	$1.852\,373\,922\,069\,467 \cdot 10^{4}$
10	$-7.420\,201\,433\,430\,137 \cdot 10^{3}$
11	$1.285\,617\,841\,998\,974 \cdot 10^{3}$

k	$C_{2,k}$ kg/(m^3• °C)
1	$-1.193\,013\,005\,057\,010 \cdot 10^{-2}$
2	$2.517\,399\,633\,803\,461 \cdot 10^{-1}$
3	$-2.170\,575\,700\,536\,993 \cdot 10^{0}$
4	$1.353\,034\,988\,843\,029 \cdot 10^{1}$
5	$-5.029\,988\,758\,547\,014 \cdot 10^{1}$
6	$1.096\,355\,666\,577\,570 \cdot 10^{2}$
7	$-1.422\,753\,946\,421\,155 \cdot 10^{2}$
8	$1.080\,435\,942\,856\,230 \cdot 10^{2}$
9	$-4.414\,153\,236\,817\,392 \cdot 10^{1}$
10	$7.442\,971\,530\,188\,783 \cdot 10^{0}$

k	$C_{3,k}$ kg/(m^3 • °C^3)
1	$-6.802\,995\,733\,503\,803 \cdot 10^{-4}$
2	$1.876\,837\,790\,289\,664 \cdot 10^{-2}$
3	$-2.002\,561\,813\,734\,156 \cdot 10^{-1}$
4	1.002 992 966 719 220
5	- 2.895 696 483 903 638
6	4.810 060 584 300 675
7	-4.672 147 440 794 683
8	2.458 043 105 903 461
9	$-5.411\,227\,621\,436\,812 \cdot 10^{-1}$

k	$C_{4,k}$ kg/(m^3 • °C^4)
1	$4.075\,376\,675\,622\,027 \cdot 10^{-6}$
2	$-8.763\,058\,573\,471\,110 \cdot 10^{-6}$
3	$6.515\,031\,360\,099\,368 \cdot 10^{-6}$
4	$-1.515\,784\,836\,987\,210 \cdot 10^{-6}$

k	$C_{5,k}$ kg/(m^3 • °C^5)
1	$-2.788\,074\,354\,782\,409 \cdot 10^{-8}$
2	$1.345\,612\,883\,493\,354 \cdot 10^{-8}$

พบว่าที่อุณหภูมิ 20°C นั้น เอธิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (pure ethyl alcohol) หรือ pure ethanol จะมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 789.24 kg/m^3

ตารางปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ (International alcoholometric tables) ตาม International Organization of Legal Metrology (OIML) ได้จัดทำตาราง

Table I: $\rho = \rho(p,t)$

Density as a function of the temperature and of the alcoholic strength by mass

interval : 1°C; 1% mass

temperature : from −20°C to +40°C

ใช้

$$\rho = A_1 + \sum_{k=2}^{12} A_k p^{k-1} + \sum_{k=1}^{6} B_k (t-20\,^{\circ}C)^k + \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m_i} C_{i,k} p^k (t-20\,^{\circ}C)^i$$

ด้วยเหตุนี้หากเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดทราบค่าความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวล (Alcoholic strengths by mass; p) เช่น ความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของมวลเท่ากับ 12% (แทนค่า p = 0.12 ลงในสมการ) เราก็จะทราบความหนาแน่นของเหล้าขวดนั้นแล้วครับแต่ถ้าเราทราบความเข้มของส่วนผสมแอลกอฮอล์ในเทอมของปริมาตร (Alcoholic strengths by volume; q) เราก็ใช้สูตรในตาราง **Table II:** ซึ่งการได้มาของตารางก็เริ่มยุ่งแล้วครับ

Table II: $\rho = \rho(q,t)$

Density as a function of the temperature and of the alcoholic strength by volume

interval : 1°C; 1% volume

temperature : from -20°C to +40°C

Table IIIa: $\rho_{20°C} = \rho_{20°C}(p)$

Density at 20°C as a function of the alcoholic strength by mass

interval : 0.1% mass

ใช้

$$\rho = A_1 + \sum_{k=2}^{12} A_k p^{k-1}$$

Table IIIb: $q = q(p)$

Alcoholic strength by volume as a function of the alcoholic strength by mass

interval : 0.1% mass

$$\rho = \frac{\rho_{20\,^{\circ}C}}{\rho_{20\,^{\circ}C}(100\%)} \times p$$

Table IVa: $\rho_{20°C} = \rho_{20°C}(q)$

Density at 20°C as a function of the alcoholic strength by volume

interval : 0.1% volume

Table IVb: $\mathbf{p = p(q)}$

Alcoholic strength by mass as a function of the alcoholic strength by volume

interval : 0.1% volume

Table Va: $\mathbf{p = p}(\rho_{20°C})$

Alcoholic strength by mass as a function of density at 20°C

interval : 0.1 kg/m^3

density : from 789.3 to 998.2 kg/m^3

Table Vb: $\mathbf{q = q}(\rho_{20°C})$

Alcoholic strength by volume as a function of density at 20°C

interval : 0.1 kg/m^3

density : from 789.3 to 998.2 kg/m^3

วิธีการหาค่าในตาราง **Table II, Table IVa, Table IVb, Table Va** และ **Table Vb** สามารถหาอ่านได้จาก เอกสาร International Alcoholometric Tables; OIML

ข้อมูลของมาตรวัดของเหลวที่ควรทราบ

(Flowmeter Specifications)

การเลือกใช้มาตรวัดของเหลวเพื่อใช้วัดปริมาณของเหลวด้วยวัตถุประสงค์ซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้า (Custody transfer measurement) ตามข้อกำหนดของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นมาตรวัดของเหลวที่นิยมใช้กันมากและเป็นที่ยอมรับดูจะมีด้วยกัน คือ มาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ (Turbine Flowmeters) และมาตรวัดชนิดชนิด PD. (Positive Displacement Flowmeters) แต่ก็มีอีกมาตรวัดของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่ดูเหมือนเริ่มเข้ามามีบทบาทแต่จะได้รับการยอมรับมากน้อยหรือไม่เพียงใดต้องคอยติดตามดูกันอีกทีหนึ่งคือมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters)

เรามักพบว่าข้อมูลรายละเอียดที่นำเสนอโดยผู้ผลิตมาตรวัดของเหลวแต่ละชนิดนั้นอาจแสดงหรือให้ข้อมูลที่อาจอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อที่เราจะได้ข้อมูลที่ถูกต้องสมบูรณ์และสามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติแต่ละรายการ เพื่อสามารถเลือกมาตรวัดที่ดีและเหมาะกับงานที่เราต้องการหรือในกรณีที่มีการติดตั้งมาตรวัดของเหลวในสถานที่แตกต่างกัน การที่จะได้ทราบข้อมูลที่ครบถ้วนก็ยิ่งสะดวกต่อการปฏิบัติงานรวมทั้งการซ่อมแซมบำรุงรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานกำกับดูแลความถูกต้องเที่ยงตรงของมาตรวัดของเหลวดังกล่าวที่ใช้วัดปริมาณของเหลวด้วยวัตถุประสงค์ซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้า (Custody transfer measurement) ยิ่งมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและติดตามผลการทำงานของมาตรวัดของเหลวนั้นว่ายังคงรักษาระดับความน่าเชื่อถือและให้ผลการวัดปริมาตรด้วยความเที่ยงตรงเพียงใด จึงได้สรุปตารางการนำเสนอข้อมูลรายละเอียดของมาตรวัดของเหลว (Flowmeter Specifications) ตามแบบฟอร์มสำหรับ Flow measurement instruments คือ ISA-S20-1981, Specification Forms for Process Measurement and Control Instrumentation, Primary Elements and Control Valves ของ Instrument Society of American (ISA) ในบทนี้

แต่อย่างไรก็ตาม ก็หาใช่จะกำหนดหรือเป็นข้อจำกัดในการนำเสนอข้อมูลที่ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่ายมาตรวัดของเหลว ผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่ายมาตรวัดของเหลวอาจต้องการนำเสนอข้อมูลอื่นๆ หากคิดว่าข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการทำงานของมาตรวัดของเหลว และในขณะเดียวกันผู้ที่ชำนาญงานหรือผู้ซื้อหรือผู้ใช้งานตลอดจนเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดเองก็อาจต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่อาจแตกต่างจากรายละเอียดที่ได้แสดงไว้ในบทนี้ก็ได้เช่นกัน

มาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ (Turbine Flowmeters)

รายละเอียดของมาตรวัดของเหลวชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ (Turbine Flowmeters) ให้เติมข้อมูลลงในรายละเอียดตามในแบบฟอร์มที่ 1 ตามคำแนะนำตามหมายเลขที่กำกับหน้าแต่ละหัวข้อดังนี้

1. ให้แสดงหมายเลขประจำตัว (Tag number) ของมาตรวัดเทอร์ไบน์ภายในโรงงานหรือโรงกลั่น หรือ Truck loading facilities เป็นต้น เช่น 101-FM-1003

2. บ่งบอกถึงการนำมาตรวัดเทอร์ไบน์เพื่อใช้วัดปริมาณของเหลวชนิดใด เช่น Benzene

3. ให้แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งในบริเวณของสถานที่นั้นๆ โดยจะบ่งบอกเป็นหมายเลขระบบท่อที่เท่าใด หรือหมายเลขสถานที่ที่ติดตั้ง เช่น หมายเลขระบบท่อ-DWG. No.-มาตรวัดตัวที่ เช่น 1013-230-FM 210

4. ขนาดของท่อที่มาตรวัดเทอร์ไบน์ติดตั้งในระบบท่อ

5. ให้ข้อมูลของข้อต่อของมาตรวัดเทอร์ไบน์ คือ ขนาดและชนิดของข้อต่อ เช่น 2 in. 150 lb ANSI หรือ Ø 2" 150#

6. Pressure and temperature design rating ที่ต้องการ

7. Nominal flow range จะได้จากข้อมูลของผลิต แสดงในค่าของ linear range of selected meter

8. การบ่งบอกค่าความแม่นยำ (accuracy) ของมาตรวัดเทอร์ไบน์ในเทอมของ percent of instantaneous flow rate

แบบฟอร์มที่ 1

มาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ (Turbine Flowmeters)				ISA S20	
	1	Tag Number			
	2	Service			
	3	Meter Location			
	4	Line Size			
	5	End Connections			
	6	Body Rating			
	7	Nominal Flow Range			
	8	Accuracy			
	9	Linearity			
	10	K Factor, Cycles per Vol. Unit			
	11	Excitation			
METER	12	Materials: Body			
	13	Support			
	14	Shaft			
	15	Flanges			
	16	Rotor			
	17	Bearings: Type			
	18	Bearing Material			
	19	Max. Speed			
	20	Min. Output Voltage			
	21	Pickoff Type			
	22	Enclosure Class			
	23				
	24	Fluid			
	25	Flow Rate: Min.	Max.		
	26	Normal Flow			
	27	Operating Pressure			
	28	Back Pressure			
FLUID DATA	29	Operating Temp. : Max.	Min.		
	30	Operating Specific Gravity			
	31	Viscosity Range			
	32	Percent Solids & Type			
	33				
	34	Secondary Instr. Tag No.			
	35	Preamplifier			
SCONDARY	36	Function			
INSTR.	37	Mounting			
	38	Power Supply			
	39	Scale Range			
	40	Output Range			
	41	Totalizer Type			
	42	Compensation			
OPTIONS	43	Preset Counter			
	44	Enclosure Class			
	45	Strainer Size & Mesh			
	46				
	47				
	48				
	49	Manufacturer			
	50	Meter Model No.			
	51	Secondary Instr. Model No.			
Notes:					
				ISA Form S20.24	

9. Degree of linearity ครอบคลุมตลอด nominal flow range
10. ค่า K-factor เป็นค่าที่มาตรวัดเทอร์ไบน์ให้ค่าเป็นจำนวนพัลซ์แรงดัน

ไฟฟ้าหลังจากวัดปริมาตรของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดเทอร์ไบน์ ซึ่งมาตรวัดเทอร์ไบน์จะมีตัวแปรจำนวนพัลซ์ดังกล่าวให้เป็นค่าปริมาตรต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลซ์แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นของมาตรวัดเมื่อทำการวัดของเหลวที่ไหลผ่านกับปริมาตรไหลผ่านมาตรวัดเทอร์ไบน์จริงวัดจากแบบมาตรา ดังนั้น

$$K - \text{factor} = \frac{n}{V}$$

เมื่อ n = จำนวนครั้งของพัลซ์ที่วัดได้จากมาตรวัดเทอร์ไบน์

V = ปริมาตรที่วัดได้จากแบบมาตรา (prover)

แต่เนื่องจากการที่จะนำค่าเคแฟคเตอร์ดังกล่าวนี้ไปใช้งานมักจะเป็นเรื่องค่อนข้างไม่สะดวก จึงได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ตัวใหม่ขึ้นมาเรียกว่า "มิเตอร์แฟคเตอร์ (Meter-factor)" มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/Pulse โดยมีค่าเท่ากับ

$$MF = \frac{1}{K - \text{factor}}$$

ดังนั้นเพื่อให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติเดียวกันจึงกำหนดความหมายมิเตอร์แฟคเตอร์ใหม่ คือ

$$MF = \frac{V_{pc}}{V_{mc}}$$

เมื่อ MF = มิเตอร์แฟคเตอร์มาตรฐาน (standard meter factor)

V_{pc} = ปริมาตรของเหลวภายในแบบมาตราแก้ไขค่าไปยังสภาวะมาตรฐาน (15°C หรือ 60°F, 0.0 psig)

V_{mc} = ปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัดแก้ไขค่าไปยังสภาวะมาตรฐาน (15°C หรือ 60°F, 0.0 psig)

11. เป็น Excitation modulating type ให้แสดงได้เฉพาะในรูปแบบ volts_____at_____hertz

12. ถึง 16. รายการวัสดุที่ใช้สร้างมาตรวัดเทอร์ไบน์ซึ่งผู้ผลิตจะต้องให้ข้อมูลดังกล่าวให้ชัดเจน หากมี International Standard ให้ใช้มาตรฐานดังกล่าว หากไม่มีก็ให้ใช้มาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต

17. ให้บ่งบอกชนิดแบริ่งว่า เป็นแบบ sleeve bearings, ball bearings หรือไม่มีแบริ่ง แต่เป็นแบบ floating rotor

18. ชนิดวัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง (bearings)

19. เป็นความเร็วรอบสูงสุด (Maximum speed) หรือความถี่สูงสุดที่มาตรวัดเทอร์ไบน์สามารถทำได้โดยมาตรวัดไม่ได้รับความเสียหาย เช่น ความเสียหายเชิงกลเป็นต้น

20. ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดจากมาตรวัดที่ผลิตออกมาเมื่อทำการวัดของเหลวเพื่อนำแรงดันดังกล่าวไปประมวลผลเพื่อหาอัตราการไหล ในรูปของ min. output voltage_____volts peak to peak

21. ชนิดตัวตรวจจับสัญญาณจากใบพัดเทอร์ไบน์ (pickoff) อาจเป็นชนิด standard hi-temp หรือ radio-frequency type(RF) หรือ explosion proof type

22. ลักษณะการแบ่งแยกโครงสร้างของทางไฟฟ้า (electrical classification of enclosure) ว่าเป็นชนิด General Purpose, Weather Proof, Explosion proof class I Div II เป็นต้น

23. อื่นๆ ถ้ามี และเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน

24. ชนิดของเหลวที่ต้องการวัดหรือที่ใช้มาตรวัดเทอร์ไบน์วัดอัตราการไหลอยู่

25. อัตราการไหลของของเหลวที่วัดได้สูงสุดและต่ำสุด

26. อัตราการไหลทำงานปกติที่ใช้อยู่

27. ความดันภายในระบบท่อซึ่งมาตรวัดเทอร์ไบน์ติดตั้งอยู่ที่อัตราการไหลทำงานปกติ (operating flowrate) และสามารถทำงานได้ปกติ

28. ความดันย้อนกลับ (backpressure) เป็นความดันด้านทางออกมาตรวัดเทอร์ไบน์ภายในระบบท่อที่มาดันหรืออั้นไว้ ซึ่งหากความดันย้อนกลับภายในระบบท่อสูงกว่าที่กำหนดอาจส่งผลให้มาตรวัดเทอร์ไบน์ทำงานผิดพลาดได้

29. อุณหภูมิของเหลวภายในระบบท่อซึ่งมาตรวัดเทอร์ไบน์ติดตั้งอยู่ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด โดยมาตรวัดเทอร์ไบน์สามารถทำงานได้ปกติ

30. ความถ่วงจำเพาะของเหลวที่มาตรวัดเทอร์ไบน์ทำการวัดที่อัตราการไหลทำงานปกติ (operating flowrate)

31. ช่วงความหนืดของเหลวที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ขณะทำการวัดด้วยมาตรวัดเทอร์ไบน์โดยยังคงให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในระดับที่น่าเชื่อถือและเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย

32. หากของเหลวเป็นของเหลวที่ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ก็ยิ่งดี แต่ถ้าหากมีสารแขวนลอยอยู่ให้ระบุว่ามาตรวัดเทอร์ไบน์ยังคงสามารถทำงานได้ถูกต้องหากมีส่วนประกอบของสารแขวนลอยอยู่ในจำนวนเปอร์เซนต์

33. อื่นๆ ถ้ามี และเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน

34. หาก Tag No. ของ secondary instrument ต่างจาก Tag No. ของมาตรวัดเทอร์ไบน์ ก็ให้ใส่ไว้ในช่องนี้

35. ระบุ Pre-amplifier ถ้ามีใช้

36. บ่งบอกหน้าที่ของเครื่องมือวัด (instrument) เช่น บ่งบอกว่า rate indicator, totalizer หรือ batch control

37. การติดตั้ง (mounting) แบบ flush, surface หรือ rack

38. แหล่งจ่ายพลังงานว่าใช้ไฟฟ้าชนิดใด เช่น 117 Vac หรือ 220 Vac

39. ในกรณีที่มี rate indicator ในหัวข้อ 36

40. ให้ค่าด้านทางออกของ instrument แสดงในรูปของ 40-20 mA หรือ 21-103 kPa (3-15 psig) เป็นต้น

41. แสดงค่าผลรวมการวัดปริมาตรทั้งหมดในรูปของตัวเลขดิจิตอล อีกทั้งให้บ่งบอกด้วยว่าเป็นชนิด reset type หรือ non-reset type

42. บ่งบอกช่วงจำเพาะของการชดเชยค่า (specify range of compensation) อาจเป็นช่วงการชดเชยค่าความดัน และ/หรือ อุณหภูมิ หรือหน่วยความหนืด

43. Pre-set counter

44. ให้บ่งบอก NEMA classification of enclosure

45. บ่งบอกขนาด strainer และขนาดตะแกรงภายใน strainer (mesh size) หากไม่ทราบให้ใช้ขนาด strainer และ mesh size ตามคำแนะนำของบริษัทที่ผลิต

46. ถึง 51. ให้ใส่ข้อมูลตามที่บริษัทให้มา

มาตรวัดชนิด PD. (Positive Displacement Flowmeters)

รายละเอียดของมาตรวัดชนิด PD. (Positive Displacement Flowmeters) ให้เติมข้อมูลลงในรายละเอียดตามในแบบฟอร์มที่ 2 ตามคำแนะนำตามหมายเลขที่กำกับหน้าแต่ละหัวข้อดังนี้

1. ให้แสดงหมายเลขประจำตัว (Tag number) ของมาตรวัดชนิด PD

2. Process Service บริการงานวัดของเหลวชนิดใด ในส่วนใดของระบบการทำงาน เช่น วัดปริมาตรในขั้นตอนการผลิต หรือใช้วัดด้วยวัตถุประสงค์ custody transfer

3. ให้แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งในบริเวณของสถานที่นั้นๆ โดยจะบ่งบอกเป็นหมายเลขระบบท่อที่เท่าใด หรือหมายเลข Vessel ใด

4. บ่งบอกชนิดของ rotating element เช่น disc, piston, van, helical, rotors เป็นต้น

5. ขนาดของท่อที่มาตรวัดชนิด PD ติดตั้งในระบบท่อ

6. ให้ข้อมูลของข้อต่อของมาตรวัดชนิด PD (end connections type) และ ANSI rating เช่น 300 lb, R.F. (Raised Face)

7. ให้บ่งบอกว่าผู้ผลิตมาตรวัดชนิด PD แนะนำให้ตัวเรือนมาตรวัดสามารถทนแรงดันและอุณหภูมิได้ (body pressure and temperature rating) เช่น 250 psi at 190°F

8. อัตราการไหลตามที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้งานที่สภาวะช่วงการทำงานปกติ (normal operating range)

9. หน่วยผลรวมที่เล็กที่สุด (smallest totalized unit) เช่น 10 m^3

10. ลักษณะการแบ่งแยกโครงสร้างของทางไฟฟ้า (electrical classification of enclosure) ว่าเป็นชนิด General Purpose, Weather Proof, Explosion proof Class I, Div II (Class 1, Group D., Div. 2) เป็นต้น

11. แหล่งจ่ายพลังงานว่าใช้ไฟฟ้าชนิดใด เช่น 117 Vac หรือ 220 Vac

แบบฟอร์มที่ 2

มาตรวัดชนิดชนิด PD. (Positive Displacement Flowmeters)			ISA S20
	1	Tag Number	
	2	Service	
	3	Line No./Vessel No.	
	4	Type of Element	
	5	Size	
	6	End Connections	
	7	Temp. & Press. Rating	
	8	Flow Rate Range	
	9	Totalized Units	
	10	Enclosure Class	
	11	Power Supply	
METER	12	Materials: Outer Housing	
	13	Main Body Cover	
	14	Rotating Element	
	15	Shaft	
	16	Blades	
	17	Bearings: Type & Material	
	18	Packing	
	19	Type of Coupling	
	20		
	21	Register Type	
	22	Totalizer	
COUNTER	23	Reset	
	24	Capacity	
	25	Set - Stop	
	26		
	27	Fluid	
	28	Flow Rate. :Min. :Max.	
FLUID DATA	29	Normal Flow	
	30	Operating Pressure Operating Temperature	
	31	Operating Specific Gravity	
	32	Operating Viscosity	
	33	Coefficient of Expansion	
	34	Flow Units	
	35	Shut-Off Valve	
	36	Switch: Single or 2-Stage	
	37	Temperature compensator	
	38	Transmitter Type	
OPTIONS	39	Transmitter Output	
	40	Air Eliminator	
	41	Strainer: Size & Mesh	
	42		
	43		
	44		
	45	Manufacturer	
	46	Model Number	
Notes:			
			ISA Form S20.25

12. ถึง 18. รายการวัสดุที่ใช้สร้างมาตรวัดชนิด PD ซึ่งผู้ผลิตจะต้องให้ข้อมูลดังกล่าวให้ชัดเจน หากมี International Standard ให้ใช้มาตรฐานดังกล่าว หากไม่มีก็ให้ใช้มาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต

19. ถึง 20. Type of coupling เช่น Magnetic หรือเป็นคุณลักษณะเฉพาะและมาตรฐานของผู้ผลิต

21. บ่งบอกชนิดของตัวบันทึกค่า (register type) เช่น horizontal, vertical, inclined, inline reading, dial reading, print เป็นต้น

22. แสดงจำนวนตัวเลขของส่วนแสดงค่าของตัวรวมผล (Totalizer) ว่าเป็น แบบ 6 ตัวเลข (digit), 5 ตัวเลข, หรือแสดงในลักษณะ 0-99 หรือ 0-999 หรือ 0-99999 เป็นต้น

23. ถ้า totallizer ต้องการ reset ต้องการให้เขียนบอกไว้ หาก totalizer ไม่สามารถ reset ได้ก็เขียนคำว่า "none"

24. เขียนจำนวนตัวเลข หรือปริมาณสูงสุดในหน่วยของการไหล ที่ counter สามารถแสดงได้

25. ให้เขียนคำว่า "yes" หาก set-stop ต้องการเพื่อ operate ตัว shutoff valve, switch หรืออื่นๆ เป็นต้น

27. ถึง 33. บ่งบอกคุณสมบัติของเหลวที่ใช้กับมาตรวัด PD ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้โดยคุณสมบัติของเหลวตั้งอยู่บนพื้นฐานที่สภาวะทำงาน (operating conditions) นอกจากนี้หากที่สภาวะทำงานของเหลวอยู่ในสภาวะ saturation conditions ต้องทำการบันทึกไว้ด้วยเช่นกัน

35. หากระบบวัดอัตราการไหลที่ใช้มาตรวัด PD ตัวนี้ต้องการ shutoff valve ให้เขียนคำว่า "yes" แต่ตัว shutoff valve ดังกล่าวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต หรือหากเป็นอย่างอื่นให้บันทึกไว้

36. หากระบบวัดอัตราการไหลที่ใช้มาตรวัด PD ตัวนี้ต้องการ Switch ให้เขียนคำว่า "yes" และบอกด้วยว่าเป็น 1 หรือ 2-stage shut-off control

37. ถ้าผู้ผลิตกำหนดให้มี temperature compensator ให้เขียนคำว่า "yes" หากไม่ให้เขียน "No"

38. หากระบบวัดอัตราการไหลที่ใช้มาตรวัด PD ตัวนี้ต้องการ transmitter ให้บ่งบอกด้วยว่าเป็นแบบใด เช่น pulse, rate of flow เป็นต้น

39. หากในข้อ 38. บ่งบอกว่ามีแล้ว ให้แสดงค่า transmitter output ว่ามีค่าในรูปของ pulse per cubic meter หรือ mA เป็นต้น

40. หากระบบวัดอัตราการไหลที่ใช้มาตรวัด PD ตัวนี้ต้องการ Air eliminator ให้เขียนคำว่า “yes” หากไม่ให้เขียน “No”

41. หากในข้อ 40. บ่งบอกว่ามีแล้ว ให้แสดงชนิดของ Strainer ว่าเป็นชนิด “Y”, “Basket” เป็นต้น ทั้งนี้ตัว Strainer ต้องสามารถทำงานภายใต้ช่วงความดันและอุณหภูมิและขนาดรวมทั้งชนิดข้อต่อ เช่นเดียวกับมาตรวัด PD และวัสดุของตัวเรือนเช่นเดียวกับตัวเรือนของมาตรวัด PD แต่ถ้าหากต่างจากตัวมาตรวัด PD ให้บันทึกไว้ด้วย

45. ถึง 46. ให้ใส่ข้อมูลตามที่บริษัทให้มา

มาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters)

รายละเอียดของมาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters) ให้เติมข้อมูลลงในรายละเอียดตามในแบบฟอร์มที่ 3 ซึ่งในเอกสารของ ISA นั้นยังไม่มีการยืนยันว่ามีหรือไม่ แต่อย่างน้อยสุดเราควรทราบข้อมูลของมาตรวัดดังกล่าวได้ดังนี้

แบบฟอร์มที่ 3

มาตรวัดมวลคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeters)		
Location		Spec. No.
Tag Number		
Quantity		
Service		
Manufacturer		
Model No.		
Service Conditions		
Fluid		
State		
Flow Min./Max.		
Temperature		
Pressure		
Specific Gravity or Density		
Viscosity		
Area Electrical Classification		
Flowmeter Element – Tag No.		
Size & End Connection		
Wetted Parts		
Mounting		
Pressure Drop & Max Flow		
Face to Face Dimension		
Flowmeter Transmitter – Tag No.		
Input Power		
Calibration		
Temperature Compensation		
Output Signal		
Accuracy		
Housing		
Cable Length		

Revision						
	5			Spec. By		
	4			Design Approval		
	3			Process Approval		
	2			Purchase Oder No.		
	1			Vendor		

เครื่องชั่งใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง

(Weighing Instrument for direct sale to the public)

เนื่องจากการวิวัฒนาการของเครื่องชั่งได้ดำเนินอย่างต่อเนื่องด้วยระยะเวลานาน การจำแนกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่มีใช้อยู่นั้นเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนอย่างยิ่ง ทั้งนี้ก็เพราะว่าการผลิตและหลักการทำงานของเครื่องชั่งแต่ละชนิดหรือแต่ละแบบนั้นได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีตลอดเวลา ในที่นี้เพื่อความเหมาะสมและเป็นไปตามระบบสากลเราจึงให้ความสนใจการจัดแบ่งเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติตามวัตถุประสงค์การใช้งานนั้นก็คือ ความที่ต้องการทราบค่าน้ำหนักสิ่งของที่ต้องการชั่งด้วยเครื่องชั่งหรือก็คือ "ผลการชั่งน้ำหนัก" นั้นเอง

สามารถแบ่งเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Non-Automatic Weighting Instruments) ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ด้วยกัน คือ

1. เครื่องชั่งที่แสดงค่าได้เอง หรือกึ่งแสดงค่าได้เอง (A Self-or Semi-Self-Indicating Instrument)
2. เครื่องชั่งที่แสดงค่าได้เองไม่ได้ (A Non-Self-Indicating Instrument)

แต่ในขณะเดียวกันก็อาจมี

- ❑ เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค (Electronic instrument)
- ❑ เครื่องชั่งที่มีส่วนแสดงค่าน้ำหนัก (Graduated instrument)
- ❑ เครื่องชั่งที่ไม่มีส่วนแสดงค่าน้ำหนัก (Non-graduated instrument)
- ❑ เครื่องชั่งที่มีมาตราส่วนราคา (Instrument with price scales)
- ❑ เครื่องชั่งที่คำนวณราคาได้ (Price-computing instrument)
- ❑ เครื่องชั่งพิมพ์ราคาได้ (Price-labeling instrument)
- ❑ เครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ (Multi-interval instrument)
- ❑ เครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งหลายช่วง (Multiple range instrument)
- ❑ เครื่องชั่งสองแขนเท่ากัน (Equal Arms)

- ❑ เครื่องชั่งแบบโรเบอร์วัลและเบแรงเงอร์ (Roberval and Beranger instruments)
- ❑ เครื่องชั่งแบบสตีลยาร์ด (Simply steelyards with sliding poises)
- ❑ เครื่องชั่งแบบแท่นชั่ง (Instruments of the steelyard type with accessible sliding poises)

ด้วยเหตุนี้หากส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องที่กล่าวมามีส่วนหนึ่งส่วนใดเป็นไปตามหรือหลักการทำงานตามข้อกำหนดของเครื่องเครื่องชั่งที่แสดงค่าได้เอง หรือกึ่งแสดงค่าได้เอง (A Self-or Semi-Self-Indicating Instrument) หรือเครื่องชั่งที่แสดงค่าได้เองไม่ได้ (A Non-Self-Indicating Instrument) ก็สามารถนำข้อกำหนดดังกล่าวมาใช้เสริมเพิ่มเติมได้ นอกจากนี้แล้วเรายังพบว่าใน OIML R76 ก็จะมีข้อกำหนดเสริมเพิ่มเติมเฉพาะเครื่องชั่งที่ได้กล่าวมาอีกด้วย

แต่ในที่นี้เราจะให้ความสนใจเฉพาะเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง (Weighing Instrument for direct sale to the public) ซึ่งเป็นไปตาม OIML R76 ซึ่งจะใช้กับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง II, III หรือ IIII ที่มีพิกัดกำลังสูงสุดไม่เกิน 100 กก. ตามที่ออกแบบไว้เพื่อใช้ในการซื้อขายโดยตรงต่อสาธารณะ แต่ในการที่จะกำหนดรายละเอียดเพิ่มเติมหรือพิจารณาว่าเครื่องชั่งใดควรจัดเป็นเครื่องชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงเพิ่มเติมจากที่แนะนำไว้ใน OIML R76 เพื่อให้เหมาะสมกับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่กำลังพัฒนานั้นก็ได้ขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรง สำหรับประเทศไทยนั้นหน่วยงานที่รับผิดชอบ โดยตรงในการกำหนดดูแลเครื่องชั่งตวงวัดและสินค้าหีบห่อเพื่อให้เป็นไปตามข้อ กำหนดของกฎหมาย พระราชบัญญัติชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542 ได้แก่ สำนักงานกลางชั่งตวงวัด (Central Bureau of Weights & Measures) นั่นเอง

เรามาทำความเข้าใจในบางมุมมองว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงว่านอกจากเครื่องชั่งเป็นไปตามข้อกำหนดตาม OIML R76 แล้วเราควรเน้นคุณสมบัติเฉพาะงานนี้ได้แก่

ชั้นความเที่ยงใดจึงเหมาะสม ?

เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุดในทางปฏิบัติ โดยพิจารณาถึงความเที่ยงตรงที่ยอมรับได้กับระดับราคาของเครื่องชั่งที่ผู้ประกอบการต้องจัดหามานั้นต้องไม่แพงมากจนเกินไป เพราะราคาของเครื่องชั่งจะมีราคาแพงมากน้อยขึ้นอยู่กับชั้นความเที่ยงและหลักการทำงาน เราพบว่าในหลายประเทศที่เจริญแล้วจะยอมให้ใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง (Weighing Instrument for direct sale to the public) เป็นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III เสียส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นเครื่องชั่งที่มีราคาพอที่ผู้ประกอบการสามารถจัดซื้อหามาเพื่อใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงได้ ในขณะที่ความแม่นยำของเครื่องชั่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีผลผิดสัมพันธ์ของการชั่งน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่ใช้ชั่งซื้อขายปลีกย่อยโดยทั่วไป อีกทั้งมูลค่าของสินค้าต่ออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่ยอมให้ได้ ณ ค่าน้ำหนักที่ทำการชั่งอยู่ในอัตราส่วนที่ยอมรับได้ แล้วมาดูซิว่าเครื่องชั่งมีการจัดชั้นความเที่ยง III และอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error) ที่ยอมให้มีได้สำหรับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III ดังในตารางที่ 3 (OIML R76) และตารางที่ 6 (OIML R76) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 (OIML R76-1)

ชั้นความเที่ยง	ค่าขั้นหมายมาตราตรวจจับรอง E	จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจจับรอง (n = Max/e) จำนวนต่ำสุด	จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจจับรอง (n = Max/e) จำนวนสูงสุด	พิกัดกำลังต่ำสุด (Min.) ไม่น้อยกว่า (Lower limit)
ชั้น II	0.001 ก. ≤ e ≤ 0.05 ก.	100	100 000	20e
	0.1 ก. ≤ e	5000	100 000	500e
ชั้น III	0.1 ก. ≤ e ≤ 2 ก.	100	10 000	20e
	5 ก. ≤ e	500	10 000	20e
ชั้น IIII	5 ก. ≤ e	100	1 000	10e

ตารางที่ 6 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก (Values of maximum permissible errors on initial verification) (OIML R76-1)

อัตรา	น้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)		
เผื่อเหลือเผื่อขาด	ชั้น II	ชั้น III	ชั้น IIII
±0.5 e	0 ≤ m ≤ 5000	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 50
±1.0 e	5000 < m ≤ 20 000	500 < m ≤ 2000	50 < m ≤ 200
±1.5 e	20 000 < m ≤ 100 000	2000 < m ≤ 10000	200 < m ≤ 1000

หมายเหตุ สังเกตว่าช่วงน้ำหนักใช้ทดสอบ (m) แสดงในหน่วยของค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) ของแต่ละชั้นความเที่ยงจะต่างกันอยู่เท่ากับ 10 เท่า

แต่ถ้าหากมีความต้องการใช้เครื่องชั่งให้ละเอียดมากขึ้น หรือชั้นความเที่ยงสูงขึ้นนั้นเป็นคำถามที่ย้อนกลับไปว่าเรายอมให้สินค้าที่ต้องการชั่งสามารถผิดไปในทางมากกว่าหรือทางน้อยกว่าจากจำนวนที่ต้องการเป็นจำนวนเท่าใด จากนั้นเราจึงจะสามารถกำหนดหาชั้นความเที่ยงได้ต่อไป รวมทั้งกำหนดประเภทและชนิดของเครื่องชั่งโดยคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ลักษณะการทำงานต้องใช้แหล่งพลังงานจากภายนอกเครื่องชั่งหรือไม่ ตัวสินค้าเป็นแบบแห้งหรือเปียกติดไฟได้ง่ายหรืออาจระเบิดได้หรือไม่ ราคาของเครื่องชั่งแพงหรือถูกเมื่อซื้อมาใช้งานจะคุ้มทุนหรือไม่ พกพายกหรือเคลื่อนย้ายสะดวกหรือไม่ เครื่องชั่งต้องการเอาใจใส่ดูแลรักษามากน้อยเพียงใด มีความละเอียดอ่อนและต้องใช้ความรู้มากน้อยเพียงใดในการใช้เครื่องชั่ง เป็นต้น

การพิจารณาเลือกชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติมีหลักพิจารณาง่าย ๆ ที่ว่า

1. กำหนดว่าสินค้าที่เราต้องการชั่งยอมให้มีผลผิดได้เท่าไหร่ ทั้งผลผิดฝ่ายมากและผลผิดฝ่ายน้อยจากค่าน้ำหนักที่ต้องการ

2. เลือกเครื่องชั่งที่มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อย ($\mathbf{MPE_{WI}}$) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 3 ของผลผิดสินค้าที่ยอมรับได้ ($\mathbf{MPE_{SMT}}$)

3. เตรียมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีชั้นความเที่ยงที่มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (MPE_{STD}) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

สรุปในรูปของสมการได้ว่า

$$MPE_{WI} \leq \frac{1}{3} MPE_{SMI}$$

$$MPE_{STD} \leq \frac{1}{3} MPE_{WI}$$

ซึ่งถ้าหากค่า 1/3 เปลี่ยนเป็น 1/4 หรือ 1/5 ยิ่งมีค่าน้อยลงยิ่งดี แต่เครื่องชั่งก็ยิ่งมีราคาสูงขึ้นเพราะมีชั้นความเที่ยงสูงขึ้น หรือมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวเข้ามาทำให้ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีกเช่นกัน

จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n = Max/e) จำนวนสูงสุดที่ควรได้ ?

เมื่อมาถึงจุดนี้เราจึงมาพิจารณาเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III โดยเฉพาะพบว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงนั้นควรมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุด (n_{max}) ไม่ควรเกิน 6,000 ช่อง

$$n \leq 6{,}000$$

จากตารางที่ 3 (OIML R76) นั้นกำหนดให้เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III สามารถมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุดถึง 10,000 ช่อง แต่หากพิจารณาถึงความเป็นจริงและความน่าเชื่อถือของเครื่องชั่งแล้ว หากเครื่องชั่งเป็นเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคที่ใช้โหลดเซลเพื่อใช้ในการวัดน้ำหนักในส่วนชั่งน้ำหนัก เราจะต้องคำนึงถึง dead load เช่น ถาดรองรับน้ำหนักหรือคานส่งถ่ายแรงจากถาดรองรับน้ำหนักต่างๆ ที่โหลดเซลต้องรับภาระก่อนที่จะเริ่มต้นการชั่งที่น้ำหนักเท่ากับศูนย์เพื่อให้ผลการชั่งของเครื่องชั่งน่าเชื่อถือและให้ผลการชั่งสม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาทำการชั่ง ดังนั้นเราจึงลดจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุด 10,000 ช่อง เหลือเพียง 6,000 ช่อง โดยยอมให้โหลดเซลต้องรับภาระ dead load เท่ากับ 4,000 ช่อง และสามารถชั่งน้ำหนัก (live load) ได้ 6,000 ช่องนั้นเอง

แต่อย่างไรก็ดี หากผู้ผลิตเครื่องชั่งสามารถแสดงได้ว่าได้ใช้โหลดเซลซึ่งมีจำนวนขั้นหมายมาตราตาม OIML R61 ได้มาตรฐานเท่ากับหรือสูงกว่าโหลดเซลที่ควรเลือกใช้กับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III แล้ว เราอาจสามารถเลือกหรือขยับมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองจากไม่ควรเกิน 6,000 ช่อง ได้มากกว่านี้บางเล็กน้อยแต่ต้องไม่เกิน 70% ของจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุด 10,000 ช่อง (เป็นความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน) แต่ถ้าหากถามว่าสามารถยอมให้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุด 10,000 ช่อง ได้หรือไม่ ก็ขอตอบว่าได้เนื่องจากยอมรับว่า OIML R76 เป็นที่ยอมรับในระดับสากล แต่ถ้าหากประเทศไทยจะกำหนดจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองสูงสุดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงลดลงให้เหลือ 6,000 ช่อง ก็สามารถกระทำได้และน่าจะดีกว่าด้วย

ข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ควรมีสำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง

นอกจากเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้เพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ OIML R76 แล้ว เครื่องชั่งดังกล่าวยังถูกเน้นในคุณสมบัติอื่นๆ อีก ดังต่อไปนี้

1. ส่วนแสดงค่าหลัก (Primary indications) ส่วนแสดงค่าหลักของเครื่องชั่งสำหรับใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงต้องแสดงผลการชั่งและข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งการแสดงค่าศูนย์ที่ถูกต้อง, สภาวะการทำงานของส่วนทดน้ำหนัก (tare device) และส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้า (preset tare device)

2. ส่วนตั้งศูนย์ (Zero-setting device) เครื่องชั่งสำหรับใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงต้องไม่ประกอบด้วยส่วนตั้งศูนย์ไม่อัตโนมัติ ยกเว้นเป็นการสั่งให้ส่วนตั้งศูนย์ไม่อัตโนมัติทำงานด้วยเครื่องมือเฉพาะเท่านั้น

สำหรับส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล ต้องมีผลผิดของส่วนตั้งศูนย์ (zero setting error) ไม่เกิน ± 0.25e

ผลกระทบการทำงานทั้งหมดของส่วนตั้งศูนย์และส่วนรักษาศูนย์ต้องไม่เกิน 4% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง

3. ส่วนทดน้ำหนัก (Tare device)

เครื่องชั่งแบบกลไกที่ประกอบด้วยส่วนรับน้ำหนักต้องไม่มีส่วนทดน้ำหนัก

เครื่องชั่งแบบแท่นชั่งเดียวอาจมีส่วนทดน้ำหนักได้ถ้าหากทำให้ผู้ซื้อสามารถมองเห็น

- ส่วนทดน้ำหนักกำลังถูกใช้งานอยู่หรือไม่ และ
- การตั้งค่าของส่วนทดน้ำหนักได้มีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่

ให้ส่วนทดน้ำหนักสามารถทำงานได้เพียงส่วนเดียวเท่านั้น เมื่อเครื่องชั่งยังคงทำงานอยู่

หมายเหตุ ข้อกำหนดการใช้งานนี้รวมถึงต้องเป็นไปตามข้อกำหนด 4.14.3.2 ย่อหน้าที่ 2 (OIML R76)

เครื่องชั่งต้องไม่ประกอบด้วยส่วนซึ่งสามารถเรียกค่าน้ำหนักรวม (Gross vale) ขณะที่มีส่วนทดน้ำหนัก หรือส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้าทำงานอยู่

3.1 ส่วนทดน้ำหนักไม่อัตโนมัติ (Nonautomatic tare device) ระยะการเคลื่อนที่ 5 มม.ของจุดควบคุมควรมีค่าเท่ากับ 1 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง

3.2 ส่วนทดน้ำหนักกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic tare device) เครื่องชั่งอาจประกอบด้วยส่วนทดน้ำหนักกึ่งอัตโนมัติ ถ้า

- การทำงานของส่วนทดน้ำหนักต้องไม่ยอมให้มีการลดค่าของน้ำหนักที่ทดไว้ และ
- ผลของการทดน้ำหนักสามารถถูกยกเลิกได้ก็ต่อเมื่อไม่มีน้ำหนักบนส่วนรับน้ำหนักเท่านั้น

นอกจากนี้ เครื่องชั่งต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างน้อย 1 ข้อของข้อกำหนดต่อไปนี้

1. ค่าน้ำหนักทดต้องถูกแสดงอย่างถาวรบนส่วนแสดงค่าน้ำหนักทด ซึ่งแยกออกมาจากการแสดงค่าน้ำหนักชั่งอย่างชัดเจน

2. ค่าน้ำหนักทดต้องถูกแสดงด้วยเครื่องหมายลบ ("–") เมื่อไม่มีน้ำหนักใดๆ บนส่วนรับน้ำหนัก หรือ

3. ผลของการทำงานของส่วนทดน้ำหนักถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติ และส่วนแสดงค่ากลับมาแสดงค่าศูนย์เมื่อไม่มีน้ำหนักบนส่วนรับน้ำหนักหลังการแสดงผลการชั่งที่น้ำหนักสุทธิมากกว่าศูนย์

3.3 ส่วนทดน้ำหนักอัตโนมัติ (Automatic tare device) เครื่องชั่งต้องไม่ประกอบด้วยส่วนทดน้ำหนักอัตโนมัติ

4. ส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้า (Preset tare device) อาจมีส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้าได้ถ้ามีการแสดงค่าน้ำหนักทดที่ตั้งไว้ล่วงหน้าบนส่วนแสดงค่าน้ำหนักหลักในส่วนของจอซึ่งแยกแสดงผลแตกต่างออกจากผลการชั่งอย่างชัดเจน และเป็นไปตามข้อกำหนด 4.14.3.2 วรรคแรก (OIML R76)

ส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้าต้องไม่สามารถทำงานได้ขณะที่ส่วนทดน้ำหนักกำลังทำงานอยู่

เมื่อส่วนกำหนดน้ำหนักทดล่วงหน้าประกอบด้วย price look up; PLU ค่าน้ำหนักทดล่วงหน้าอาจถูกยกเลิกพร้อมกับการยกเลิก price look up; PLU

5. การห้ามชั่ง (Impossibility of weighing) ต้องไม่สามารถทำการชั่งหรือกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนแสดงค่า (indicating element) ระหว่างเครื่องชั่งอยู่ในตำแหน่งล็อคปกติ หรือระหว่างการทำงานเพิ่มหรือลดน้ำหนักตามปกติ

6. การมองเห็น (Visibility) ส่วนแสดงค่าหลักทุกส่วนต้องแสดงผลการชั่งแก่ผู้ซื้อและผู้ขายให้เห็นพร้อมๆ กันอย่างชัดเจน สำหรับเครื่องชั่งที่มีส่วนแสดงค่าหลักแบบดิจิตอล ตัวเลขหรือสัญลักษณ์สำหรับการแสดงค่าผลการชั่งต้องมีขนาดสัดส่วนเท่ากันทั้งด้านที่แสดงแก่ผู้ซื้อและผู้ขาย และต้องสูงอย่างน้อย 10 มม. ± 0.5 มม.

สำหรับเครื่องชั่งซึ่งใช้ตุ้มน้ำหนักประกอบการชั่ง ต้องแสดงค่าของตุ้มน้ำหนักดังกล่าวอย่างชัดเจน

เมื่อผู้ซื้อยกสินค้าออกจากส่วนรองรับหรือถาดรับน้ำหนัก ค่าผลการชั่งน้ำหนักรวมทั้งราคาต่อหน่วยและราคาทั้งหมดที่ต้องจ่ายต้องยังคงแสดงผลค้างไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งหลายวินาทีที่เพียงพอต่อผู้ซื้อจะสามารถอ่านผลดังกล่าวได้ครบ

7. ส่วนแสดงช่วยเสริมและส่วนแสดงผลขยาย (Auxiliary and extended indicating devices) เครื่องชั่งต้องไม่ประกอบด้วยทั้งส่วนแสดงช่วยเสริม (Auxiliary indicating device) และส่วนแสดงผลขยาย (Extending indicating device)

8. อัตราส่วนการนับ (Counting ratio) อัตราส่วนการนับของเครื่องชั่งที่มีการนับค่าแบบกลไก (a mechanical counting instrument) ต้องมีค่าเท่ากับ 1/10 หรือ 1/100

9. หากเครื่องชั่งสำหรับใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรงมีส่วนแสดงราคา (Additional requirements for an instrument for direct sales to the public with price indication) ข้อกำหนดต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดเสริมเพิ่มเติม

9.1 การแสดงค่าหลัก (Primary indications) สำหรับเครื่องชั่งที่แสดงราคาได้ (a price-indicating instrument) การแสดงเสริมเพิ่มเติมการแสดงค่าหลัก (the supplementary primary indications) มีได้ คือ การแสดงราคาต่อหน่วย และจำนวนเงินที่ต้องจ่าย และอาจเป็นไปได้ที่จะมีการแสดงจำนวน, ราคาต่อหน่วย และจำนวนเงินที่ต้องจ่ายสำหรับสินค้าประกอบอื่นๆ ที่ยังไม่มีการชั่ง, ราคาของสินค้าประกอบอื่นๆ ที่ยังไม่มีการชั่งและราคารวมทั้งหมด ในส่วนของกราฟแสดงราคาสินค้าไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดนี้

9.2 เครื่องชั่งที่คำนวณราคาได้ (Price computing instrument) จำนวนเงินที่ต้องจ่ายที่ได้จากการคำนวณจากการคูณน้ำหนักที่ชั่งได้กับราคาต่อหน่วยและถูกปัดเศษให้ใกล้เคียงกับขั้นหมายมาตราราคาที่ต้องจ่ายที่ใกล้ที่สุด โดย

การคำนวณต้องนำค่าน้ำหนักและราคาต่อหน่วยตามที่แสดงไว้โดยเครื่องชั่ง ส่วนที่ทำการคำนวณไม่ว่าในกรณีใดๆ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องชั่ง

ขั้นหมายมาตราราคาที่ต้องจ่ายต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดและกฎหมายของแต่ละประเทศนั้นๆ ต่อไป

ราคาต่อหน่วยต้องแสดงราคาในรูป ราคาต่อ 100 ก. หรือ ราคาต่อ 1 กก.

เมื่อเปลี่ยนภาระน้ำหนักบนเครื่องชั่งโดยผู้ซื้อหรือผู้ขายยกสินค้าออกจากเครื่องชั่งแล้ว เครื่องชั่งต้องแสดงผลการชั่งก่อนหน้านี้ด้วยช่วงระยะเวลานานกว่า 1 วินาที แล้วการแสดงค่าน้ำหนัก, ราคาต่อหน่วย และจำนวนเงินที่ต้องจ่ายต้องยังคงแสดงให้เห็นอยู่หลังจากการแสดงค่าน้ำหนักแสดงค่าคงที่เสถียรภาพแล้ว และแม้หลังจากทำการป้อนค่าราคาต่อหน่วยและขณะที่สินค้าอยู่บนส่วนรับน้ำหนักก็ต้องแสดงค่าค้างไว้อย่างน้อยสุด 1 วินาที

นอกจากเมื่อเปลี่ยนภาระน้ำหนักบนเครื่องชั่งโดยผู้ซื้อหรือผู้ขายยกสินค้าออกจากเครื่องชั่งแล้ว เครื่องชั่งต้องแสดงผลการชั่งก่อนหน้านี้ด้วยช่วงระยะเวลานานกว่า 1 วินาที หรือการแสดงค่านี้อาจยังคงแสดงค่าอยู่ไม่เกิน 3 วินาที หลังจากเอาของที่ชั่งออกไป ถึงแม้ว่าการแสดงค่าน้ำหนักได้อยู่ในสภาวะเสถียรอยู่ก่อนแล้วและเป็นการแสดงค่าศูนย์ ตราบที่มีการแสดงค่าน้ำหนักหลังจากเอาของที่ชั่งออกไปแล้วการที่ป้อนหรือเปลี่ยนค่าราคาต่อหน่วยใหม่ต้องกระทำไม่ได้

หากมีการซื้อขายด้วยการแสดงผลการชั่งของเครื่องชั่งด้วยการพิมพ์ข้อมูลจากเครื่องชั่งที่ต้องถูกพิมพ์แสดงไว้ ได้แก่ ค่าน้ำหนัก, ราคาต่อหน่วย และจำนวนเงินรวมที่ต้องจ่าย

ถ้าหากเครื่องชั่งถูกออกแบบให้สามารถเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของเครื่องชั่งก่อนทำการพิมพ์ ข้อมูลดังกล่าวต้องไม่สามารถถูกส่งไปยังส่วนพิมพ์ค่าเพื่อทำการพิมพ์บนตั๋วสำหรับลูกค้าซ้ำอีกในครั้งถัดไป

เครื่องชั่งที่สามารถพิมพ์ป้ายหรือแถบแสดงราคาได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด 4.17 (OIML R76) ด้วย

9.3 เครื่องชั่งสำหรับบริการตนเอง (Self-service instrument)

เครื่องชั่งสำหรับบริการตนเองไม่จำเป็นต้องมีส่วนแสดงค่าผลการชั่งจำนวน 2 ส่วน หรือหน้าปัด ถ้าหากเครื่องชั่งสามารถพิมพ์ผลการชั่งด้วยตั๋วหรือแถบกระดาษ การแสดงผลหลักต้องครอบคลุมถึงเวลาที่ทำการใช้เครื่องชั่งด้วยชนิดสินค้าที่แตกต่างกัน

และในตอนท้ายสุดเพื่อเป็นการย้ำเตือนในที่นี้ว่า คุณสมบัติของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติใช้ชั่งเพื่อการซื้อขายต่อสาธารณะโดยตรง (Weighing Instrument for direct sale to the public) ที่ได้กล่าวทั้งหมดในส่วนนี้แล้วเครื่องชั่งต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ใน OIML R76 หากพบว่ามีชิ้นส่วน หรือหลักการทำงานใด หรืออื่นๆ ก็ให้นำข้อกำหนดของ OIML R76 เข้ามาประยุกต์ใช้งานได้ทันที

สามารถอ่านรายละเอียดและเนื้อหาของ OIML R76 ในฉบับแปลเป็นภาษาไทยได้ในหนังสือ **"การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighing Instruments)"** วีระศักดิ์, โสภณ, สาธิต

การเลือกเครื่องชั่งที่เหมาะสม กับการบรรจุสินค้าหีบห่อ ในหน่วยน้ำหนัก

เมื่อวิถีการดำเนินชีวิตของสังคมเมืองเปลี่ยนแปลงไป การเร่งรีบและความสะดวกรวดเร็วของการขนส่งสินค้า รูปแบบของการเสนอสินค้าเพื่อการซื้อขาย การเก็บรักษาคุณค่าทางอาหารและการเก็บรักษาอาหารได้ยาวนานมากขึ้น ความสะดวกต่อการบริโภคสินค้า ความจูงใจในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ด้วยมุ่งหวังทางการตลาด และปัจจัยอื่นๆ ล้วนเป็นตัวผลักดันให้การผลิตสินค้าในรูปแบบของสินค้าหีบห่อเพื่อตอบสนองความต้องการกับวิถีชีวิตดังกล่าว และนับวันยิ่งเพิ่มบทบาทสูงขึ้นทุกวัน

งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) ซึ่งได้ครอบคลุมสินค้าหีบห่อในเทอมของปริมาณการบรรจุสุทธิของสินค้าหีบห่อจึงมีบทบาทเพิ่มสูงมากขึ้นตามเงากับการพัฒนารูปแบบการบรรจุสินค้าหีบห่อไปด้วยเช่นกัน

การตรวจสอบสินค้าหีบห่อจึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการตรวจสอบสินค้าตามชนิดและรูปแบบของการบรรจุสินค้าหีบห่อ เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบว่าสินค้าหีบห่อดังกล่าวนั้นบรรจุสินค้าได้ครบตามปริมาณสุทธิที่ได้บ่งบอกไว้บนตัวสินค้าหีบห่อ ในหน่วยของน้ำหนัก (มาตราชั่ง), ปริมาตร (มาตราตวง), ความยาว (มาตราวัด) และหน่วยจำนวนนับ

การพัฒนาบุคคลากรให้มีความรู้ความสามารถเข้าใจถึงวิธีการตรวจสอบและสามารถเข้าไปพูดคุยทำความเข้าใจให้กับผู้ประกอบการเพื่อขอความร่วมมือในการบรรจุสินค้าให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและจำเป็นอันดับหนึ่งสำหรับภาครัฐ

เนื่องจากตามชื่อเรียก “สินค้าหีบห่อ” นั้น คือ สินค้าที่ได้บรรจุหรือมีสิ่งหุ้มห่อซึ่งเจตนาจะซื้อ ขาย หรือจำหน่ายกันตามปริมาณที่บรรจุหรือหุ้มห่อไว้นั้น

ไม่ว่าจะซื้อ ขายหรือจำหน่ายส่งที่ใช้บรรจุหรือหุ้มห่อด้วยหรือไม่ก็ตาม (นิยามตาม พ.ร.บ. ชั่งตวงวัด 2542) เนื่องจากสินค้าอยู่ในรูปแบบของหีบห่อเป็นสัดเป็นส่วนภายในรูปแบบภาชนะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดสินค้าเพื่อสะดวกและง่ายต่อการพกพาหรือยกขนย้ายด้วยคนคนเดียวนั้นเอง ดังนั้นแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นข้อถกเถียงขอบเขตของงานสินค้าหีบห่อว่าควรจะมีขอบเขตมากน้อยเพียงใด ในที่นี้ขอเพียงพูดและแยกออกเป็น 2 รูปแบบในแนวทางคิด แต่แท้ที่จริงแล้วล้วนมีความสัมพันธ์ที่แยกกันออกยาก คือ

1. ชนิดสินค้าหีบห่อที่ต้องการกำกับดูแล ในบางประเทศซึ่งมีการพัฒนาแล้วสินค้าหีบห่อมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบและแถบทุกชนิดจะมีความสำคัญและจำเป็น อีกทั้งจำเป็นที่ต้องการได้รับการคุ้มครองจากรัฐเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี ดังนั้นการกำกับดูแลจะครอบคลุมสินค้าหีบห่อแทบทุกชนิดก็ว่าได้ ในบางประเทศก็อาจมีแนวความคิดว่าเลือกเอาสินค้าเฉพาะที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตก็เพียงพอ บางประเทศอาจไม่มีกำลังเจ้าหน้าที่เพียงพอก็อาจกำหนดไว้เพียงไม่กี่ชนิด บางประเทศก็ไม่มีการกำหนดหรือต้องการดูแลสินค้าหีบห่อเลยก็ได้ แต่ถ้ามีปัญหาก็จัดการกันครั้งหนึ่งเป็นเรื่องๆๆ ก็ว่าได้ จึงขึ้นอยู่กับขีดความสามารถและความต้องการของประเทศนั้นๆ สำหรับประเทศไทยได้กำหนดไว้ 50 รายการตามบัญชีท้ายประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดชนิดและวิธีการแสดงปริมาณของสินค้าหีบห่อ พ.ศ. 2543 ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้ ให้หาอ่านเอาเองดีกว่า

2. ขนาดปริมาณสุทธิที่ต้องการกำกับดูแล ในเรื่องดังกล่าวนี้พอแบ่งย่อยลงไปใน 2 แนวความคิด คือ

- **การกำหนดขนาดปริมาณสุทธิสินค้าหีบห่อ** เป็นการกำหนดว่าสินค้าชนิดใดต้องทำการบรรจุที่ปริมาณสุทธิเท่าใด ยกตัวอย่างเช่น ผู้ผลิตน้ำปลาต้องการขายน้ำปลาก็ต้องบรรจุสินค้าของตัวเองได้ที่ขนาดการบรรจุเท่ากับ 200, 250, 300, 350, 500, 530, 600 และ 700 CC (ซ.ม.^{3}) เท่านั้น แต่ในเวลาเดียวกันหากการบรรจุน้ำปลามีขนาดการบรรจุน้อยกว่า 200 และ/หรือมากกว่า 700 CC (ซ.ม.^{3}) ก็ได้ไม่ว่ากัน คือ ไม่มีการกำกับดูและจากหน่วยงานของรัฐแต่อย่างใด ดังนั้นหากผู้ผลิตหรือผู้บรรจุได้บรรจุตามขนาดบรรจุตามที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพาณิชย์ก็ถือว่าปฏิบัติตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ไปหนึ่งข้อแล้ว การกำหนด

ขนาดการบรรจุสินค้าหีบห่ออาจตั้งอยู่บนเหตุผลว่าเพื่อที่ให้ประชาชนสามารถเปรียบเทียบราคากันได้ที่ขนาดบรรจุที่เท่ากันนั้นเอง (หรืออาจมีเหตุผลอื่นเพิ่มเติมก็ได้) แต่ในอีกแนวความคิดก็คือ ให้ความอิสระโดยตรงต่อผู้ประกอบการจะบรรจุขนาดสินค้าหีบห่อตามเหตุอันควร หรือที่เรียกกันเท่ๆ ว่า "การแข่งขันตลาดเสรี" ใครเก่งก็อยู่ได้ใครไม่เก่งก็โดนบีบให้ล้มลงไปก็ว่าได้ การกำหนดขนาดการบรรจุสินค้าหีบห่ออาจมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันบ้าง อย่างเช่นในการออกแบบโรงงานทำน้ำปลาแต่ละผู้ผลิตจะมีเงื่อนไขในต้นทุนการดำเนินการที่แตกต่างกัน โรงงานน้ำปลาขนาดเล็กอาจจะสามารถผลิตน้ำปลาและบรรจุขวดน้ำปลาที่ขนาดบรรจุคุ้มทุน (optimum size) และสามารถแข่งขันทางตลาดได้ที่ปริมาตรการบรรจุเท่ากับ 220 CC (ซ.ม.^{3}) ในขณะที่โรงงานที่มีขนาดใหญ่กว่าสามารถผลิตน้ำปลาและบรรจุขวดน้ำปลาที่ขนาดบรรจุคุ้มทุน (optimum size) และสามารถแข่งขันทางตลาดได้ที่เท่ากับ 200 CC (ซ.ม.^{3}) ดังนั้นโรงงานขนาดเล็กก็จะเสียเปรียบในศักยภาพในการแข่งขันทางตลาดไป เพราะต้องทำการบรรจุสินค้าที่ขนาดบรรจุเท่ากับ 200 CC (ซ.ม.^{3}) ส่งผลทำให้ผู้บริโภคเสียผลประโยชน์เนื่องจากการแข่งขันทางด้านตลาดมีต่ำ แต่ขณะเดียวกันก็ลดความสับสนให้กับประชาชนโดยไม่โดนหลอกด้วยการโฆษณาถึงราคาที่ถูกกว่าแต่จริงๆ แล้วปริมาณสุทธิสินค้าก็น้อยกว่าเช่นเดียวกันยกตัวอย่างเช่น น้ำปลายี่ห้อหนึ่งขนาดการบรรจุ 200 CC (ซ.ม.^{3}) ราคา 20 บาท ในขณะน้ำปลาอีกยี่ห้อขนาด 170 CC (ซ.ม.^{3}) ราคา 18 บาท แต่หากคิดกันจริงๆ แล้วราคาปริมาตรน้ำปลาต่อบาทกลับพบว่าน้ำปลายี่ห้อหลังแพงกว่าก็นับว่าเป็นวิธีการแข่งขันทางตลาดที่ไม่ยุติธรรมกับผู้บริโภคก็ว่าได้

นอกจากนี้ยังมีเรื่องเกี่ยวกับการฉ้อฉลเกี่ยวกับการบรรรจุสินค้าหีบห่ออีกวิธีการหนึ่งที่สร้างความเบื่อหน่ายต่อการแข่งขันเสรี และวงการบรรจุสินค้าหีบห่อ ก็คือ การบรรจุสินค้าโดยที่ตัวเนื้อสินค้าภายในหีบห่อมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในขณะที่ตัวกล่องภาชนะการบรรจุมีขนาดใหญ่เอาเสียมากๆ และสวยงาม วิธีการเช่นนี้ถือว่าจงใจที่จะล่อลวงให้เข้าใจว่าสินค้านั้นมีปริมาณที่มากกว่ากล่องเล็กกว่าพบมากในพวกขนมช็อกโกแลต และน้ำหอม เป็นต้น

- **ปริมาณสุทธิสูงสุด** เนื่องจากเป็นสินค้าหีบห่อดังนั้นจึงควรสามารถขนย้ายและยกพกพาได้โดยไม่หนักจนเกินไปให้สมกับการเรียกชื่อ คือ หีบห่อ โดย

ทั่วไปแล้วน้ำหนักที่เราจะสามารถพกพาหรือถือโดยไม่หนักแรงจนเกินไปนั้น ค่าน้ำหนักเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 20-25 กิโลกรัม หากน้ำหนักกว่านี้จะถือว่าหนัก (ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ย) หากคุณแข็งแรงสามารถถือหรือยกได้ 40 กิโลกรัมเดินตัวปลิวก็ได้ไม่ว่ากัน สำหรับประเทศไทย ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดชนิดและวิธีการแสดงปริมาณของสินค้าหีบห่อ พ.ศ. 2543 ได้กำหนดปริมาณสุทธิสูงสุดให้อยู่ภายในขอบเขตเท่ากับ

5 กรัม	≤	สินค้าหีบห่อในมาตราชั่ง	≤	50 กิโลกรัม
10 มิลลิลิตร	≤	สินค้าหีบห่อในมาตราตวง	≤	20 ลิตร

ในหน่วยมาตราวัดและปริมาณโดยนับเป็นหน่วยนั้นไม่ได้จำกัดขอบเขตแต่อย่างใด น่าสนมากในข้อนี้

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อ

สำหรับสินค้าหีบห่อได้กำหนดให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดให้แสดงผิดได้ในทางด้านปริมาณสุทธิต่ำกว่าที่แสดงแต่ไม่ได้กำหนดอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดให้แสดงผิดได้ในทางด้านปริมาณสุทธิสูงกว่าที่แสดง ก็ด้วยหลักการง่าย ๆ กระมังของผู้ประกอบการก็คือมีศักยภาพพอที่จะทำการตรวจสอบและป้องกันการบรรจุสินค้าของตัวเองให้สูงเกินกว่าปริมาณที่แสดง อีกทั้งผู้ผลิตเองก็ได้คลุกคลีกับสินค้าดังกล่าวจนถือได้ว่ามีความเข้าใจในคุณสมบัติของตัวสินค้าของตัวเองเป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามหากเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดพบว่าผู้ผลิตหรือผู้บรรจุได้ทำการบรรจุสินค้ามากเกินไปเกรงว่าหรือสงสารผู้ผลิตจะขาดทุนก็ได้มีการบอกกล่าวกันไปด้วยความปรารถนาดีก็ว่าได้ อืม...น่าคิด

ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดชนิดและวิธีการแสดงปริมาณของสินค้าหีบห่อ พ.ศ. 2543, บัญชีท้ายประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด มีอยู่ว่า

บัญชีท้ายประกาศกระทรวงพาณิชย์
เรื่อง อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดฝ่ายน้อยสำหรับการแสดงปริมาณสุทธิของสินค้าหีบห่อ กำหนดดังนี้

1. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับสินค้าที่แสดงปริมาณเป็นมาตราชั่ง

ปริมาณที่แสดงบนหีบห่อ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ร้อยละของปริมาณที่แสดง
ไม่เกิน 200 ก.	6
มากกว่า 200 ก. แต่ไม่เกิน 1 กก.	3
มากกว่า 1 กก. แต่ไม่เกิน 5 กก.	2
มากกว่า 5 กก. แต่ไม่เกิน 15 กก.	1.5
มากกว่า 15 กก. แต่ไม่เกิน 50 กก.	1

2. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับสินค้าที่แสดงปริมาณเป็นมาตราตวง

ปริมาณที่แสดงบนหีบห่อ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ร้อยละของปริมาณที่แสดง
ไม่เกิน 50 มล.	6
มากกว่า 50 มล. แต่ไม่เกิน 500 มล.	3
มากกว่า 500 มล. แต่ไม่เกิน 1 ล.	2
มากกว่า 1 ล. แต่ไม่เกิน 10 ล.	1.5
มากกว่า 10 ล. แต่ไม่เกิน 50 ล.	1

3. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับสินค้าที่แสดงปริมาณเป็นมาตราวัด

ปริมาณที่แสดงบนหีบห่อ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ร้อยละของปริมาณที่แสดง
ไม่เกิน 1 ม.	2
มากกว่า 1 ม. ขึ้นไป	1

4. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับสินค้าที่แสดงปริมาณโดยนับเป็นหน่วย

ปริมาณที่แสดงบนหีบห่อ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ร้อยละของปริมาณที่แสดง
ไม่เกิน 35 หน่วย	-
มากกว่า 35 หน่วย แต่ไม่เกิน 50 หน่วย	3
มากกว่า 50 หน่วย ขึ้นไป	2

สาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการบรรจุสินค้าหีบห่อในเทอมของน้ำหนัก และปริมาตร

เมื่อมาถึงจุดนี้แล้วเรามาดูกันหน่อยว่ามันเกิดอะไรขึ้นในการบรรจุสินค้าหีบ-ห่อ โดยเฉพาะการบรรจุสินค้าหีบห่อในหน่วยน้ำหนัก ทำไมถึงบรรจุสินค้าแล้วถึงพบว่ามักจะมีปริมาณสุทธิขาดเกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดจากที่กำหนด (นึกถึงในกรณีที่มีปัญหาหรือผิดกฎหมาย แต่ที่ดีๆๆ ก็มีเยอะ) สำหรับตัวผู้เขียนขออนุญาตแสดงความคิดเห็นว่าเกิดจาก 3 สาเหตุหลัก คือ

1. ภาชนะบรรจุสินค้าหีบห่อ

- น้ำหนักของภาชนะบรรจุสินค้าหีบห่อไม่แน่นอนคงที่ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมาก ดังนั้นเมื่อนำภาชนะหีบห่อมาบรรจุสินค้าแล้วนำไปชั่งน้ำหนักโดยบวกน้ำหนักสินค้ากับตัวแทนน้ำหนักของภาชนะหีบห่อผิดพลาด ดังนั้นผลน้ำหนักรวมทั้งตัวสินค้าหีบห่อก็จะมีค่าปริมาณสุทธิน้ำหนักต่างจากที่แสดงไว้
- ตัวภาชนะสำหรับบรรจุสินค้าหีบห่อที่ผลิตมาแม้บรรจุเต็มพิกัดภาชนะแล้วก็ยังคงไม่ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ อาจเกิดจากขบวนการผลิตภาชนะ หรือความตั้งใจ

- มาตรฐานของภาชนะบรรจุสินค้าหีบห่อ ผลิตไม่ได้มาตรฐาน เช่น มาตรฐานของขวดใส ขวดขุ่น ขวดดำหรือขวดน้ำอัดลม เป็นต้น

2. ผู้ผลิตหรือผู้บรรจุมีเจตนาและ/หรือกึ่งเจตนา ที่ต้องการบรรจุให้สินค้าคลาดเคลื่อนจากที่แสดงจริง สาเหตุนี้เองทำให้ผู้เขียนและเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดจึงมีงานทำไม่ตกงาน ซึ่งหากมีหลักฐานพิสูจน์ได้ก็มีความผิดตาม พ.ร.บ. ชั่งตวงวัด 2542 หากไม่สามารถพิสูจน์ได้ก็ถือว่ายกประโยชน์ให้กันไป แต่อย่างไรก็ตาม ใครทำใครก็ทราบอยู่ในใจอยู่แล้วแหละครับ

3. ผู้ผลิตหรือผู้บรรจุขาดความเข้าใจในวิธีการบรรจุและการชั่งตวงวัดสินค้าหีบห่อ เนื่องจากสินค้าหีบห่อเองบ้างชนิดมีการบรรจุก๊าซเข้าไปด้วย หรือบางชนิดจะมีความหนืดสูงและอาจมีฟองอากาศค้างอยู่ภายในเนื้อสินค้าดังนั้นการวัดปริมาณสุทธิโดยตรงกระทำได้ยากและใช้เวลานาน ดังนั้นการนำเทคนิคใหม่ๆ เข้าช่วยในการตรวจสอบปริมาณสุทธิของผู้ผลิตอาจยังไม่เป็นที่ยอมรับหรือขาดความเที่ยงตรง นอกจากนี้ยังอาจมีปัญหาอื่นๆ เช่น การเลือกใช้ชนิดเครื่องชั่งไม่ถูกต้องเหมาะสมกับงาน, เครื่องชั่งที่ใช้ใช้จนหมดสภาพและให้ความเที่ยงต่ำจากที่ควรเป็นซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น เสื่อมโดยสภาพการใช้เป็นเรื่องปกติ, การใช้เครื่องชั่งผิดวิธีเช่นตั้งเครื่องชั่งเอียงมากจนเกินไป (สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ), ไม่มีระบบตรวจสอบภายในในการควบคุมความเที่ยงของเครื่องชั่ง, ไม่ได้ทำการสอบเทียบ (calibration) ในระยะอันควร, เจ้าของโรงงานไม่มีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราไว้เพื่อสามารถตรวจสอบเครื่องชั่งของตัวเอง, และหากมีตุ้มน้ำหนักก็ขาดการนำไปสอบเทียบดังนั้นเมื่อตุ้มน้ำหนักมีค่าผิดจากที่กำหนดไว้จึงไม่ทราบ และอื่นๆ อีกมากมาย แต่จากการที่มีการแข่งขันทางการค้าและการค้าขายระหว่างประเทศมีมากขึ้นจนเกิดการบังคับให้โรงงานหลายโรงต้องหาใบรับรองมาตรฐานการผลิตของโรงงานตามมาตรฐานการผลิต Series 9000 นับว่าช่วยงานชั่งตวงวัดได้ส่วนหนึ่งเช่นกัน เพราะเจ้าของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราและเครื่องชั่งต่างวิ่งหาใบรายงานผลการสอบเทียบและรายงานผลการตรวจสอบเครื่องชั่งกันอย่างสนุก แต่ในขณะเดียวกันก็อาจควักเงินเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่รู้เท่าทันไปหลายประการเช่นกัน อย่างเช่น โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง II ต้องควักเงินไปซื้อตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง E1 (OIML R111) เพื่อมาสอบเทียบ

เครื่องชั่งดังกล่าว จริง ๆ แล้วใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราชั้นความเที่ยง F2 (OIML R111) หรือเอาดีขึ้นหน่อยเป็น F1 ก็ดีเกินทนแล้วแต่ถ้าบริษัทรวยมาก ๆ คิดอยากซื้อ E2 ก็เยี่ยมสุด ๆ แล้ว ไม่ต้องถึงกับต้องซื้อตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา E1 เลยครับท่าน มันเสียดุลการค้าและเค้าจะเรียกว่าเราเสียค่าโง่แนบแถมเข้าไปด้วย

การเลือกเครื่องชั่งที่เหมาะสมกับการบรรจุสินค้าหีบห่อใน "หน่วยน้ำหนัก"

ดังนั้นในเนื้อหาของบทความนี้จึงขอเน้นเรื่องการเลือกใช้ชนิดเครื่องชั่งที่ควรและเหมาะสมกับงานบรรจุสินค้าหีบห่อในหน่วยน้ำหนักสุทธิและให้ความเที่ยงตามที่ต้องการเพื่อสามารถทำการบรรจุสินค้าหีบห่อได้ถูกต้องตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพาณิชย์ต่อไป เรามาดูสินค้าหีบห่อที่ต้องการบรรจุโดยเราจะมองเป็นกลุ่ม ๆ สินค้าหีบห่อตามขนาดการบรรจุ โดยจะขอแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน ว่ากันตามบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงพาณิชย์กันไปเลย

1. สินค้าหีบห่อแสดงปริมาณสุทธิบรรจุบนหีบห่อตั้งแต่ 20 กรัม ถึง 1 กิโลกรัม เนื่องจากสินค้าหีบห่อชนิดนี้มีขนาดการบรรจุที่มีน้ำหนักน้อย อาจจะเป็นสินค้าประเภทน้ำตาลทรายเป็นซองเล็ก ๆ, กาแฟ, โยเกิรต์, บะหมี่, เส้นหมี่, ก๋วยเตี๋ยว, บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป, จารบี, ปุ๋ย, ผงชูรส, แป้งโรยตัว, ผงซักฟอก และสินค้าอื่น ๆ ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ 2543 เป็นต้น ดังนั้นการเลือกเครื่องชั่งเพื่อทำการชั่งน้ำหนักจำนวนน้อย ๆ ซึ่งก็อาจรวมไปถึงตัวภาชนะบรรจุหีบห่อจึงไม่ควรเลือกเครื่องชั่งที่มีพิกัดกำลังสูงมากจนเกินไป มีข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องชั่งดังนี้

- ในที่นี้ขอจำกัดไว้เฉพาะการเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ
- เลือกเครื่องชั่งเพื่อชั่งน้ำหนักเพื่อการบรรจุสินค้าหีบห่อ (น้ำหนักตัวเนื้อสินค้ารวมกับน้ำหนักของตัวหีบห่อ) ที่น้ำหนักเท่ากับ 70% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง (โดยเฉพาะเครื่องชั่งที่ใช้โหลดเซล)
- เครื่องชั่งควรมีความเที่ยงแม่นยำอย่างน้อยเท่ากับ 1 ใน 3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่อ เช่น สินค้าหีบห่อน้ำหนักสุทธิ 1 กิโลกรัม ยอมให้น้ำหนักต่ำกว่าค่าน้ำหนักที่แสดงบน

ตัวสินค้าหีบห่อ 30 กรัม ดังนั้นเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติเมื่อทำการชั่งน้ำหนักที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัมต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกิน ±10 กรัม

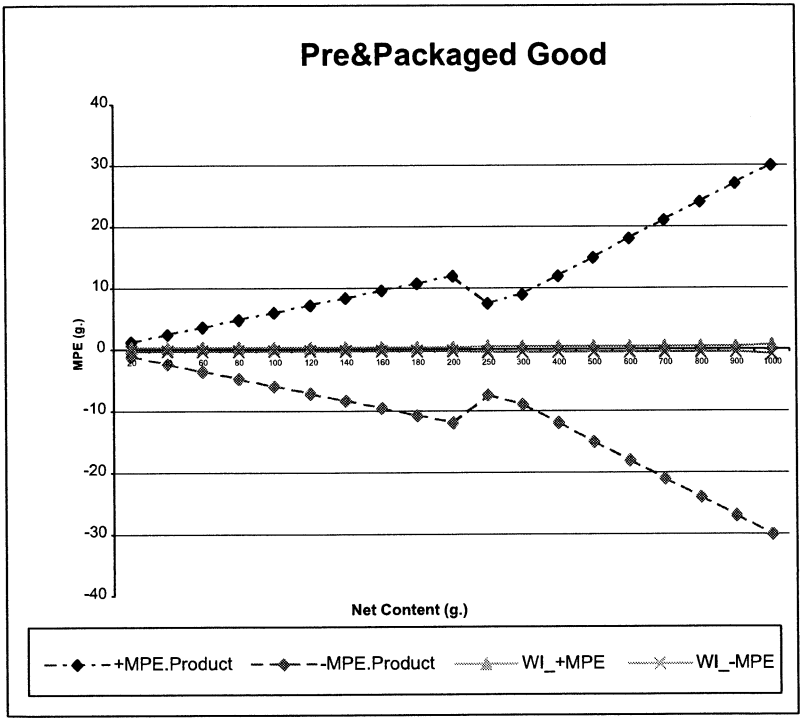
- เครื่องชั่งที่สมควรเลือกใช้สำหรับการบรรจุสินค้าหีบห่อคือ เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 1500 กรัม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลผิดของสินค้าหีบห่อกับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 1500 กรัม ชั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 0.5 g

น้ำหนักสุทธิของสินค้าหีบห่อ (g)	สินค้าหีบห่อ อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (g)		เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III Max. 1500 กรัม e 0.5 g	
	ฝ่ายมาก	ฝ่ายน้อย	+MPE (g)	-MPE (g)
20	-	-1.2	0.25	-0.25
40	-	-2.4	0.25	-0.25
60	-	-3.6	0.25	-0.25
80	-	-4.8	0.25	-0.25
100	-	-6	0.25	-0.25
120	-	-7.2	0.25	-0.25
140	-	-8.4	0.25	-0.25
160	-	-9.6	0.25	-0.25
180	-	-10.8	0.25	-0.25
200	-	-12	0.25	-0.25
250	-	-7.5	0.5	-0.5
300	-	-9	0.5	-0.5
400	-	-12	0.5	-0.5
500	-	-15	0.5	-0.5
600	-	-18	0.5	-0.5
700	-	-21	0.5	-0.5
800	-	-24	0.5	-0.5
900	-	-27	0.5	-0.5
1000	-	-30	0.75	-0.75

ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 0.5 g ในกรณีที่ปริมาณสุทธิ 1 กิโลกรัม (1,000 กรัม) รวมกับตัวภาชนะหีบห่อไม่เกิน 300 กรัม จะได้ว่าเพียงพอต่อการใช้เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงดังกล่าวเพื่อบรรจุสินค้าหีบห่อ สรุปได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1

- หากน้ำหนักภาชนะมากกว่า 400 กรัม เราอาจเลือกเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด (Max.) 3,000 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 1.0 g ก็ใช้ได้



รูปที่ 1 เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 1500 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 0.5 g

จากรูปที่ 1 หากสังเกตกราฟอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อ จะพบสิ่งที่น่าสนใจในเรื่องของการกำหนดอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อ

สำหรับสินค้าที่แสดงปริมาณเป็นมาตราชั่ง จะเห็นว่าช่วงรอยต่อของการเปลี่ยนแปลงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อ คือ ช่วง 180-200-250-300-400 กรัมนั้น มีการได้เปรียบและเสียเปรียบกันอยู่บ้างทั้งๆที่น้ำหนักสุทธิของสินค้าหีบห่อแตกต่างกันไม่มากนัก แต่อาจจะมีข้อโต้แย้งว่าช่วงรอยต่อของการเปลี่ยนแปลงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดดังกล่าวจะไม่มีสินค้าหีบห่อชนิดใดทำการบรรจุในช่วงน้ำหนักดังกล่าวก็พอรับฟังได้ แต่ในอนาคตน่าจะมีการปรับเปรียบเป็นขั้นบันไดที่มีขั้นที่มีความชัน คือ ให้อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อน้ำหนักสุทธิตั้งแต่ 200 กรัม ถึง 400 กรัม มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อล้อเลียนหรือเทียบเคียงกับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ เพราะอย่างไรการบรรจุสินค้าหีบห่อหลายชนิดยังคงใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติในการบรรจุ

คราวนี้หากเรานำเครื่องชั่งสปริงที่มีพิกัดกำลัง 3 กิโลกรัมมาใช้จะใช้ได้หรือเปล่า ตามมาดูกัน ตามกฎกระทรวงฯ กำหนดให้เครื่องชั่งสปริงมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งสปริง

พิกัดกำลัง	ค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง e	พิกัดกำลังต่ำสุด (Min.) ไม่น้อยกว่า	น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดให้คำรับรอง
3 กก.	10 ก.	100 ก.	ไม่เกิน 0.5 กก.	± 5 ก.
			เกิน 0.5 กก. ขึ้นไป	± 10 ก.
7 กก.	20 ก.	200 ก.	ไม่เกิน 1 กก.	± 10 ก.
			เกิน 1 กก. ขึ้นไป	± 20 ก.
15 กก.	50 ก.	500 ก.	ไม่เกิน 2.5 กก.	± 25 ก.
			เกิน 2.5 กก. ขึ้นไป	± 50 ก.
20 กก.	50 ก.	500 ก.	ไม่เกิน 2.5 กก.	± 25 ก.
			เกิน 2.5 กก. ขึ้นไป	± 50 ก.
35 กก.	100 ก.	1 กก.	ไม่เกิน 5 กก.	± 50 ก.
			เกิน 5 กก. ขึ้นไป	± 100 ก.
60 กก.	200 ก.	2 กก.	ไม่เกิน 10 กก.	± 100 ก.
			เกิน 10 กก. ขึ้นไป	± 200 ก.

หมายเหตุ เครื่องชั่งสปริงที่มีพิกัดกำลังไม่เกิน 1 กก. ให้จำแนกเป็นเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง ชั้น III

ดังนั้นเมื่อนำเครื่องชั่งสปริงพิกัดกำลัง 3 กิโลกรัมเพื่อใช้บรรจุสินค้าหีบห่อที่มีขนาดการบรรจุปริมาณสุทธิตั้งแต่ 20 กรัม ถึง 1 กิโลกรัม สรุปผลผิดดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลผิดของสินค้าหีบห่อกับเครื่องชั่งสปริง พิกัดกำลังสูงสุด 3,000 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 10 g

น้ำหนักสุทธิของสินค้าหีบห่อ (g)	สินค้าหีบห่ออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (g)		เครื่องชั่งสปริง Max. 3000 กรัม e 10 g	
	ฝ่ายมาก	ฝ่ายน้อย	+MPE (g)	-MPE (g)
20	-	-1.2	5.0	-5.0
40	-	-2.4	5.0	-5.0
60	-	-3.6	5.0	-5.0
80	-	-4.8	5.0	-5.0
100	-	-6	5.0	-5.0
120	-	-7.2	5.0	-5.0
140	-	-8.4	5.0	-5.0
160	-	-9.6	5.0	-5.0
180	-	-10.8	5.0	-5.0
200	-	-12	5.0	-5.0
250	-	-7.5	5.0	-5.0
300	-	-9	5.0	-5.0
400	-	-12	5.0	-5.0
500	-	-15	5.0	-5.0
600	-	-18	10.0	-10.0
700	-	-21	10.0	-10.0
800	-	-24	10.0	-10.0
900	-	-27	10.0	-10.0
1000	-	-30	10.0	-10.0

สรุปได้เลยว่าไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากเครื่องชั่งควรมีความเที่ยงแม่นยำไม่น้อยกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่ออย่างน้อย 3 เท่า จะเห็นว่าหากบรรจุสินค้าด้วยน้ำหนักตั้งแต่ 20 กรัม ถึง 400 กรัม เครื่องชั่งไม่สามารถแสดงผลผิดได้เพราะเครื่องชั่งมี e = 10 กรัม ในขณะที่ผลผิดของสินค้าหีบห่อมีค่าน้อยกว่า 10 กรัม และในขณะเดียวกันหากเครื่องชั่งมีผลผิดไป 5 กรัม แล้วยิ่งพาให้การชั่งสินค้าหีบห่ออาจจะผิดมากขึ้นไปอีก ส่วนช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 400 กรัมจนถึง 1 กิโลกรัม ความแม่นยำของเครื่องชั่งก็ไม่มีค่าน้อยกว่า 3 เท่าของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของสินค้าหีบห่อ ดังนั้นยังอยู่ในช่วงที่มีความมั่นใจต่ำว่าเครื่องชั่งดังกล่าวจะให้ผลการชั่งที่น่าเชื่อถือได้และเมื่อใช้งานเครื่องชั่งสปริงไปนานๆ ผลผิดของเครื่องชั่งยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามสภาพกลไกที่สึกหรอกไป ดังนั้นเมื่อนำเครื่องชั่งสปริงพิกัดกำลัง 3 กิโลกรัม (3,000 กรัม) หรือพิกัดกำลังสูงกว่านี้ก็ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุให้การบรรจุสินค้าหีบห่อผิดไปตั้งแต่เริ่มดำเนินการ นี้แหละปัญหาที่เราจะพบบ่อยมาก

นอกจากนี้เรายังพบว่าในการบรรจุสินค้าหีบห่อที่มีขนาดการบรรจุขนาดเล็กจะมีการใช้เครื่องชั่งสปริงที่นำเข้าจากต่างประเทศแบบหน้าปัดเดียวพิกัดกำลังต่ำๆ 1-3 กิโลกรัม (Max 3 kg, e 10g) จะด้วยถูกวิธีหรือผิดวิธีอันนี้ไม่พูดถึงกัน แต่ที่แน่ๆ ไม่ควรนำมาใช้บรรจุสินค้าหีบห่อเลย จากกฎกระทรวงเราให้เครื่องชั่งสปริงที่มีพิกัดกำลังไม่เกิน 1 กก. ให้จำแนกเป็นเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง ชั้น IIII นั้นหมายความว่าจัดชั้นความเที่ยงต่ำลงจากชั้นความเที่ยง III ซึ่งจะมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เหมาะสมกับการชั่งน้ำหนักที่มีปริมาณสุทธิน้ำหนักน้อยๆ ดังนั้นพบว่าผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการอาจแก้ปัญหาด้วยการบรรจุให้มากกว่าน้ำหนักที่เครื่องชั่งอ่านได้ตรงค่าน้ำหนักที่ต้องการเพื่อเป็นการชดเชยค่าผลผิดที่อาจเกิดขึ้น หรืออาจไม่ปฏิบัติดังกล่าวก็ว่าได้

ขอคุยนอกเรื่องอีกเรื่องหนึ่ง ผู้เขียนเคยเดินไปร้านที่มีการขายกระดาษเขียนจดหมายและซองที่มีรูปสวยๆ การขายกระทำด้วยการชั่งน้ำหนัก เจ้าของร้านนำเครื่องชั่งไฟฟ้า (ใช้โหลดเซล) พิกัดกำลัง 20 กิโลกรัมมาชั่งน้ำหนักกระดาษและซองจดหมายที่ขายปลีกคราวละ 100-300 กรัม เห็นแล้วน่าเศร้าใจจริงๆ เนื่องจากการนำเครื่องชั่งไฟฟ้าพิกัดกำลังสูงมาชั่งที่น้ำหนักน้อยๆ จะทำให้ผลผิดสัมพันธ์สูง

เกินไป ใน OIML R76 กำหนดให้ห้ามใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III ชั่งน้ำหนักน้อยกว่า 20e

2. สินค้าหีบห่อแสดงปริมาณสุทธิบรรจุบนหีบห่อตั้งแต่ 1 กิโลกรัม ถึง 5 กิโลกรัม สินค้าหีบห่อที่อาจพบได้ เช่น น้ำตาลทรายถุง, บะหมี่, เส้นหมี่, ก๋วยเตี๋ยว, จารบี, ปุ๋ย, ผงชูรส, ผงซักฟอก, ปูนขาว, ปูนสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน, ข้าวสาร และสินค้าอื่นๆ ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ 2543 เป็นต้น ดังนั้นการเลือกเครื่องชั่ง มีข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องชั่งดังนี้

- ในที่นี้ขอจำกัดไว้เฉพาะการเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ
- เลือกเครื่องชั่งเพื่อชั่งน้ำหนักเพื่อการบรรจุสินค้าหีบห่อ (น้ำหนักตัวสินค้ารวมกับน้ำหนักของตัวหีบห่อ) ที่น้ำหนักเท่ากับ 70% ของพิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่ง
- เครื่องชั่งควรมีความเที่ยงแม่นยำอย่างน้อยเท่ากับ 1 ใน 3 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่อ
- เครื่องชั่งที่สมควรเลือกใช้คือ เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 15,000 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 5 g ในกรณีที่ปริมาณสุทธิรวมกับตัวภาชนะหีบห่อไม่เกิน 15,000 กรัม จะได้ว่าเพียงพอต่อการใช้เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงดังกล่าวเพื่อบรรจุสินค้าหีบห่อ สรุปได้ดังตารางที่ 4 หรือหากน้ำหนักตัวภาชนะหีบห่อหนักน้อยๆ ก็สามารถเลือกใช้เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 6,500 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 1 g ก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเลือกเสร็จต้องตรวจสอบกับผู้ขายเครื่องชั่งด้วยว่าเครื่องชั่งที่เราต้องการมีหรือเปล่า ที่สำคัญเครื่องชั่งต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรองจากสำนักชั่งตวงวัดด้วยน่ะครับ เดี๋ยวเจอหลายเด้ง

จะเห็นว่าเครื่องชั่งมีความเที่ยงแม่นยำมากกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่อเกิน 3 เท่า และมีขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง 5 กรัม ส่งผลให้สามารถแสดงและแยกแยะผลผิดที่เกิดขึ้นได้เพียงพอ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลผิดของสินค้าหีบห่อกับเครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III (OIML R76) พิกัดกำลังสูงสุด 1500 กรัม ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ 0.5 g

น้ำหนักสุทธิของสินค้าหีบห่อ (g)	สินค้าหีบห่อ อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (g)		เครื่องชั่งชั้นความเที่ยง III Max. 1500 กรัม e 0.5 g	
	ฝ่ายมาก	ฝ่ายน้อย	+MPE (g)	-MPE (g)
1000	–	–20	2.5	–2.5
1200	–	–24	2.5	–2.5
1400	–	–28	2.5	–2.5
1600	–	–32	2.5	–2.5
1800	–	–36	2.5	–2.5
2000	–	–40	2.5	–2.5
2200	–	–44	2.5	–2.5
2400	–	–48	2.5	–2.5
2600	–	–52	5	–5
2800	–	–56	5	–5
3000	–	–60	5	–5
3200	–	–64	5	–5
3400	–	–68	5	–5
3600	–	–72	5	–5
3800	–	–76	5	–5
4000	–	–80	5	–5
4200	–	–84	5	–5
4400	–	–88	5	–5
4600	–	–92	5	–5
4800	–	–96	5	–5
5000	–	–100	5	–5

3. สินค้าหีบห่อแสดงปริมาณสุทธิบรรจุบนหีบห่อตั้งแต่ 5 กิโลกรัม ถึง 15 กิโลกรัม สินค้าหีบห่อที่เด่นๆ ในหมวดนี้และยอดฮิตติดอันดับของการร้องเรียนก็คือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มขนาด 13.5 กิโลกรัม และ 15 กิโลกรัม และครับท่าน ปัญหาที่เกิดขึ้นผู้เขียนขอมองในมุมมองของผู้เขียนเอง พบว่าปัญหาของน้ำหนักมากหรือน้ำหนักขาดของก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มในขั้นตอนบรรจุเกิดจากกรรมวิธีของการบรรจุและวิธีการชั่งน้ำหนักไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่ก่อให้เกิดหรือเกื้อกูลให้ผลการชั่งได้ผลการชั่งถูกต้องแม่นยำและเป็นที่น่าเชื่อถือ หรือพูดง่ายๆว่าต้องรื้อระบบวิธีของการบรรจุและวิธีการชั่งน้ำหนักในโรงบรรจุขนาดเล็กกันเลยก็ว่าได้ เนื่องจากโรงบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มมีขนาดเล็กจะใช้เครื่องชั่งชนิดที่ 4 (platform scale) พิกัดกำลัง 200 ถึง 500 กิโลกรัม ตามชื่อเรียก พ.ร.บ. ชั่งตวงวัด พ.ศ. 2466 แหละครับซึ่งเป็นเครื่องชั่งแบบแท่งชั่งในรูปแบบกลไกและคานทดพร้อมใช้ตุ้มถ่วงขยับจนตุ้มถ่วงได้สภาวะสมดุลแล้วอ่านค่าน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนักถ่วงและสเกลบนคันชั่ง แต่ในข้อเท็จจริงพบว่าถังก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มเปล่าๆ แต่ละถังก็มีน้ำหนักไม่เท่ากันเสียแล้ว อ่านจาก TW (Tank Weight) บนตัวถังบรรจุแต่ละถังจะมีค่าไม่เท่ากันและจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการผลิตมากน้อยเท่าใดนั้น ไม่มีข้อมูลในเชิงลึก การให้พนักงานบรรจุต้องทำการบวกน้ำหนักถังเปล่ากับน้ำหนักก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มอีก 15 กิโลกรัม แล้วขยับตุ้มถ่วงจนคันชั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วถือว่าชั่งได้หนึ่งถัง หากมองในแง่การประกอบธุรกิจหรือในทางปฏิบัติของคนงานในโรงบรรจุเองหากชั่งกันอย่างนี้แล้วก็บอกได้ว่า ไม่ต้องทำมาหากินกัน เพราะใช้เวลาอันยาวนาน หากถ้าจะเปลี่ยนเครื่องชั่งจากคันชั่งเครื่องชั่งชนิดที่ 4 เป็นหน้าปัด ก็ดูเหมือนแต่ละโรงบรรจุขนาดเล็กจะมีไว้หนึ่งตัวแล้ว และเค้าบอกว่าเป็นเครื่องชั่งชิ้นเอกเอาไว้เปรียบเทียบ (อันนี้ใส่ความรู้สึกลงไปนิดหน่อย) ก็ดูดี แต่คงเปรียบเทียบกันอยู่หรือไม่นั้นไม่ทราบจริงๆ อีกทั้งในขบวนการชั่งที่คนสามารถเข้าไปแทรกแซงได้ตลอดเวลาดังนั้นอะไรๆ ก็เกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับผู้บรรจุและเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดจะปฏิบัติงานกันในรูปแบบใดที่สำคัญและไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าภาครัฐก็คือความดูแลเอาใจใส่ของผู้ค้าตามมาตรา 6 (พ.ร.บ. น้ำมันเชื้อเพลิง) ว่าให้ความสำคัญเรื่องนี้มากน้อยเพียงใดและอย่างไรเช่นกัน

รัฐเองทำคนเดียวไม่ไหวแน่นอนต้องได้รับความร่วมมือจากหลายด้านพร้อมๆ กัน ทั้งภาคเอกชนและภาคประชาชน

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มบรรจุถังขนาด 15 กิโลกรัม น้ำหนักของเนื้อก๊าซปิโตรเลียมเหลวรวมกับน้ำหนักถังเปล่าจะตกอยู่ประมาณ 32-35 กิโลกรัม อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มบรรจุถังขนาด 15 กิโลกรัมจะขาดได้ไม่เกิน -225 กรัม และอย่างที่บอก น้ำหนักเกินไม่ว่ากันน่ะ (กรณีนี้เห็นทีจะยาก) ดังนั้นควรเลือกเครื่องชั่งมีความเที่ยงแม่นยำมากกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่อเกิน 3 เท่า คือ มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกิน ±75 กรัม (225/3) ในที่นี้หากเราเลือกเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III ที่มีค่า Max. 60 kg, e 10 g พบว่ามีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดดังนี้

ตารางที่ 5 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III Max. 60 kg, e 10 g

น้ำหนักทดสอบ	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	
0 กรัม-5,000 กรัม	± 5 กรัม	
5,000 กรัม-20,000 กรัม	±10 กรัม	
20,000 กรัม-60,000 กรัม	±15 กรัม	± 75 กรัม (225/3)

จะเห็นว่าที่น้ำหนักช่วง 32-35 กิโลกรัมเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III ที่มีค่า Max. 60 kg, e 10 g มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ±15 กรัม ซึ่งจะมีความเที่ยงแม่นยำมากกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการบรรจุสินค้าหีบห่อมากถึง 15 เท่า (225/15) ใช้ได้เลย เครื่องชั่งควรจะมีปุ่มกดสำหรับ Tare น้ำหนักถังเปล่าแต่ละครั้งจากนั้นคนงานบรรจุก็เพียงดูว่าเครื่องชั่งได้ชั่งเฉพาะเนื้อก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหุงต้มล้วนๆ 13.5, 15 กิโลกรัม เป็นต้น หนทางนี้พอที่จะเป็นไปได้สำหรับการปรับปรุงกรรมวิธีของการบรรจุและวิธีการชั่งน้ำหนัก แต่หากเมื่อสั่งซื้อเครื่องชั่งดังกล่าวแล้วไม่มีขายจากผู้ผลิตเครื่องชั่ง อาจเนื่องจากเครื่องชั่งดังกล่าวต้องเป็น

เครื่องชั่งประเภท explosion proof ตาม IEEE ก็ให้ทำการปรับค่าและคิดตามแนวทางที่ให้ไว้ข้างบนพร้อมกับทำการปรึกษากับผู้ขายเครื่องขายไปด้วยก็คงน่าใช้ได้ครับ

4. สินค้าหีบห่อแสดงปริมาณสุทธิบรรจุบนหีบห่อตั้งแต่15กิโลกรัมถึง 50 กิโลกรัม ก็ใช้แนวทางและความคิดตามในหัวข้อที่ 2 เพราะน้ำหนักเกิน 20 กิโลกรัมแล้ว คนยกไม่ไหวแล้วหนักน่ะ แล้วจะเป็นหีบห่ออีกหรือ?

ระบบท่อและคุณสมบัติของท่อ ที่ใช้งานในระบบมาตรวัด

(Piping System and Properties of Pipe)

ดูเหมือนว่าระบบท่อและคุณสมบัติของท่อในบางหัวข้อจะไม่เกี่ยวข้องกับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (legal Metrology) โดยตรงเสียทีเดียว แต่อาจเป็นความรู้ที่อยากจะให้เจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดและผู้ที่สนใจอ่านเนื้อหาในส่วนนี้เพื่อเป็นความรู้เสริมเนื่องจาก ในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่ในสถานีจ่ายน้ำมันทางรถ (Truck Loading) หรือสถานีจ่ายน้ำมันทางเรือ หรือ สถานีวัดปริมาตรผลิตภัณฑ์ในระบบเครือข่ายขนส่งทางท่อ เป็นการวัดของเหลวที่ถูกอัดด้วยแรงดันวิ่งผ่านระบบท่อด้วยอัตราการไหลสูง หรือความเร็วภายในท่อสูง หรือพูดทางวิศวกรรมว่าเป็นการไหลแบบ Turbulent flow ซึ่งจะเป็นอัตราการไหลที่ให้ผลคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์เท่านั้น เมื่อของเหลวไหลเข้ามายังตัวมาตรวัดของเหลว (Flowmeter) และของเหลวถูกวัดปริมาณเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะถูกส่งไปยังรถบรรทุกหรือสถานีปลายทางเพื่อเป็นการซื้อขายแลกเปลี่ยนหรือด้วยเหตุผลเชิงพาณิชย์ใดก็ตาม ดังนั้นระบบท่อรวมทั้งมาตรวัดของเหลวจึงต้องทำงานภายใต้สภาวะความดันสูงมากระดับหนึ่งขึ้นอยู่กับวิศวกรจะออกแบบสภาวะการทำงานดังกล่าว อีกทั้งระบบท่อซึ่งมาตรวัดของเหลวติดตั้งอยู่ก็มีผลต่อความเที่ยงตรงแม่นยำของการวัดปริมาณของเหลวของมาตรวัดเช่นกัน ดังนั้นเราจึงต้องมาทำความเข้าใจกันบ้างในบางมุมมอง

ภาพรวมระบบท่อของระบบมาตรวัดของเหลว

ทำไมเราจึงให้ความสำคัญกับระบบท่อของมาตรวัดดังกล่าว ? ในมาตรวัดบางชนิด เช่น มาตรวัดเทอร์ไบน์ ต้องการท่อที่มีขนาดคงที่และมีท่อยาวเส้นตรงก่อนทางเข้ามาตรวัดของเหลวระยะหนึ่งหรืออาจมีท่อพิเศษเพื่อจัดรูปแบบของเหลว (flow pattern) ให้มีรูปแบบการไหล (velocity profile) เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

สมบูรณ์ (a fully developed turbulent flow profile) แม้ว่ามีผู้ผลิตมาตรวัดเทอร์ไบน์บางหลายบอกว่าไม่ต้องการก็ตามแต่ด้วยธรรมชาติของหลักการวัดเช่นนี้ในความคิดของผู้เขียนยังนิยมและต้องการที่จะจัดให้มีท่อวิ่งเป็นเส้นตรงด้วยระยะความยาวหนึ่งก่อนต่อเข้ากับมาตรวัดเทอร์ไบน์ ในขณะที่มาตรวัดของเหลวอีกชนิดไม่ต้องการท่อยาวเส้นตรงก่อนทางเข้ามาตรวัดของเหลวระยะหนึ่งเพียงแต่ให้ระบบท่อต้องได้รับติดตั้งให้ดีเพียงพอที่ไม่เกิดความเครียดและความเค้นบนหน้าแปลนของตัวมาตรวัด รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดหรือทำให้ท่อสั่นสะเทือนไปรบกวนการทำงานของมาตรวัด ซึ่งได้แก่ มาตรวัดคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter) หรือ Positive displacement flowmeter พบว่าผู้ผลิตมาตรวัดบางรายเพื่อต้องการอิทธิพลของแรงอัดหรือดึงจากระบบท่อที่กระทำต่อตัวมาตรวัด Positive displacement flowmeter ก็ออกแบบมาตรวัดเป็นแบบ double casing เป็นต้น

ดังนั้นหากเราเข้าไปมีส่วนในการตรวจสอบให้คำรับรองหรือสอบเทียบมาตรวัดดังกล่าว อย่างน้อยสุดควรทราบว่าระบบท่อดังกล่าวมีการจัดวางหรือเดินท่อได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการของมาตรวัดของเหลวแต่ละชนิดหรือไม่ ไม่ใช่เพียงแต่ให้ความสนใจเฉพาะเจาะจงแต่ตัวมาตรวัดของเหลวเพียงตัวเดียว ซึ่งอันที่จริงแล้วมาตรวัดของเหลวจะสามารถทำงานและให้ผลการวัดได้ถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือด้วยระยะเวลาอันเหมาะสมได้นั้นมาตรวัดของเหลวดังกล่าวต้องอยู่ภายใต้สภาวะเงื่อนไขการติดตั้งที่เหมาะสมและมีอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมอยู่ยังคงทำงานในสภาวะที่เสริมการทำงานมาตรวัดของเหลวดังกล่าว จากที่ได้ทำการร่างกฎกระทรวงจึงได้เล็งเห็นในข้อนี้อีกทั้ง OIML ต่างก็ให้ความสำคัญในข้อนี้เช่นกันจึงกำหนดให้ว่า

ระบบการวัดปริมาตรของเหลว หมายความว่า ระบบที่ประกอบด้วย มาตรวัดปริมาตรของเหลว (Liquid-Measuring Devices), อุปกรณ์ควบ (Ancillary Devices) และ อุปกรณ์เสริม (Additional Devices)

มาตรวัดปริมาตรของเหลว (Liquid - measuring devices) หมายความว่า เครื่องมือที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้วัดและส่งจ่ายของเหลวโดยปริมาตร และมีส่วนแสดงค่า (Indicating Element) เพื่อแสดงผลการวัด ต่อไปในส่วนนี้ให้เรียกว่า "มาตรวัด"

อุปกรณ์ควบ (Ancillary Device) หมายความว่า อุปกรณ์ใช้งานพิเศษเฉพาะที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของการวัด

อุปกรณ์ควบที่สำคัญได้แก่

(ก) ส่วนปรับการแสดงค่าศูนย์ (Zero setting device)

(ข) ส่วนพิมพ์ค่า (Printing device)

(ค) ส่วนแสดงราคา (Price indicating device)

(ง) ส่วนแสดงผลรวม (Totalizing indicating device)

(จ) ส่วนแปลงค่า (Conversion device)

(ฉ) ส่วนปรับการแสดงค่าล่วงหน้า (Pre – setting device)

อุปกรณ์เสริม (Additional Device) หมายความว่า ส่วนหรืออุปกรณ์ที่นอกเหนือจากอุปกรณ์ควบ ที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในผลการวัดอย่างถูกต้อง หรือมุ่งใช้เพื่อช่วยให้การดำเนินการในการวัดสะดวกยิ่งขึ้น หรือเป็นอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัด

อุปกรณ์เสริมที่สำคัญได้แก่

(ก) เครื่องกำจัดไอ (Vapor eliminator)

(ข) Gas indicator

(ค) Sight glass

(ง) ไส้กรอง (Filter), ปั๊ม (pump)

(จ) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ transfer point

(ฉ) Anti–swirl device

(ช) Branches or bypass

(ซ) วาล์ว และท่อ (Valves, hoses)

แต่ในที่นี้เราจะไม่พูดถึงตัวมาตรวัดของเหลวแต่เราจะให้ความสำคัญเฉพาะระบบท่อและอุปกรณ์เสริม (Additional Device) ที่มีอยู่หรือประกอบติดตั้งอยู่ในระบบท่อมาตรวัดของเหลว ดูเหมือนจะมีข้อปลีกย่อยมากมายในการพิจารณาเนื่องจากเป็นระบบท่อที่ต้องการความชัดเจนและสร้างความเชื่อถือของการ

ทำธุรกิจ อีกทั้งเป็นส่วนที่รัฐต้องเก็บภาษีอากรจากการวัดปริมาณของเหลวที่มีการทำธุรกิจเชิงพาณิชย์ หรือแลกเปลี่ยนซื้อขาย ซึ่งจะกล่าวระบบท่อของระบบการวัดปริมาตรของเหลวในภาพรวมทั่วไปดังนี้

1. ท่อในระบบการวัดปริมาตรของเหลวดังกล่าวต้องมีความหนาเพียงพอและสามารถทนต่อความดันทำงานและอุณหภูมิทำงานของระบบได้ อันนี้ดูเหมือนจะยากเพราะเราไม่ได้ออกแบบระบบท่อ แต่โดยทั่วไปแล้วหากเป็นท่อขนาด ∅ 2"- ∅ 6" แล้วมักจะเป็นท่อที่มีความหนาท่อ Schedule 40 เปิดดูเอาในตารางที่ 3
2. ท่อดังกล่าวเป็นท่อใหม่หรือท่อเก่า หากเป็นท่อเก่าให้เดินดูสภาพทั่วไปให้มากและสังเกตโดยภาพรวมว่ายังคงสมควรใช้งานได้อีกต่อไปหรือไม่
3. ระบบท่อในบริเวณระบบการวัดปริมาตรของเหลวต้องได้รับการทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic test) แล้วหรือไม่ หรือมีผลทดสอบมาก่อนหน้านี้ เพราะหากเจอท่อเก่าหรือท่อพึ่งเดินใหม่ หรือท่อพึ่งจะซ่อมแซมเสร็จ และเมื่อตรวจสอบให้คำรับรองแล้วระบบท่อเกิดแตก เจ้าหน้าที่ต้องกลับมาดำเนินการอีก หากพบว่าท่อส่วนที่แตกอาจมีผลต่อการวัดปริมาตรของเหลวของมาตรวัด หรือในการซ่อมแซมท่ออาจต้องมีการถอดมาตรวัดของเหลวแล้วนำเข้าไปติดตั้งใหม่ เป็นต้น ซึ่งเสียทั้งเวลาและกำลังเจ้าหน้าที่ที่มีอยู่จำนวนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงาน
4. ท่อแบบมีตะเข็บ (seam) หรือท่อไม่มีตะเข็บ (seamless) สำหรับระบบมาตรวัดของเหลวในงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ควรเป็นระบบท่อไม่มีตะเข็บ หรือ ERW (Electric Resistance Weld) หากไม่สามารถจัดหาท่อไม่มีตะเข็บได้
5. การติดตั้งมาตรวัดของเหลวเข้ากับระบบท่อต้องมั่นใจว่าทิศทางการไหลผ่านมาตรวัดเป็นทิศทางตามที่กำหนด ถึงแม้พบว่ามาตรวัดของเหลวบางชนิดไม่มีข้อจำกัดของทิศทางการไหลผ่านมาตรวัดในการติดตั้งเข้ากับระบบท่อ
6. ระบบท่อมี expansion loop หรือเกือกม้า หรือ โอเมกา หรือวิธีการอื่นๆ

เพื่อป้องกันท่อที่มีการขยายตัวและหดตัวเนื่องจากความดันภายในระบบท่อเองและ/หรือท่อโดนแสงอาทิตย์แล้วทำให้ของเหลวภายในท่อเกิดการขยายตัวเนื่องความร้อน เพื่อป้องกันท่อขยายตัวไปกดหรืออัดหน้าแปลนของตัวมาตรวัดของเหลว expansion loop หรือเกือกม้าหรือ โอเมกา ควรอยู่ด้าน upstream ของมาตรวัดของเหลว

7. ระบบท่อก่อนเข้าและด้านทางออกมาตรวัดของเหลวต้องได้แนวเดียวกัน (alignment) โดยหน้าแปลนท่อต้องได้แนวตรงกันไม่มีการเหลื่อมกัน ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ท่อไปงัดหรือดึงดันกับมาตรวัดของเหลว รวมทั้งต้องระวังไม่ให้ใส่ประเก็นระหว่างหน้าแปลนท่อล้ำเข้าไปในท่อ นอกจากนี้ในกรณีของมาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ซึ่งถูกออกแบบเพื่อให้ใช้งานกับการไหลแบบปั่นป่วน (a fully developed turbulent flow profile) โดยเฉพาะอยู่แล้ว แต่เนื่องจากรูปแบบการไหล (velocity profile) ของการไหลแบบปั่นป่วนง่ายต่อการถูกทำลายไปเมื่อไหลผ่านข้องอหรือมีประเก็นระหว่างหน้าแปลนท่อล้ำเข้าไปในท่อหรือมีเนื้อโลหะลวดเชื่อมยื่นล้ำเข้าไปในท่อด้านในผลสืบเนื่องจากการเชื่อมท่อเข้าด้วยกันรวมทั้งหน้าแปลนท่อไม่ได้แนวตรงกันมีการเหลื่อมกันเป็นต้น การทำให้รูปแบบการไหลที่ถูกทำลายไปแล้วกลับคืนมาเป็นรูปแบบการไหลสมบูรณ์เหมือนเดิมเป็นเรื่องที่ต้องใช้ระยะเวลานานพอสมควร ดังนั้นถ้าหากรูปแบบการไหลของการไหลแบบปั่นป่วนที่สมบูรณ์ได้ถูกทำลายไปแล้วและไหลผ่านเทอร์ไบน์มิเตอร์จะส่งผลก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดและไม่น่าเชื่อถือในการวัด ในขณะเดียวกันอัตราการหมุนของโรเตอร์ก็จะไม่สะท้อนผลจริงๆ ของจำนวนของไหลซึ่งไหลผ่านเทอร์ไบน์มิเตอร์ อีกทั้งโรเตอร์จะหมุนไปอย่างสับสนไม่แน่นอนเนื่องจากความเร็วการไหลมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และหากเข้าใจหลักการทำงานของมาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์ก็จะเข้าใจว่าการหมุนของโรเตอร์จะเป็นการหมุนตอบสนองต่อรูปแบบการไหล (flow pattern) ของของเหลว ใบพัดของมาตรวัดชนิดนี้ไม่ใช่ใช้แบ่งของเหลวออกเป็นส่วนๆ เช่นเดียวกับหลักการทำงานของมาตรวัดของเหลวชนิด Positive Displacement ดังนั้นรูปแบบการไหลจึงมีความ

สำคัญต่อการทำงานของมาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอรเป็นอย่างมาก

8. ขนาดของแรงขันน็อตหน้าแปลนระหว่างมาตรวัดของเหลวกับหน้าแปลนระบบท่อต้องเพียงพอและเหมาะสมเพราะหากขันน็อตด้วยทอร์กสูงเกินไปอาจทำให้มาตรวัดเสียหายและให้ผลการวัดผิดพลาดเพราะอาจเกิดความเค้นและความเครียดบนตัวมาตรวัดมากเกินไป ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในกรณีที่เป็นการติดตั้งมาตรวัดคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter)

9. ระบบท่อดังกล่าวมีที่รองรับท่อ (pipe supports) เพียงพอ ระยะห่างระหว่างที่รองรับท่อไม่ควรห่างมากจนผิดสังเกตหรือทำให้ท่อมีการแอ่นโค้งตัวตกท้องช้างระหว่างที่รองรับท่อ ซึ่งอันที่จริงก็สามารถคำนวณหาได้แต่จะไม่ขอกล่าวในที่นี้

10. ระยะห่างของท่อบนที่รองรับท่อ (pipe supports) ต้องห่างกันได้ระยะที่เหมาะสม โดยท่อที่อยู่ใกล้เคียงกันต้องไม่มาเบียดหรือดันซึ่งกันและกัน

11. การติดตั้งที่รองรับท่อ (pipe supports) เข้ากับมาตรวัดของเหลวบางชนิดโดยตรงจะมีผลต่อการทำงานของมาตรวัดของเหลว เช่น มาตรวัดคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter) จึงต้องเป็นสิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง และให้ติดตั้งกับท่อก่อนและหลังทางเข้ามาตรวัดคอริออริสแทน

12. ต้องมีวิธีการป้องกันและลดแรงสั่นสะเทือนจากท่อสั่นสะท้านหากมีการออกแบบผิดหรือระบบทำงานผิดพลาดที่ทุกอัตราการไหลที่ต้องการวัดปริมาตร หรือ ระบบมาตรวัดของเหลวติดตั้งอยู่ใกล้กับปั๊ม

13. ในบางกรณีที่มีการเดินระบบท่อลัด (bypass loop) คร่อมมาตรวัดของเหลวเพื่อสามารถถอดมาตรวัดของเหลวไปซ่อมได้ในขณะที่ระบบทั้งหมดยังทำงานอยู่ ต้องมั่นใจว่าของวาล์วปิด-เปิดของระบบท่อลัดและระบบท่อลัดถูกติดตั้งในตำแหน่งที่น้ำหนักระบบท่อไม่ไปเพิ่มภาระกับตัวมาตรวัดของเหลว

14. ในกรณีถ้ามีการอนุญาตให้มีท่อลัด (bypass) รอบ ๆมาตรวัด หรือ battery of meter ได้ ควรจัดหาแผ่นเหล็กตัน (blind) หรือ positive shutoff-double block-and-bleed valve พร้อมตัวบ่งบอกตำแหน่งปิดเปิดวาล์วติดตั้งกับท่อลัด เพื่อมั่นใจว่าไม่มีการไหลเล็ดรอดวาล์วในท่อลัดดังกล่าว

15. ต้องไม่มีวิธีการใดๆ ที่ทำให้ของเหลวที่วัดปริมาตรแล้วเกิดการเบี่ยงเบนออกจากห้องวัด (Measuring Chamber) หรือท่อส่งจ่าย (Discharge line) ได้ ดังนั้นเมื่อไล่ระบบท่อแล้วต้องไม่ปรากฏท่อใดๆ มีการเชื่อมต่อหรือต่อท่อแยกออกจากท่อทางออกจากตัวมาตรวัด ท่อที่ออกจากตัวมาตรวัดต้องไหลไปยังถังบนรถหรือในเรือโดยตรง เป็นต้น เพื่อให้แน่ใจว่าของเหลวทุกหยดที่ผ่านการวัดแล้วได้ไหลไปยังที่ต้องการเท่านั้น หากมีท่อต่อท่อแยกออกจากท่อทางออกจากตัวมาตรวัดให้ทำการติดตั้ง Blind พร้อมซีลหน้าแปลนดังกล่าว หากมีวาล์วก็ต้องปิดให้สนิทพร้อมร้อยลวดผูกซีลทั้งนี้ต้องพิสูจน์ให้ได้ว่าวาล์วดังกล่าวไม่มีการรั่วไหล แนะนำให้ใช้วาล์วแบบ a double block-and-bleed valve

16. ในกรณีที่มีการติดตั้งทางออกสำหรับการส่งจ่าย 2 ทาง หรือมากกว่า ต้องมีวิธีการอัตโนมัติ เพื่อให้
    - ในแต่ละครั้งที่ทำการส่งจ่าย ของเหลวต้องไหลออกจากทางออกการส่งจ่าย (outlet) ได้เพียงทางเดียวเท่านั้น
    - อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมทิศทางการไหลต้องแสดงทิศทางการไหลอย่างชัดเจน

17. ไม่ควรติดตั้งท่ออ่อน (flexible hose) ระหว่างมาตรวัดของเหลวกับวาล์วควบคุมปิด-เปิด (Control valve) เนื่องจากท่ออ่อนอาจมีการขยายตัวหรือหดตัวได้เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงขณะมาตรวัดทำงานส่งผลให้ผลการวัดอาจเกิดข้อผิดพลาดได้

18. หากมีวาล์วนิรภัย (safety valves) เพื่อระบายความดันภายในระบบมาตรวัดขณะทำการจ่าย ต้องไม่มีวาล์วนิรภัย (safety valves) ใดๆซึ่งติดตั้งอยู่ก่อนทางเข้ามาตรวัดต่อท่อลัดไปยังท่อทางออกของมาตรวัด

19. หากมีการการติดตั้งมาตรวัดของเหลวหลายตัวเรียงขนานกันในบริเวณระบบการวัดปริมาตรของเหลว วาล์วที่อยู่ระหว่างมาตรวัดด้วยกันเองหรือระหว่างมาตรวัดกับแบบมาตรา (เช่น master meter หรือ compact prover) ที่ถูกติดตั้งประจำระบบการวัดปริมาตรของเหลว เช่น วาล์วเปลี่ยนทิศทาง

การไหล, วาล์วระบายของเหลว (drain valve) , วาล์วระบายก๊าซหรือไอของเหลว (vent valve) ต้องได้รับการทดสอบการรั่วเสียก่อน (hydrostatic pressure testing) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการรั่วเมื่อทำการปิด ซึ่งอาจจะใช้วาล์วจำพวก a double block-and-bleed valve พร้อมทั้งมีตัวบ่งบอกตำแหน่งปิดเปิดของวาล์วนั้นๆ

20. การติดตั้งวาล์วควบคุมการไหล (Flow control valve) ตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดควรอยู่ด้านหลังมาตรวัดของเหลวหรือด้าน downstream เป็นวาล์วที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับมาตรวัดชนิดเทอร์ไบน์มิเตอร์มากกว่ามาตรวัดชนิด Positive Displacement Meter เพราะเป็นตัวรักษาความดันย้อนกลับ (back pressure) ภายในระบบให้มีค่ามากพอตลอดเวลาที่มาตรวัดทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด Cavitation อีกทั้งวาล์วควรสามารถปิด-เปิดได้รวดเร็วและราบเรียบไม่สะดุดเพื่อป้องกันการไหลกระแทก (shock) และการเพิ่มขึ้นหรือลดลง (surge) ของเหลวอีกด้วย นอกจากนี้วาล์วควบคุมการไหลยังช่วยปรับระบบให้การไหลคงที่ตลอดช่วงการทำงานของมาตรวัดของเหลวเพื่อรักษาสภาวะเงื่อนไขการทำงานที่ได้กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ เช่น อัตราการไหล ความดันย้อนกลับ เป็นต้น

21. ตัวกรอง (Filters or Strainers) ทำหน้าที่สิ่งสำคัญที่สุดในการป้องกันมาตรวัดของเหลวที่อาจได้รับอันตรายและความเสียหายจากอนุภาคหรือสิ่งแปลกปลอมไหลเข้ามาตรวัดของเหลว ดังนั้นเราควรติดตั้ง filters or strainers ด้านก่อนทางเข้ามาตรวัด สำหรับขนาดความถี่ของตะแกรง (size of the mesh) ของตระกร้าตัวกรอง (filter baskets) ปกติแล้วจะถูกกำหนดจากบริษัทผู้ผลิตมาตรวัด ในบางกรณีอาจจะทำการติดตั้งตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือความถี่น้อยกว่าที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิตเพื่อต้องการลดความดันตก (pressure drop) ของระบบและเพิ่มอัตราการไหลแต่ต้องคำนึงถึงว่าผลดีและผลเสียด้วย ผลดีที่อาจได้รับ คือเป็นการลดความดันตกและเพิ่มอัตราการไหลเนื่องจากความดันตกคร่อมลดน้อยลง แต่ข้อเสียที่อาจเกิดขึ้นคืออายุการใช้งานของมาตรวัดลดลงเนื่องจากมาตรวัดได้รับความเสียหายจากการ

หลุดลอดของอนุภาคแปลกปลอมเข้ามาตรวัด อย่างเช่นในมาตรวัดชนิด Positive displacement meter ขนาดเล็กจะมีช่องว่างระหว่างปลายแผ่นเวน (vane) กับตัวเรือนมาตรวัด 0.08 มิลลิเมตรหรือ 0.003 นิ้ว ดังนั้นหากมีสิ่งแปลกปลอมซึ่งมีขนาดใหญ่กว่านี้หลุดเข้ามาตรวัด PD. ดังกล่าวจะทำให้อุดค้างติดอยู่ระหว่างปลายแผ่นเวน (vane tip) กับตัวเรือนมาตรวัด ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายให้กับมาตรวัด ดังนั้นควรมีวิธีการที่จะทำการตรวจสอบสภาวะการใช้งาน filter basket ด้วยการติดตั้งเกจวัดความดัน (pressure gauge) ก่อนและหลังทางเข้าตัวกรอง (Filters or Strainers) เพื่อเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าความดันตกคร่อมตัวกรองมีมากน้อยเพียงใด หากพบว่าความดันตกคร่อมตัวกรองสูงมากกว่าค่าปกตินั้นหมายถึงมีสิ่งแปลกปลอมถูกดักค้างอยู่ภายในตัวกรองมากให้รีบทำการถอดทำความสะอาดและตรวจสภาพว่ามีรอยฉีกขาดหรือไม่ แต่ถ้าหากไม่ได้ทำการติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อคอยตรวจสอบสภาพ filter basket โอกาสที่ filter basket จะฉีกขาดปล่อยให้สิ่งแปลกปลอมหลุดเข้ามาตรวัดของเหลวก็ยิ่งมีมากขึ้น

22. ก่อนทางเข้ามาตรวัดของเหลวระบบมาตรวัดต้องมีเครื่องกำจัดไอ หรืออากาศ (Vapor or Air Eliminator) หรือวิธีการอัตโนมัติอื่นๆ ที่ป้องกันไม่ให้ไอหรืออากาศ ผ่านเข้าไปในมาตรวัด ปกติแล้วมีเครื่องกำจัดไอ หรืออากาศเป็นเพียงถังเล็กๆ ใบหนึ่งติดตั้งอยู่ระหว่าง strainer และตัวมาตรวัดของเหลว แต่ต้องไม่ติดตั้งใกล้ตัวมาตรวัดมากเกินไปจนอาจทำให้เกิดการไหลหมุนวน (swirl) หรือทำลายรูปแบบการไหล (flow profile) อีกทั้งเป็นตัวลดความเร็วของเหลวโดยยอมให้ของเหลวค้างอยู่ภายในถังเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ในทางทฤษฎีช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลานานพอที่ให้อากาศหรือไอเกิดขึ้นภายในของเหลวไหลมาตามท่อได้ลอยตัวขึ้นส่วนบนสุดของมีเครื่องกำจัดไอ หรืออากาศเป็นผลให้มีการแบ่งชั้นระหว่างของเหลวและก๊าซหรือไอ โดยอากาศหรือไอจะอยู่ส่วนบนสุดและของเหลว อยู่ด้านล่าง เมื่อก๊าซหรือไอมีมากขึ้นจะส่งผลให้ไปกดให้ระดับของเหลวลดต่ำลง ในขณะเดียวกันวาล์วซึ่งอยู่ส่วนบนสุด (a float-activated vent valve) จะทำการเปิดไล่อากาศหรือไอออกไป

23. การเปลี่ยนขนาดท่อควรดำเนินการให้แล้วเสร็จก่อนเข้าสู่ระบบท่อในอาณาบริเวณระบบมาตรวัดของเหลว หากจำเป็นต้องลดขนาดท่อต้องเลือกใช้ท่อลด (reducer) แบบเยื้องศูนย์ (eccentric reducer) กับระบบท่อในแนวนอน และต้องใช้ท่อลดแบบตรงศูนย์ (concentric reducer) กับระบบท่อในแนวตั้ง แต่ต้องไม่กระทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรุ่นแรงหรือมากเกินไป ซึ่งอาจไปรบกวนความดันตกคร่อมมาตรวัดของเหลวให้เปลี่ยนแปลงไป และยังอาจทำให้อัตราการไหลผ่านมาตรวัดของเหลวเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน นอกจากนี้ในบางกรณีหากเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายในระบบท่อจากความดันสูงสู่ความดันต่ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดท่ออาจทำให้สถานะการไหลที่เป็นของเหลวล้วนๆ (single phase flow) เกิดมีฟองอากาศหรือเป็นไอผสมกับของเหลว (two phases flow) สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลต่อความแม่นยำของผลการวัดปริมาตรของมาตรวัดของเหลวทั้งสิ้น เพราะมาตรวัดของเหลวคือมาตรวัดของไหลที่อยู่ในสภาวะเดียวคือสภาวะของเหลวเท่านั้น

24. ในกรณีใช้มาตรวัดทำการวัดเพื่อรับผลิตภัณฑ์เข้าถังสำรองขนาดใหญ่ ให้ติดตั้งวาล์วกันกลับ (check valve) บริเวณด้านทางออกมาตรวัดของเหลวเพื่อป้องกันไม่ให้มาตรวัดวัดปริมาณของเหลวซ้ำอีกครั้งได้

25. กรณีความดันภายในระบบท่อมีความดันเป็นจังหวะ (pressure pulsation) หรือความดันเพิ่มขึ้นหรือลดลงภายในระบบมากเกินไปอาจจำเป็นต้องติดตั้ง surge tank หรือ expansion chambers หรือ pressure-limiting valve หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็น

26. Thermometer และ Pressure gauge ในระบบมาตรวัดของเหลวควรออกแบบให้สามารถวัดอุณหภูมิและความดันภายในระบบมาตรวัดของเหลวได้ด้วยโดย Thermometer ควรติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้มาตรวัดของเหลวมากที่สุดเท่าที่ทำได้เพื่อสามารถตรวจสอบอุณหภูมิของของเหลวภายในตัวมาตรวัดของเหลวได้ใกล้เคียงมากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อใช้แก้ไขอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันซึ่งมีผลต่อมาตรวัดและของเหลวที่ทำการวัดอัตราการไหลอยู่ขณะนั้น

27. ระบบสายกราวด์ประจำท่อต้องจัดให้เรียบร้อย หากระบบท่อมีระบบป้องกันการสึกหรอหรือกัดกร่อน (Cathodic protection) ต้องมั่นใจว่าไม่มีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้ามารบกวนการทำงานของตัวมาตรวัดของเหลว

28. แนวเชื่อมของระบบท่ออยู่บนที่รองรับท่อหรือไม่ หากพบต้องให้ทำการแก้ไข เพราะหากเมื่อท่อมีการขยายตัวยืดหดเพราะความร้อนในตอนกลางวันจะทำให้แนวเชื่อมขูดหรือเสียดสีกับที่รองรับท่อแล้วจะเกิดการรั่วไหลตามมา ส่งผลให้ระบบมาตรวัดของเหลวที่เราไปตรวจสอบให้คำรับรองไม่น่าเชื่อถือ บางคนอาจจะมีข้อโต้แย้งในใจว่าไม่ได้เกี่ยวกับงานชั่งตวงวัดเลย แต่ในความคิดของผู้เขียนหากเราทำงานอยู่ในอาชีพใดแล้ว ควรแสดงให้เห็นถึงคำว่า "มืออาชีพ" ด้วย (เป็นความเห็นของผู้เขียน)

29. หากระบบท่อของระบบมาตรวัดมีการเปลี่ยนทิศทางต่างระดับกันในบางช่วง ท่อในส่วนที่อยู่ระดับสูงที่สุดในแต่ละช่วงต้องจัดให้มี ท่อ Vent เพื่อระบายอากาศที่ค้างอยู่ในท่อถูกระบายและสำหรับท่อในส่วนที่อยู่ระดับต่ำสุดในแต่ละช่วงก็ต้องจัดท่อ drain เพื่อระบายน้ำที่เกิดจากการทดสอบแรงดันน้ำ (hydrostatic test) ไว้ด้วยเช่นกัน หรือเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าได้ filling line ระบบท่อโดยมีของเหลวเต็มภายในท่อสมบูรณ์? ดังนั้นการติดตั้งท่อ vent และท่อ drain ก็เพื่อต้องการระบายอากาศหรือของเหลวอย่างอื่นที่ไม่พึงประสงค์ในการวัดออกจากระบบท่อก่อนเข้าและออกจากมาตรวัดของเหลว ให้ภายในระบบท่อมีแต่ของเหลวที่ต้องการวัดเท่านั้นและอยู่ในสภาวะของเหลวเฟสเดียวเท่านั้นสำหรับมาตรวัดของเหลว

30. ระบบท่อมีการทาสีเป็นที่เรียบร้อยหรือไม่ มีสัญลักษณ์หรืออาจเป็นตัวอักษรบ่งบอกให้ทราบว่าเป็นท่อที่ใช้บริการของเหลวที่เราต้องการวัดปริมาตรด้วยมาตรวัดของเหลว หากไปเจอท่อที่ยังไม่ทาสีทับหน้าซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นระบบสี Epoxy สีบอรนซ์ เช่นไปเจอท่อซึ่งถูกทาสีรองพื้นสีแดงและตรงรอยต่อของท่อหรือแนวรอยเชื่อมท่อยังไม่มีการทาสี ก็แนะนำให้ถอยทัพกลับสำนักงานฯ ก่อนครับ อาจจะบอกว่ามันดึงไปก็ขอยอมรับ แต่มันเป็นวิธีการสร้างความน่าเชื่อถือและภาพพจน์เพื่อนำพาองค์กรไปยังระดับที่ได้รับการ

ยอมรับในระดับสากลเพราะงานนี้ไม่ใช่งานเล่นๆ กับบริษัทเล็กๆ บริษัทที่เราสัมผัสด้วยในลักษณะงานอย่างนี้ทุกคนคงทราบและตระหนักดีน่ะครับว่าเป็นอย่างไร

31. จัดให้มีท่อหรือวิธีการที่สามารถสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดของเหลวดังกล่าวได้ โดยให้มีวิธีการสอบเทียบ (proving) มาตรวัดของเหลวได้หลังจากติดตั้งมาตรวัดของเหลวโดยที่ยังคงมีสภาวะการทำงาน (เช่น ความดัน, อัตราการไหล, อุณหภูมิ และอื่นๆ) ไม่ต่างจากสภาวะขณะใช้งานทำการวัดปกติ

32. ภาพรวมแล้วมองว่าระบบท่อที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับระบบมาตรวัดอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานทันที ทันทีที่ผ่านการตรวจสอบให้คำรับรองหรือสอบเทียบจากสำนักงานกลางชั่งตวงวัด

33. การติดตั้งระบบท่อของระบบมาตรวัดต้องปฏิบัติตามกฎหมายของประเทศและคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

34. อื่นๆ อีกมากมาย ตอนนี้นึกไม่ออกครับ หากท่านใดนึกออกก็ขอให้บอกให้ทราบด้วย

ท่อ (Pipe)

จากประวัติศาสตร์อันยาวนานของอุตสาหกรรมการผลิตท่อ ในสมัยแรกๆ มาตรฐานของท่อจึงค่อนข้างจะแตกต่างกันตามผู้ผลิต จนได้มีวิวัฒนาการขึ้นมาเพื่อกำหนดมาตรฐานและแบ่งชั้นและชนิดของท่อเพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดย American Standard Association (ASA) ซึ่งก่อตั้งในปี 1918 ได้นิยามความหนาของท่อในรูปของ หมายเลข “Schedule No.” ซึ่งมีนิยามว่า

$$\text{Schedule No.} = \frac{1000 \times P}{S \times E}$$

เมื่อ

$$P = \text{Operating Pressure} \quad lb/in^2$$

S = Allowable Stress lb/in^2

E = The Quality Factor

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

American Standard Association (ASA) ได้กำหนดแนวทางการเลือกความหนาท่อที่มีความสัมพันธ์กับความดันออกแบบภายในท่อดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของความดันทำงานภายในระบบท่อกับความหนาท่อในค่าของ Schedule No.

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

Rule of Thumb: ในทางปฏิบัติหากเราไม่สามารถเปิดตารางหาคุณสมบัติของท่อได้ก็สามารถจำวิธีการลัดดังนี้คือ

$$\frac{\text{Actual inside diameter (inches)} + 3 \text{ inches}}{\text{The wall thickness (inches)}}$$

หากได้ผลลัพธ์ตกลงในช่วงใดก็จะทราบว่าท่อดังกล่าวจัดเป็นท่อ Schedule No. เท่าไร

ข้อจำกัดการใช้ Rule of Thumb คือ ใช้ไม่ได้กับ

- ขนาดท่อเล็กกว่า ∅ 6"
- Schedule 10 และ Schedule 20

ตารางที่ 2 ตารางหา Schedule No. ด้วยวิธีลัด

	$\frac{\text{Actual inside diameter (inches)} + 3 \text{ inches}}{\text{The wall thickness (inches)}}$		
Schedule 30	40	to	50
Schedule 40	29	to	39
Schedule 60	25	to	29
Schedule 80	20	to	23
Schedule 100	16	to	18
Schedule 120	13	to	15
Schedule 140	11	to	13
Schedule 160	9	to	11

ตัวอย่าง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) เท่ากับ 12.5 นิ้วและความหนาท่อเท่ากับ 0.75 นิ้ว จงหาว่าเป็นท่อ Schedule ใด

$$\frac{12.5+3}{0.75} = 20.2$$

จากตารางข้างบนท่อจัดเป็น ท่อ Schedule 80 มี เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) 14 นิ้ว ***Ans***

คุณสมบัติท่อที่ใช้งานในวงการอุตสาหกรรมโรงกลั่น, คลังน้ำมัน, ระบบขนส่งทางท่อและอื่นๆ ที่มีการใช้มาตรวัดของเหลวเพื่อใช้วัดเพื่อการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าและคิดคำนวณภาษีอากร (Custody transfer) ต่างใช้ท่อดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางท่อ

TABLE
PROPERTIES OF PIPE

(Reproduced by permission: *Piping Design and Engineering*, copyright 1951, Grinnel Company, Providence, R.I.)

The following formulas were used in the computation of the values shown in the table:

† Weight of pipe per foot (pounds) $= 10.6802t\,(D - t)$
Weight of water per foot (pounds) $= 0.3405d^2$
Square feet outside surface per foot $= 0.2618D$
Square feet inside surface per foot $= 0.2618d$
Inside area (square inches) $= 0.7854^2$
Area of metal (square inches) $= 0.785\,(D^2 - d^2)$
Moment of inertia (inches⁴) $= 0.0491\,(D^4 - d^4)$
$= A_M R_g^2$

Section modulus (inches³) $= \dfrac{0.0982\,(D^4 - d^4)}{D}$

Radius of gyration (inches) $= 0.25\,\sqrt{D^2 + d^2}$

A_M = Area of Metal (square inches)
d = Inside Diameter (inches)
D = Outside Diameter (inches)
R_g = Radius of Gyration (inches)
t = Pipe Wall Thickness (inches)

NOTE: a. A.S.A. B 36.10 Steel Pipe Schedule Numbers.
b. A.S.A. B 36.10 Steel Pipe Nominal Wall Thickness Designations.
c. A.S.A. B 36.19 Stainless Steel Pipe Schedule Numbers.

† The ferritic stainless steels may be about 5% less, and the austenitic stainless steels about 2% greater than the values shown in this table which are based on weights for carbon steel.

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.⁴	Section Modulus, in.³	Radius Gyration, in.
⅛ *0.405*	—	—	10S	0.049	0.307	0.0740	0.0548	0.106	0.0804	0.186	0.0321	0.00088	0.00437	0.1271
	40	Std	40S	0.068	0.269	0.0568	0.0720	0.106	0.0705	0.245	0.0246	0.00106	0.00525	0.1215
	80	XS	80S	0.095	0.215	0.0364	0.0925	0.106	0.0563	0.315	0.0157	0.00122	0.00600	0.1146
¼ *0.540*	—	—	10S	0.065	0.410	0.1320	0.0970	0.141	0.1073	0.330	0.0572	0.00279	0.01032	0.1694
	40	Std	40S	0.088	0.364	0.1041	0.1250	0.141	0.0955	0.425	0.0451	0.00331	0.01230	0.1628
	80	XS	80S	0.119	0.302	0.0716	0.1574	0.141	0.0794	0.535	0.0310	0.00378	0.01395	0.1547
⅜ *0.675*	—	—	10S	0.065	0.545	0.2333	0.1246	0.177	0.1427	0.423	0.1011	0.00586	0.01737	0.2169
	40	Std	40S	0.091	0.49	0.1910	0.1670	0.177	0.1295	0.568	0.0827	0.00730	0.02160	0.2090
	80	XS	80S	0.126	0.423	0.1405	0.2173	0.177	0.1106	0.739	0.0609	0.00862	0.02554	0.1991
½ *0.840*	—	—	10S	0.083	0.674	0.357	0.1974	0.220	0.1765	0.671	0.1547	0.01431	0.0341	0.2692
	40	Std	40S	0.109	0.622	0.304	0.2503	0.220	0.1628	0.851	0.1316	0.01710	0.0407	0.2613
	80	XS	80S	0.147	0.546	0.2340	0.320	0.220	0.1433	1.038	0.1013	0.02010	0.0478	0.2505
	160	—	—	0.187	0.466	0.1706	0.383	0.220	0.1220	1.304	0.0740	0.02213	0.0527	0.2402
	—	XXS	—	0.294	0.252	0.0499	0.304	0.220	0.0660	1.714	0.0216	0.02425	0.0577	0.2192
¾ *1.050*	—	—	5S	0.065	0.920	0.665	0.2011	0.275	0.2409	0.684	0.2882	0.02451	0.0467	0.349
	—	—	10S	0.083	0.884	0.614	0.2521	0.275	0.2314	0.857	0.2661	0.02970	0.0566	0.343
	40	Std	40S	0.113	0.824	0.533	0.333	0.275	0.2157	1.131	0.2301	0.0370	0.0706	0.334
	80	XS	80S	0.154	0.742	0.432	0.435	0.275	0.1943	1.474	0.1875	0.0448	0.0853	0.321
	160	—	—	0.218	0.614	0.2961	0.570	0.275	0.1607	1.937	0.1284	0.0527	0.1004	0.304
	—	XXS	—	0.308	0.434	0.1479	0.718	0.275	0.1137	2.441	0.0641	0.0579	0.1104	0.2840
1 *1.315*	—	—	5S	0.065	1.185	1.103	0.2553	0.344	0.310	0.868	0.478	0.0500	0.0760	0.443
	—	—	10S	0.109	1.097	0.945	0.413	0.344	0.2872	1.404	0.409	0.0757	0.1151	0.428
	40	Std	40S	0.133	1.049	0.864	0.494	0.344	0.2746	1.679	0.374	0.0874	0.1329	0.421
	80	XS	80S	0.179	0.957	0.719	0.639	0.344	0.2520	2.172	0.311	0.1056	0.1606	0.407
	160	—	—	0.250	0.815	0.522	0.836	0.344	0.2134	2.844	0.2261	0.1252	0.1903	0.387
	—	XXS	—	0.358	0.599	0.2818	1.076	0.344	0.1570	3.659	0.1221	0.1405	0.2137	0.361
1¼ *1.660*	—	—	5S	0.065	1.530	1.839	0.326	0.434	0.401	1.107	0.797	0.1038	0.1250	0.564
	—	—	10S	0.109	1.442	1.633	0.531	0.434	0.378	1.805	0.707	0.1605	0.1934	0.550
	40	Std	40S	0.140	1.380	1.496	0.669	0.434	0.361	2.273	0.648	0.1948	0.2346	0.540
	80	XS	80S	0.191	1.278	1.283	0.881	0.434	0.335	2.997	0.555	0.2418	0.2913	0.524
	160	—	—	0.250	1.160	1.057	1.107	0.434	0.304	3.765	0.458	0.2839	0.342	0.506
	—	XXS	—	0.382	0.896	0.631	1.534	0.434	0.2346	5.214	0.2732	0.341	0.411	0.472
1½ *1.900*	—	—	5S	0.065	1.770	2.461	0.375	0.497	0.463	1.274	1.067	0.1580	0.1663	0.649
	—	—	10S	0.109	1.682	2.222	0.613	0.497	0.440	2.085	0.962	0.2469	0.2599	0.634

* See note at top of table for definitions of columns a, b, and c.

TABLE (*Continued*). PROPERTIES OF PIPE

Nominal Pipe Size Outside Diameter, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.⁴	Section Modulus, in.³	Radius Gyration, in.
1¼	40	Std	40S	0.145	1.610	2.036	0.799	0.497	0.421	2.718	0.882	0.310	0.326	0.623
1.900	80	XS	80S	0.200	1.500	1.767	1.068	0.497	0.393	3.631	0.765	0.391	0.412	0.605
	160	—	—	0.281	1.338	1.406	1.429	0.497	0.350	4.859	0.608	0.483	0.508	0.581
	—	XXS	—	0.400	1.100	0.950	1.885	0.497	0.288	6.408	0.412	0.568	0.598	0.549
	—	—	5S	0.065	2.245	3.96	0.472	0.622	0.588	1.604	1.716	0.315	0.2652	0.817
	—	—	10S	0.109	2.157	3.65	0.776	0.622	0.565	2.638	1.582	0.499	0.420	0.802
2	40	Std	40S	0.154	2.067	3.36	1.075	0.622	0.541	3.653	1.455	0.666	0.561	0.787
2.375	80	XS	80S	0.218	1.939	2.953	1.477	0.622	0.508	5.022	1.280	0.868	0.731	0.766
	160	—	—	0.343	1.689	2.240	2.190	0.622	0.442	7.444	0.971	1.163	0.979	0.729
	—	XXS	—	0.436	1.503	1.774	2.656	0.622	0.393	9.029	0.769	1.312	1.104	0.703
	—	—	5S	0.083	2.709	5.76	0.728	0.753	0.709	2.475	2.499	0.710	0.494	0.988
	—	—	10S	0.120	2.635	5.45	1.039	0.753	0.690	3.531	2.361	0.988	0.687	0.975
2½	40	Std	40S	0.203	2.469	4.79	1.704	0.753	0.646	5.793	2.076	1.530	1.064	0.947
2.875	80	XS	80S	0.276	2.323	4.24	2.254	0.753	0.608	7.661	1.837	1.925	1.339	0.924
	160	—	—	0.375	2.125	3.55	2.945	0.753	0.556	10.01	1.535	2.353	1.637	0.894
	—	XXS	—	0.552	1.771	2.464	4.03	0.753	0.464	13.70	1.067	2.872	1.998	0.844
	—	—	5S	0.083	3.334	8.73	0.891	0.916	0.873	3.03	3.78	1.301	0.744	1.208
	—	—	10S	0.120	3.260	8.35	1.274	0.916	0.853	4.33	3.61	1.822	1.041	1.196
3	40	Std	40S	0.216	3.068	7.39	2.228	0.916	0.803	7.58	3.20	3.02	1.724	1.164
3.500	80	XS	80S	0.300	2.900	6.61	3.02	0.916	0.759	10.25	2.864	3.90	2.226	1.136
	160	—	—	0.437	2.626	5.42	4.21	0.916	0.687	14.32	2.348	5.03	2.876	1.094
	—	XXS	—	0.600	2.300	4.15	5.47	0.916	0.602	18.58	1.801	5.99	3.43	1.047
	—	—	5S	0.083	3.834	11.55	1.021	1.047	1.004	3.47	5.01	1.960	0.980	1.385
3½	—	—	10S	0.120	3.760	11.10	1.463	1.047	0.984	4.97	4.81	2.756	1.378	1.372
4.000	40	Std	40S	0.226	3.548	9.89	2.680	1.047	0.929	9.11	4.28	4.79	2.394	1.337
	80	XS	80S	0.318	3.364	8.89	3.68	1.047	0.881	12.51	3.85	6.28	3.14	1.307
	—	—	5S	0.083	4.334	14.75	1.152	1.178	1.135	3.92	6.40	2.811	1.249	1.562
	—	—	10S	0.120	4.260	14.25	1.651	1.178	1.115	5.61	6.17	3.96	1.762	1.549
	40	Std	40S	0.237	4.026	12.73	3.17	1.178	1.054	10.79	5.51	7.23	3.21	1.510
4	80	XS	80S	0.337	3.826	11.50	4.41	1.178	1.002	14.98	4.98	9.61	4.27	1.477
4.500	120	—	—	0.437	3.626	10.33	5.58	1.178	0.949	18.96	4.48	11.65	5.18	1.445
	160	—	—	0.531	3.438	9.28	6.62	1.178	0.900	22.51	4.02	13.27	5.90	1.416
	—	XXS	—	0.674	3.152	7.80	8.10	1.178	0.825	27.54	3.38	15.29	6.79	1.374
	—	—	5S	0.109	5.345	22.44	1.868	1.456	1.399	6.35	9.73	6.95	2.498	1.929
	—	—	10S	0.134	5.295	22.02	2.285	1.456	1.386	7.77	9.53	8.43	3.03	1.920
	40	Std	40S	0.258	5.047	20.01	4.30	1.456	1.321	14.62	8.66	15.17	5.45	1.878
5	80	XS	80S	0.375	4.813	18.19	6.11	1.456	1.260	20.78	7.89	20.68	7.43	1.839
5.563	120	—	—	0.500	4.563	16.35	7.95	1.456	1.195	27.04	7.09	25.74	9.25	1.799
	160	—	—	0.625	4.313	14.61	9.70	1.456	1.129	32.96	6.33	30.0	10.80	1.760
	—	XXS	—	0.750	4.063	12.97	11.34	1.456	1.064	38.55	5.62	33.6	12.10	1.722
	—	—	5S	0.109	6.407	32.2	2.231	1.734	1.677	5.37	13.98	11.85	3.58	2.304
	—	—	10S	0.134	6.357	31.7	2.733	1.734	1.664	9.29	13.74	14.40	4.35	2.295
6	40	Std	40S	0.280	6.065	28.89	5.58	1.734	1.588	18.97	12.51	28.14	8.50	2.245
6.625	80	XS	80S	0.432	5.761	26.07	8.40	1.734	1.508	28.57	11.29	40.5	12.23	2.195
	120	—	—	0.562	5.501	23.77	10.70	1.734	1.440	36.39	10.30	49.6	14.98	2.153
	160	—	—	0.718	5.189	21.15	13.33	1.734	1.358	45.30	9.16	59.0	17.81	2.104
5	—	XXS	—	0.864	4.897	18.83	15.64	1.734	1.282	53.16	8.17	66.3	20.03	2.060
	—	—	5S	0.109	8.407	55.5	2.916	2.258	2.201	9.91	24.07	26.45	6.13	3.01
	—	—	10S	0.148	8.329	54.5	3.94	2.258	2.180	13.40	23.59	35.4	8.21	3.00
	20	—	—	0.250	8.125	51.8	6.58	2.258	2.127	22.36	22.48	57.7	13.39	2.962
8	30	—	—	0.277	8.071	51.2	7.26	2.258	2.113	24.70	22.18	63.4	14.69	2.953
8.625	40	Std	40S	0.322	7.981	50.0	8.40	2.258	2.089	28.55	21.69	72.5	16.81	2.938
	60	—	—	0.406	7.813	47.9	10.48	2.258	2.045	35.64	20.79	88.8	20.58	2.909
	80	XS	80S	0.500	7.625	45.7	12.76	2.258	1.996	43.39	19.80	105.7	24.52	2.878

* See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c.

TABLE *(Continued)*. PROPERTIES OF PIPE

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number* a	b	c	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.⁴	Section Modulus, in.³	Radius Gyration, in.
8 *8.625*	100	—	—	0.593	7.439	43.5	14.96	2.258	1.948	50.87	18.84	121.4	28.14	2.847
	120	—	—	0.718	7.189	40.6	17.84	2.258	1.882	60.63	17.60	140.6	32.6	2.807
	140	—	—	0.812	7.001	38.5	19.93	2.258	1.833	67.76	16.69	153.8	35.7	2.777
	—	XXS	—	0.875	6.875	37.1	21.30	2.258	1.800	72.42	16.09	162.0	37.6	2.757
	160	—	—	0.906	6.813	36.5	21.97	2.258	1.784	74.69	15.80	165.9	38.5	2.748
10 *10.750*	—	—	5S	0.134	10.482	86.3	4.52	2.815	2.744	15.15	37.4	63.7	11.85	3.75
	—	—	10S	0.165	10.420	85.3	5.49	2.815	2.728	18.70	36.9	76.9	14.30	3.74
	20	—	—	0.250	10.250	82.5	8.26	2.815	2.683	28.04	35.8	113.7	21.16	3.71
	—	—	—	0.279	10.192	81.6	9.18	2.815	2.668	31.20	35.3	125.9	23.42	3.70
	30	—	—	0.307	10.136	80.7	10.07	2.815	2.654	34.24	35.0	137.5	25.57	3.69
	40	Std	40S	0.365	10.020	78.9	11.91	2.815	2.623	40.48	34.1	160.8	29.90	3.67
	60	XS	80S	0.500	9.750	74.7	16.10	2.815	2.553	54.74	32.3	212.0	39.4	3.63
	80	—	—	0.593	9.564	71.8	18.92	2.815	2.504	64.33	31.1	244.9	45.6	3.60
	100	—	—	0.718	9.314	68.1	22.63	2.815	2.438	76.93	29.5	286.2	53.2	3.56
	120	—	—	0.843	9.064	64.5	26.24	2.815	2.373	89.20	28.0	324	60.3	3.52
	140	—	—	1.000	8.750	60.1	30.6	2.815	2.291	104.13	26.1	368	68.4	3.47
	160	—	—	1.125	8.500	56.7	34.0	2.815	2.225	115.65	24.6	399	74.3	3.43
12 *12.750*	—	—	5S	0.165	12.420	121.2	6.52	3.34	3.25	19.56	52.5	129.2	20.27	4.45
	—	—	10S	0.180	12.390	120.6	7.11	3.34	3.24	24.20	52.2	140.5	22.03	4.44
	20	—	—	0.250	12.250	117.9	9.84	3.34	3.21	33.38	51.1	191.9	30.1	4.42
	30	—	—	0.330	12.090	114.8	12.88	3.34	3.17	43.77	49.7	248.5	39.0	4.39
	—	Std	40S	0.375	12.000	113.1	14.58	3.34	3.14	49.56	49.0	279.3	43.8	4.38
	40	—	—	0.406	11.938	111.9	15.74	3.34	3.13	53.53	48.5	300	47.1	4.37
	—	XS	80S	0.500	11.750	108.4	19.24	3.34	3.08	65.42	47.0	362	56.7	4.33
	60	—	—	0.562	11.626	106.2	21.52	3.34	3.04	73.16	46.0	401	62.8	4.31
	80	—	—	0.687	11.376	101.6	26.04	3.34	2.978	88.51	44.0	475	74.5	4.27
	100	—	—	0.843	11.064	96.1	31.5	3.34	2.897	107.20	41.6	562	88.1	4.22
	120	—	—	1.000	10.750	90.8	36.9	3.34	2.814	125.49	39.3	642	100.7	4.17
	140	—	—	1.125	10.500	86.6	41.1	3.34	2.749	139.68	37.5	701	109.9	4.13
	160	—	—	1.312	10.126	80.5	47.1	3.34	2.651	160.27	34.9	781	122.6	4.07
14 *14.000*	10	—	—	0.250	13.500	143.1	10.80	3.67	3.53	36.71	62.1	255.4	36.5	4.86
	20	—	—	0.312	13.376	140.5	13.42	3.67	3.50	45.63	60.9	314	44.9	4.84
	30	Std	—	0.375	13.250	137.9	16.05	3.67	3.47	54.57	59.7	373	53.3	4.82
	40	—	—	0.437	13.126	135.3	18.62	3.67	3.44	63.37	58.7	429	61.2	4.80
	—	XS	—	0.500	13.000	132.7	21.21	3.67	3.40	72.09	57.5	484	69.1	4.78
	—	—	—	0.562	12.876	130.2	23.73	3.67	3.37	80.66	56.5	537	76.7	4.76
	60	—	—	0.593	12.814	129.0	24.98	3.67	3.35	84.91	55.9	562	80.3	4.74
	—	—	—	0.625	12.750	127.7	26.26	3.67	3.34	89.28	55.3	589	84.1	4.73
	—	—	—	0.687	12.626	125.2	28.73	3.67	3.31	97.68	54.3	638	91.2	4.71
	80	—	—	0.750	12.500	122.7	31.2	3.67	3.27	106.13	53.2	687	98.2	4.69
	—	—	—	0.875	12.250	117.9	36.1	3.67	3.21	122.66	51.1	781	111.5	4.68
	100	—	—	0.937	12.126	115.5	38.5	3.67	3.17	130.73	50.0	825	117.8	4.63
	120	—	—	1.093	11.814	109.6	44.3	3.67	3.09	150.67	47.5	930	132.8	4.58
	140	—	—	1.250	11.500	103.9	50.1	3.67	3.01	170.22	45.0	1127	146.8	4.53
	160	—	—	1.406	11.188	98.3	55.6	3.67	2.929	189.12	42.6	1017	159.6	4.48
16 *16.000*	10	—	—	0.250	15.500	188.7	12.37	4.19	4.06	42.05	81.8	384	48.0	5.57
	20	—	—	0.312	15.376	185.7	15.38	4.19	4.03	52.36	80.5	473	59.2	5.55
	30	Std	—	0.375	15.250	182.6	18.41	4.19	3.99	62.58	79.1	562	70.3	5.53
	—	—	—	0.437	15.126	179.7	21.37	4.19	3.96	72.64	77.9	648	80.9	5.50
	40	XS	—	0.500	15.000	176.7	24.35	4.19	3.93	82.77	76.5	732	91.5	5.48
	—	—	—	0.562	14.878	173.8	27.26	4.19	3.89	92.66	75.4	813	106.6	5.46
	—	—	—	0.625	14.750	170.9	30.2	4.19	3.86	102.63	74.1	894	112.2	5.44
	60	—	—	0.656	14.688	169.4	31.6	4.19	3.85	107.50	73.4	933	116.6	5.43
	—	—	—	0.687	14.626	168.0	33.0	4.19	3.83	112.36	72.7	971	121.4	5.42
	—	—	—	0.750	14.500	165.1	35.9	4.19	3.80	122.15	71.5	1047	130.9	5.40
	80	—	—	0.843	14.314	160.9	40.1	4.19	3.75	136.46	69.7	1157	144.8	5.37

*See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c.

TABLE (*Concluded*). PROPERTIES OF PIPE

Nominal Pipe Size *Outside Diameter*, in.	Schedule Number*			Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Inside Area, sq in.	Metal Area, sq in.	Sq Ft Outside Surface, per ft	Sq Ft Inside Surface, per ft	Weight per ft, lb	Weight of Water per ft, lb	Moment of Inertia, in.⁴	Section Modulus, in.³	Radius Gyration, in.
	a	b	c											
	—	—	—	0.875	14.250	159.5	41.6	4.19	3.73	141.35	69.1	1193	154.1	5.36
16	100	—	—	1.031	13.938	152.6	48.5	4.19	3.65	164.83	66.1	1365	176.6	5.30
16.000	120	—	—	1.218	13.564	144.5	56.6	4.19	3.55	192.29	62.6	1556	194.5	5.24
	140	—	—	1.437	13.126	135.3	65.7	4.19	3.44	223.50	58.6	1760	220.0	5.17
	160	—	—	1.593	12.814	129.0	72.1	4.19	3.35	245.11	55.9	1894	236.7	5.12
	10	—	—	0.250	17.500	240.5	13.94	4.71	4.58	47.39	104.3	549	61.0	6.28
	20	—	—	0.312	17.376	237.1	17.34	4.71	4.55	59.03	102.8	678	75.5	6.25
	—	Std	—	0.375	17.250	233.7	20.76	4.71	4.52	70.59	101.2	807	89.6	6.23
	30	—	—	0.437	17.126	230.4	24.11	4.71	4.48	82.06	99.9	931	103.4	6.21
	—	XS	—	0.500	17.000	227.0	27.49	4.71	4.45	93.45	98.4	1053	117.0	6.19
	40	—	—	0.562	16.876	223.7	30.8	4.71	4.42	104.75	97.0	1172	130.2	6.17
18	—	—	—	0.625	16.750	220.5	34.1	4.71	4.39	115.98	95.5	1289	143.3	6.15
18.000	—	—	—	0.687	16.626	217.1	37.4	4.71	4.35	127.03	94.1	1403	156.3	6.13
	60	—	—	0.750	16.500	213.8	40.6	4.71	4.32	138.17	92.7	1515	168.3	6.10
	—	—	—	0.875	16.250	207.4	47.1	4.71	4.25	160.04	89.9	1731	192.8	6.06
	80	—	—	0.937	16.126	204.2	50.2	4.71	4.22	170.75	88.5	1834	203.8	6.04
	100	—	—	1.156	15.688	193.3	61.2	4.71	4.11	207.96	83.7	2180	242.2	5.97
	120	—	—	1.375	15.250	182.6	71.8	4.71	3.99	244.14	79.2	2499	277.6	5.90
	140	—	—	1.562	14.876	173.8	80.7	4.71	3.89	274.23	75.3	2750	306	5.84
	160	—	—	1.781	14.438	163.7	90.7	4.71	3.78	308.51	71.0	3020	336	5.77
	10	—	—	0.250	19.500	298.6	15.51	5.24	5.11	52.73	129.5	757	75.7	6.98
	—	—	—	0.312	19.376	294.9	19.30	5.24	5.07	65.40	128.1	935	93.5	6.96
	20	Std	—	0.375	19.250	291.0	23.12	5.24	5.04	78.60	126.0	1114	111.4	6.94
	—	—	—	0.437	19.126	287.3	26.86	5.24	5.01	91.31	124.6	1286	128.6	6.92
	30	XS	—	0.500	19.000	283.5	30.6	5.24	4.97	104.13	122.8	1457	145.7	6.90
	—	—	—	0.562	18.876	279.8	34.3	5.24	4.94	116.67	121.3	1624	162.4	6.88
	40	—	—	0.593	18.814	278.0	36.2	5.24	4.93	122.91	120.4	1704	170.4	6.86
20	—	—	—	0.625	18.750	276.1	38.0	5.24	4.91	129.33	119.7	1787	178.7	6.85
20.000	—	—	—	0.687	18.626	272.5	41.7	5.24	4.88	141.71	118.1	1946	194.6	6.83
	—	—	—	0.750	18.500	268.8	45.4	5.24	4.84	154.20	116.5	2105	210.5	6.81
	60	—	—	0.812	18.376	265.2	48.9	5.24	4.81	166.40	115.0	2257	225.7	6.79
	—	—	—	0.875	18.250	261.6	52.6	5.24	4.78	178.73	113.4	2409	240.9	6.77
	80	—	—	1.031	17.938	252.7	61.4	5.24	4.70	208.87	109.4	2772	277.2	6.72
	100	—	—	1.281	17.438	238.8	75.3	5.24	4.57	256.10	103.4	3320	332	6.63
	120	—	—	1.500	17.000	227.0	87.2	5.24	4.45	296.37	98.3	3760	376	6.56
	140	—	—	1.750	16.500	213.8	100.3	5.24	4.32	341.10	92.6	4220	422	6.48
	160	—	—	1.968	16.064	202.7	111.5	5.24	4.21	379.01	87.9	4590	459	6.41
	10	—	—	0.250	23.500	434	18.65	6.28	6.15	63.41	188.0	1316	109.6	8.40
	—	—	—	0.312	23.376	430	23.20	6.28	6.12	78.93	186.1	1629	135.8	8.38
	20	Std	—	0.375	23.250	425	27.83	6.28	6.09	94.62	183.8	1943	161.9	8.35
	—	—	—	0.437	23.126	420	32.4	6.28	6.05	109.97	182.1	2246	187.4	8.33
	—	XS	—	0.500	23.000	415	36.9	6.28	6.02	125.49	180.1	2550	212.5	8.31
	30	—	—	0.562	22.876	411	41.4	6.28	5.99	140.80	178.1	2840	237.0	8.29
	—	—	—	0.625	22.750	406	45.9	6.28	5.96	156.03	176.2	3140	261.4	8.27
24	40	—	—	0.687	22.626	402	50.3	6.28	5.92	171.17	174.3	3420	285.2	8.25
24.000	—	—	—	0.750	22.500	398	54.8	6.28	5.89	186.24	172.4	3710	309	8.22
	60	—	—	0.968	22.064	382	70.0	6.28	5.78	238.11	165.8	4650	388	8.15
	80	—	—	1.218	21.564	365	87.2	6.28	5.65	296.36	158.3	5570	473	8.07
	100	—	—	1.531	20.938	344	108.1	6.28	5.48	367.40	149.3	6850	571	7.96
	120	—	—	1.812	20.376	326	126.3	6.28	5.33	429.30	141.4	7830	652	7.87
	140	—	—	2.062	19.876	310	142.1	6.28	5.20	483.13	134.5	8630	719	7.79
	160	—	—	2.343	19.314	293	159.4	6.28	5.06	541.94	127.0	9460	788	7.70
	10	—	—	0.312	29.376	678	29.1	7.85	7.69	98.93	293.8	3210	214	10.50
30	20	—	—	0.500	29.000	661	46.3	7.85	7.59	157.53	286.3	5040	336	10.43
30.000	30	—	—	0.625	28.750	649	57.6	7.85	7.53	196.08	281.5	6220	415	10.39

* See note on page 48 for definitions of columns a, b, and c.

ท่อที่ใช้กับระบบมาตรวัดของเหลวปิโตรเลียมส่วนใหญ่จะเป็น

- ท่อไร้ตะเข็บ (seamless pipe) หรือ ERW (Electric Resistance Weld)
- การติดตั้งระบบท่อเหนือพื้นดิน (above ground)
- มีความหนาท่อ Schedule 40 และ 80
- ความดันและอุณหภูมิออกแบบระบบท่อ อยู่ที่ประมาณ 18-19 barg (250-280 psig) และ 50-60 °c
- ขนาดท่อ nominal size จะพบ Ø 3", Ø 4", Ø 6", Ø 10", Ø 12" และใหญ่กว่านี้หากเป็นระบบขนส่งทางท่อ โดย

Nominal size	Schedule
Ø 1/2"- Ø 1 1/2"	Schedule 80
Ø 2" - Ø 6"	Schedule 40
Ø 8" - Ø 14"	Schedule 20

Pipe กับ Tube

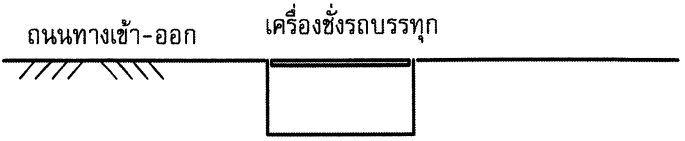
บางคนอาจสับสนคำว่าท่อ (pipe) กับ tube ต่างกันหรือไม่ ตอบว่าต่างกันน่ะครับ tube จะบ่งบอกขนาดโดยใช้ค่าเดียวกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก tube (OD) ในขณะเดียวกันการบ่งบอกขนาดท่อจะใช้เป็นค่า Nominal size ซึ่งจะไม่เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) แต่ท่อทุกขนาดแม้ค่าความหนาท่อหรือค่า schedule ต่างกันแต่ที่ Nominal size เดียวกันจะมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) เท่ากัน

ทางเข้าและทางออก เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกควรเป็นอย่างไร

เคยมีโอกาสได้ออกต่างจังหวัดและเข้าตรวจเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกอยู่ครั้งหนึ่ง (แต่หลายวันและหลายเครื่องชั่ง แน่นอนล่ะครับรวมไปถึงหลายสถานที่) สังเกตเห็นว่าลักษณะการติดตั้งและสถานที่ติดตั้งเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันไป บ้างพบว่าติดตั้งได้ดีและเหมาะสม บ้างก็ดูแล้วน่าเหนื่อยใจแทนหากต้องไปปฏิบัติงานในสถานที่ดังกล่าว เช่นพบว่า เครื่องชั่งติดตั้งอยู่ในที่โล่งกลางแดดกลางฝนแต่ก็มีผ้าเต้นท์ปิดเฉพาะคันชั่งที่แสดงผลการชั่ง บางแห่งเพื่อต้องการหนีภาวะน้ำท่วมก็สร้างเป็นเนินดินสูงๆ แล้วติดตั้งเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกไว้บริเวณยอดเนินดิน เวลารถยนต์บรรทุกที่ต้องการชั่งน้ำหนักที่หนึ่งก็ต้องเร่งเครื่องยนต์ขึ้นมาตามทางลาดชันสูงเข้าหาแท่นชั่งน้ำหนัก ลำพังรถยนต์บรรทุกเองวิ่งทางเรียบก็ยังไปด้วยความลำบากอยู่แล้ว คราวนี้พอรถยนต์บรรทุกถึงส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) รถยนต์บรรทุกก็เบรกซิครับ จากนั้นก็จะได้ยินเสียงแท่นชั่งน้ำหนักขยับแกว่งไปมาชนกับขอบบ่อของส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) ดูแล้วเครื่องชั่งน้ำหนักคงมีอายุการใช้งานสั้นมากแน่นอนครับถ้าเป็นอย่างนี้ อันนี้ไม่ต้องไปวิเคราะห์ Stress, Strain, Shear Moment, หรือ Torsion หรอกน่ะครับ ในขณะเดียวกันบางสถานที่ลืมนึกถึงภาวะน้ำท่วมปรากฏว่าน้ำเกิดเข้าไปขังอยู่ภายในบ่อของส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) หรือบางครั้งบ่อเกิดแตกร้าวมีน้ำซึมเข้ามา เมื่อถึงเวลาใช้งานก็ใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำออกจากบ่อของแท่นชั่งเสียครั้งหนึ่ง โดยไม่ได้ลงไปทำการตรวจสอบ (ใครจะกล้าเพราะบางครั้งงูก็ลงไปอยู่เล่นเสียก็มี) ชิ้นส่วนของเครื่องชั่งโดยเฉพาะชิ้นส่วนที่มีการถ่ายทอดน้ำหนักไปสู่ส่วนแสดงผลการชั่งหรือชิ้นส่วนกลไกที่มีการเคลื่อนที่ขณะทำการชั่งน้ำหนักว่ามีสนิมหรือฝืดมากน้อยเพียงใด แต่งานนี้ที่แน่ๆ มีได้มีเสียแน่นอนครับ อย่างว่าแต่ตามชนบทเลยครับ ขณะในโรงงานที่ทันสมัยเองก็เถอะครับไม่ทราบว่าเป็นเพราะการก่อสร้างเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกเกิดขึ้นทีหลังโดยไม่มี

การวางแผนไว้หรือมาทำการปรับปรุงสถานที่เอาทีหลังก็ตามทีเถอะ พบว่าจะทำการก่อสร้างเป็นเนินขึ้นส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) และเนินลงจากแท่นชั่งน้ำหนัก ลักษณะเครื่องชั่งนี้มีทั้งเป็นแท่นชั่งที่เป็นโครงสร้างโลหะโดยมีการติดตั้งโหลดเซลไว้ใต้โครงสร้างโลหะที่ทำเป็นแท่นชั่งน้ำหนัก บ้างก็เป็นบ่อลึกลงไปจากระดับผิวถนนสำหรับวางแท่นชั่งน้ำหนัก ดังนั้นเมื่อรถยนต์บรรทุกวิ่งขึ้นแท่นชั่งน้ำหนักก็ต้องทำการเร่งด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นระดับหนึ่งเมื่อรถอยู่บนแท่นชั่งก็จะทำการเบรคส่งผลให้แท่นชั่งมีการสั่นและต้องรับแรงเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ปัญหาเดิมๆ อีกแล้วครับท่าน ในบางสถานที่ซึ่งจำกัดด้วยพื้นที่ ก็จะมีลักษณะการติดตั้งเครื่องชั่งแบบเข้า-ออกทางเดี่ยว คือเมื่อรถยนต์วิ่งเข้าหาเครื่องชั่งแล้วทำการชั่งน้ำหนักเสร็จรถยนต์บรรทุกก็ต้องทำการวิ่งถอยหลังย้อนกลับมาทางเดิม ดังนั้นในช่วงรถยนต์บรรทุกออกตัวถอดหลังนี้ซิครับมันก็ก่อให้เกิดแรงกระแทกได้เช่นกัน เอาละยกตัวอย่างมาก็เยอะแล้วคราวนี้มาดูซิครับว่าเราควรทำการก่อสร้างทางเข้าออกเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกกันอย่างไรจึงจะเหมาะสม

การออกแบบทางเข้าและทางออกเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกมีหลักการอยู่ว่าควรออกแบบให้รถยนต์บรรทุกซึ่งแบกน้ำหนักบรรทุกมากๆอยู่แล้วนั้นวิ่งเข้าสู่ส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) ด้วยความเร็วช้าๆ อย่างต่อเนื่องและสามารถหยุดได้อย่างนิ่มนวลเมื่อตัวรถยนต์อยู่บนแท่นชั่งเป็นที่เรียบร้อย และรถยนต์บรรทุกสามารถเคลื่อนตัวออกไปจากแท่นชั่งด้วยความเร็วช้าๆ ไม่ต้องเร่งมากนักออกไปอย่างนิ่มนวล หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าถนนทางเข้าและทางออกจากแท่นชั่งน้ำหนักต้องอยู่ในระดับเดียวกันตลอดให้รับกันทั้งตัวถนนก่อนขึ้นบนเครื่องชั่งและทางออกจากเครื่องชั่งเพื่อให้รถยนต์วิ่งกลับเข้าสู่ถนนหลักต่อไป ดังนั้นในการทำบ่อสำหรับวางเครื่องชั่งนั้นเมื่อติดตั้งเสร็จพร้อมใช้งาน แท่นชั่งน้ำหนัก (platform) ของเครื่องชั่งส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับล้อรถยนต์บรรทุกนั้นแหละครับ ต้องเท่ากันกับระดับพื้นถนนทั้งทางเข้าและทางออก (ดังในรูปข้างล่าง) อีกทั้งควรมีโครงหลังคาสร้างครอบคลุมบริเวณหลุมที่ใช้สร้างเครื่องชั่งทั้งนี้เพื่อป้องกันฝนและแสงแดดและป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิคโดนแสงแดดความร้อนและความชื้นมากจนเกินไป



การที่ต้องการให้ระดับพื้นถนนและถนนทางเข้าออกเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกเป็นทางราบเรียบอยู่ในระดับเดียวกัน เนื่องจากเราไม่ต้องการให้รถยนต์วิ่งเข้าออกจากเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นการกระทำให้เกิดแรงกระแทกตัวเครื่องชั่งรุนแรงมากจนเกินไป หากส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) ของเครื่องชั่งน้ำหนักอยู่ระดับสูงกว่าระดับถนนทางเข้าออกจากตัวเครื่องชั่ง เมื่อรถยนต์บรรทุกวิ่งเข้ามาต้องทำการเร่งความเร็วเพื่อให้รถยนต์ขึ้นบนเครื่องชั่ง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงกระแทกให้กับเครื่องชั่ง และเมื่อรถยนต์บรรทุกเคลื่อนตัวอยู่บนเครื่องชั่งและเบรกเพื่อหยุดรถ ถึงแม้เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกได้รับการออกแบบให้โครงสร้างที่รองรับส่วนรองรับน้ำหนัก(platform) มีการให้ตัวได้หรือรองรับการโยกคลอนของส่วนรองรับน้ำหนักได้ระดับหนึ่งเพื่อลดแรงกระชากจากการเบรครถที่เกิดขึ้นขณะนั้น โดยจะเห็นได้ว่าแท่นชั่งจะมีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า-หลังตามแนวของตัวรถยนต์บรรทุกชั่วครู่ก่อนที่แท่นชั่งของเครื่องชั่งจะหยุดนิ่งพร้อมชั่งน้ำหนักต่อไป แต่หากรถยนต์บรรทุกเบรกรถเพื่อหยุดอย่างรุนแรง ความสามารถให้ตัวได้ของแท่งชั่งอาจเกินขอบเขตที่สามารถทนทานได้ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายตามมา เช่นกันเมื่อรถยนต์บรรทุกเคลื่อนที่ออกไปหากทางออกมีความลาดชันอีกก็จะไปเพิ่มภาระแรงกระแทกให้กับส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งอีกเช่นกัน

และในบางกรณี พบว่าบางสถานที่ไม่สามารถกำหนดทิศทางรถบรรทุกให้วิ่งเข้าออกเครื่องชั่งได้ ดังนั้นนับเป็นเรื่องดีหากระดับพื้นถนนกับระดับพื้นของส่วนรองรับน้ำหนักเป็นระดับเดียวกันทั้งทางเข้าและทางออก

สำหรับการจัดทางวิ่งเข้าออกเครื่องชั่งควรเป็นทางที่แยกออกมาจากถนนเส้นทางหลักเพื่อป้องกันไม่ให้รถยนต์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการชั่งน้ำหนักวิ่งผ่านส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) โดยไม่จำเป็น นอกจากนี้ทางที่แยกออกมาจากถนนเส้นทางหลักต้องมีระยะทางยาวที่เหมาะสม โดยควรมีระยะทางตรงก่อน

เข้าและออกจากเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่ยาวมากเพียงพอที่ทำให้รถยนต์บรรทุกที่คาดว่าจะต้องวิ่งเข้ามาทำการชั่งน้ำหนักมีการจัดวางตัวรถยนต์บรรทุก (ซึ่งอาจมีรถพ่วง) ทั้งหมดอยู่ในแนวเส้นตรงก่อนที่วิ่งเข้าสู่เครื่องชั่งช้าๆไม่ต้องเร่งความเร็วและเมื่อล้อทั้งหมดของรถบรรทุกอยู่บนส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่ง (platform) แล้วก็ค่อยเบรกรถให้หยุดนิ่งพร้อมใส่เบรกมือ คนขับลงจากรถยนต์บรรทุกพร้อมทำการชั่งน้ำหนัก ในขณะที่รถยนต์บรรทุกเคลื่อนตัวออกจากส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่งก็ไม่ต้องทำการหักเลี้ยวอยู่บนส่วนรองรับน้ำหนักหรือแท่นชั่งเท่านี้เราก็จะสามารถใช้เครื่องชั่งรถบรรทุกได้ยาวนานขึ้นและยังให้ผลการชั่งน้ำหนักที่น่าเชื่อถือยาวนานขึ้น

ในส่วนปลีกย่อยแต่ก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน ก็คือเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่เป็นชนิดโหลดเซลควรติดตั้งเครื่องชั่งให้ห่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง หรือ มอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นแหล่งส่งคลื่นพลังงาน (Electric noise) รบกวนการทำงานของเครื่องชั่งได้

เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกควรมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) เท่าใดจึงเหมาะสม

เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่เรากล่าวในที่นี้เป็นเครื่องชั่งที่ติดตั้งอยู่กับที่อย่างถาวร การที่จะสามารถใช้เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกเพื่อเป็นตัวบ่งบอกปริมาณสินค้าที่รถยนต์บรรทุกอยู่เพื่อวัตถุประสงค์ในการซื้อขายแลกเปลี่ยนในเชิงพาณิชย์ เครื่องชั่งดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III ตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง อาศัยอำนาจตาม พ.ร.บ. ชั่งตวงวัด 2542

ในทางเทคนิค เนื่องจากเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกเป็นเครื่องชั่งที่ติดตั้งโดยสัมผัสกับสภาวะอากาศสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงต้องสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงทุกสภาวะไม่ว่าจะเป็น ฝนตก แสงแดด ความชื้น และฝุ่นละออง เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากมากพอสมควรที่จะสามารถทำให้เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกมีความเที่ยงอยู่ในชั้นความเที่ยง III ตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งานโดยมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง(n) เกินกว่า 3,000 ช่อง ซึ่งดูเหมือนว่าจำนวนน้อยช่องเกินไปจริงๆ แต่ผลดีที่ได้มานั่นก็คือจะให้ผลการชั่งน้ำหนักที่น่าเชื่อถือสูงตลอดช่วงการใช้งานแม้ว่าผลการชั่งน้ำหนักอาจให้ค่าที่หยาบไปบ้างก็ตาม แต่เอาละเทคโนโลยีก็อาจมีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาเพิ่มขึ้น ดังนั้นอย่างดีที่สุดก็ไม่น่าเกิน 5,000 ช่องก็เลิศแล้ว มีหลายครั้งที่เจ้าของเครื่องชั่งขอร้องหรือต้องการให้ผู้ผลิตหรือผู้ติดตั้งเครื่องชั่งให้สร้างเครื่องชั่งที่สามารถอ่านละเอียดให้มากๆ แน่ละผู้ผลิตย่อมไม่ต้องการเสียลูกค้าไป อาจยินยอมที่จะทำให้เครื่องชั่งตัวเองอ่านได้ละเอียดถึง 8,000 ช่อง แต่พอเอาเข้าจริงๆจะพบว่าให้ผลการชั่งที่ไม่น่าเชื่อถือเอาเสียเลยครับและอาจย่ำแย่กว่าเครื่องชั่งที่มีขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง3,000–5,000 ช่องเสียด้วยซ้ำ แต่ก็ยอมรับว่าในเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกแบบกลไกรุ่นเก่าๆ นั้นสามารถทำได้ดีมากและให้จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง(n) เกินกว่า 3,000 ช่องและยังคงมีความแม่นยำอยู่ อย่างนี้บางครั้งก็ต้องยอมรับครับ แต่ในที่นี้เราพูดใน

กรณีทั่วๆไป ก็แล้วกัน

ก่อนอื่นเรามาทำความรู้จักกับวิธีการหาจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง(n) ดังแสดงได้ในสมการข้างล่างนี้ ตาม OIML R76 (Nonautomatic weighing instrument)

$$n = \frac{Max}{e} \leq 3000$$

หากพิจารณาเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชั้นความเที่ยง III ในที่นี้ก็คือเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกนั้นเอง สามารถมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) ได้สูงสุดถึง 10,000 ช่อง ตาม OIML R76 กำหนดไว้ก็ตาม แต่เนื่องจากน้ำหนักของส่วนรองรับน้ำหนักรถยนต์บรรทุก (Platform) นั้นปกติเป็นโครงสร้างโลหะที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก โดยเฉพาะเครื่องชั่งรุ่นเก่าๆ จะมีคานเชื่อมโยงเพื่อส่งผ่านน้ำหนักที่ทดกันไปทดกันมาเพื่อส่งมายังส่วนแสดงค่าชนิดคันชั่ง ดังนั้นการที่จะทำให้มีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) ได้สูงสุดถึง 10,000 ช่อง สำหรับเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกชั้นความเที่ยง III นั้นจึงเป็นเรื่องยาก ถึงแม้ว่าเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกในปัจจุบันจะหันมาใช้ Strain gauge load cells มาแทนที่ระบบคานทดส่งกำลังก็ตาม ดังนั้นน้ำหนักของส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกจึงถือเป็น Dead weight หรือ dead load ของระบบเครื่องชั่งนี้ไปและถือว่ามีน้ำหนักค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วง 20-25% ของพิกัดกำลังของโหลดเซลที่เลือกใช้

ในบางครั้งเราอาจพบว่าเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่ใช้ Strain gauge load cells จะมีส่วนแสดงผลการชั่งน้ำหนักซึ่งอาจให้ค่าจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) สูงเกือบ 10,000 ช่อง อย่างนี้ก็ขอให้พึงระวังด้วยว่าอาจจะเป็นการกระทำที่ไม่เหมาะสมกับการเลือกและเซ็ทค่าส่วนแสดงผลการชั่ง หรือที่เรียกว่า digital display หรือ load cell digitizer ซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่รับสัญญาณจาก Strain gauge load cells มาขยายสัญญาณ, กรองสัญญาณ, ประมวลผลและแสดงผล เป็นส่วนที่มี CPU หรือสมองกลในการทำงานทั้งหมดของเครื่องชั่ง ดังนั้นหากการเลือก digital display

ไม่สอดคล้องกับชนิดและรุ่นของ Strain gauge load cells ความถูกต้องแม่นยำหรือการเบี่ยงเบนของการทำงานเครื่องชั่งแบบนี้ก็จะให้ผลไม่น่าเชื่อถือเช่นกัน เพราะส่วน digital display เองสามารถแบ่งย่อยสัญญาณที่ได้รับจาก Strain gauge load cells ให้ละเอียดย่อยลงมากขึ้นซึ่งเสมือนเป็นการเพิ่ม จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองนั่นเอง แต่ในขณะเดียวกันก็จะไปลดความน่าเชื่อถือเนื่องจากความแรงของสัญญาณเมื่อแบ่งย่อยลงมากๆ ย่อมมีปริมาณความแรงของสัญญาณน้อยลงส่งผลให้สัญญาณดังกล่าวง่ายต่อการถูกผลกระทบจากภายนอกหรือโดยรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้ง่ายเพิ่มขึ้นเช่นกัน

อาจจะไม่ใช่สูตรลัดเพียงแต่เป็นการประมาณการ พบว่าสำหรับเครื่องชั่งที่ใช้โหลดเซลซึ่งใช้ Strain gauge หลายตัวมาต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริด (เรื่องนี้ต้องไปหาอ่านในหนังสือ "การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ" ของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด) แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริด (the bridge's output voltage) ที่จะก่อให้ส่วนแสดงค่าแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1e (ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง) ของโหลดเซล จะมีค่าประมาณ 10^{-6} เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังวงจรวีทสโตนบริดเพื่อกระตุ้นโหลดเซล (the bridge's supplier voltage) หรือเรียกว่าแรงดันกระตุ้นวงจร ดังนั้นหากต้องการเครื่องชั่งมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง 10,000 ช่อง ยกตัวอย่างเช่น แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังวงจรวีทสโตนบริดเพื่อกระตุ้นโหลดเซล 12.5 DVC ดังนั้น 1e/โหลดเซล = $10^{-6} \times 12.5 = 1.25 \times 10^{-5}$ V = 0.125 μV/โหลดเซล หากเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกใช้โหลดเซล 4 ตัวแล้ว 1e ของเครื่องชั่งเท่ากับ 4×0.125 μV = 0.5 μV จะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกที่เกิดจาก Strain gauge load cells หลายตัวมาต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริดหลังจากมีน้ำหนักกระทำมีค่าน้อยมากในการที่ต้องแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบนเครื่องชั่ง 1 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) การสูญเสียแรงดันสัญญาณจึงน่าเป็นห่วงอีกเรื่องหนึ่ง หากเราต้องการความน่าเชื่อถือจากการทำงานของเครื่องชั่งที่ต้องรับการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะสิ่งแวดล้อม รวมทั้งฝุ่นละออง การเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกที่เกิดจาก Strain gauge load cells หลายตัวมาต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริดหลังจากมีน้ำหนักกระทำมีค่าน้อย

มากในการที่ต้องแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบนเครื่องชั่ง 1 ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) หรือพูดอีกนัยหนึ่งเป็นการลดจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองให้น้อยกว่า 10,000 ช่อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าที่ค่าจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองประมาณ 3,000–5,000 ช่อง จึงน่าจะเหมาะสมและน่าเชื่อถือสูงมากกว่า

ในทางปฏิบัติพบว่าเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่ใช้โหลดเซลชนิด Strain gauge load cells หลายตัว โดยที่พิกัดกำลังสูงสุดใช้งานของโหลดเซลแต่ละตัวจะให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริด (the bridge's output voltage) ของ Strain gauge ประมาณ 1.5–2.5 mVต่อ V แรงดันไฟฟ้ากระตุ้น ดังนั้นหากแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นมีค่าเท่ากับ 10 V ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริดของโหลดเซลตัวนั้นมีค่าเท่ากับ 15–25 mV ในที่นี้เราเลือกโหลดเซลที่ให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริดของ Strain gauge เท่ากับ 20 mV และหากเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกใช้โหลดเซลตัวดังกล่าวจำนวน 4 ตัว จะได้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 4 × 20 mV = 80 mV ตามที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้นว่าโหลดเซลดังกล่าวต้องรับภาระน้ำหนักของส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกซึ่งถือเป็น Dead weight หรือ dead load ของระบบเครื่องชั่งในที่นี้ให้ประมาณเท่ากับ 25% ของพิกัดกำลังของระบบโหลดเซลทั้งหมดที่เลือกใช้ ดังนั้นที่พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกจะได้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 60 mV (0.75 × 80 mV) และที่ภาวะไม่มีน้ำหนักจะมีแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 0 mV ดังนั้นหากเครื่องชั่งมีพิกัดกำลังสูงสุด 30 ตันและต้องการจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองประมาณ 3,000 ช่อง จะได้ว่า 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองมีค่าเท่ากับ 10 kg (30,000 kg/3,000 ช่อง) และมีแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 20 μV ต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (60 mV / 3,000 ช่อง) แรงดันไฟฟ้าระดับนี้จะดีและปลอดภัยจาการรบกวนของ electric noise ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าแรงดันสูง หรือเกิดจาก electric arcs รวมถึงสนามแม่เหล็กเป็นต้น ซึ่งมักจะมีค่าอยู่ในช่วง 8–10 μV ดังนั้นหากเครื่องชั่งให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดต่อ 1 ช่อง

ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองยิ่งน้อยลงเท่าไร โอกาสที่โดยรบกวนมากยิ่งขึ้นเท่านั้น โดยจะส่งผลต่อผลการชั่งให้ผิดพลาดไปและลดความเสถียรภาพของผลการชั่งและการทำงานของเครื่องชั่ง

ดังนั้นเพื่อป้องกันการรบกวนดังกล่าวจึงเป็นเรื่องจำเป็นและสำคัญ จึงควรออกแบบให้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดของระบบชั่งน้ำหนักต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองมีค่าสูงกว่า the noise level นี้แหละครับคือเหตุผลของการจำกัดจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองไม่ให้สูงมากจนเกินไปสำหรับเครื่องชั่งรถยนต์บรรทุกที่ใช้โหลดเซล เหตุผลหนึ่ง

ยกตัวอย่างเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติที่ใช้สำหรับการซื้อขายแลกเปลี่ยน ตอบแทนในรูปต่างๆ หรือการนำผลไปคิดค่าภาษีอากร ควรอยู่ในชั้นความเที่ยงและควรมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) ได้ดังในตารางข้างล่าง

	ชั้นความเที่ยง (OIML R76)	**จำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง** $n = \frac{Max}{e}$
เครื่องชั่งรถยนต์บรรทุก (Truck Scale or Lorry Weighers)	III	≤ 3,000 – 5,000
เครื่องชั่งสำหรับขายปลีกต่อสาธารณะชนโดยตรง (Retail Scales)	III	≤ 6,000
Crane Weighers	III	≤ 2,000

จากตารางข้างบนนี้ไม่ใช่เป็นกฎเกณฑ์อะไรที่ตายตัวมากนัก เพียงเป็นการแนะนำค่าหรือเพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดซื้อหรือใช้ในการออกแบบ โดยช่วง

ค่าที่แนะนำนี้เป็นแนวความคิดค่อนไปทางอนุรักษ์นิยมน่ะครับ แต่ผมชอบครับ เพราะมั่นใจได้นานแม้นจะได้ผลการชั่งที่อาจจะหยาบไปบ้างก็ตาม

เครื่องชั่งกับ
ใบรับรองรายงานผลการทดสอบ
(Certification Report)

เมื่อการค้าขายระหว่างประเทศภายในโลกใบนี้ได้เปลี่ยนแปลงจากวิธีการกีดกันสินค้าของประเทศที่ไม่พึงประสงค์หรือต้องการได้เปรียบทางการค้ากับประเทศใด หรือเหตุผลใดสุดแท้แต่จะอ้างถึงด้วยการกำหนดภาษีการนำสินค้านั้นมาขายในประเทศตัวเองให้สูงเข้าไว้ หรือที่นิยมเรียกกันว่า "กำแพงภาษี" แหละครับมาเป็นการกีดกันสินค้าด้วยวิธีการทางเทคนิคหรือคุณภาพชีวิตหรือคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือแม้กระทั่งการใช้แรงงานผู้มีอายุน้อยกว่าที่กำหนดด้วยก็ตาม เจ้าตัววิธีการทางเทคนิคนี้เองทำให้เกิดการตื่นตัวและปรับตัวของภาคอุตสาหกรรมกันวุ่นวายเสียทีเดียว และสิ่งหนึ่งที่ทุกคนในภาคอุตสาหกรรมและวิชาชีพที่เกี่ยวข้องมักรู้จักกันนั่นก็คือ มาตรฐานสากลโลก (ISO; The International Organization for Standardization) โดยเฉพาะ ISO series 9000 นี้เอง เพราะหากผู้ประกอบการอุตสาหกรรมใดผลิตและมีการจัดการสินค้าตัวเองได้ตามมาตรฐาน ISO series 9000 แล้ว โอกาสที่จะนำสินค้าตัวเองไปเสนอขายในกลุ่มประเทศที่รวมตัวกันเพื่อต่อรองทางเศรษฐกิจและการค้าได้หลายกลุ่มประเทศเศรษฐกิจก็มีมากขึ้น ตัวอย่างกลุ่มประเทศเศรษฐกิจ เช่น The North American Fee Trade Association (NAFTA), The European Union and the European Free Trade Association (EU and EFTA), The Southern African Development Community (SADC) หรือแม้แต่กลุ่มประเทศเศรษฐกิจที่ประเทศไทยเราเองสังกัดอยู่คือ The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN)

หลายบริษัทต่างทุ่มเทเงินทองและทรัพยากรมนุษย์ของตัวเองเพื่อให้บริษัทของตัวเองได้รับมาตรฐานโลกดังกล่าว การจัดซื้อเครื่องมืออุปกรณ์โดยเฉพาะเครื่องชั่ง, เครื่องตวงและเครื่องวัด ต่างก็ต้องเรียกหาใบรายงานรับรองผลการสอบเทียบ ซึ่งในบางครั้งแทบจะพบว่าต้องเสียค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะค่าใบ

รายงานผลการสอบเทียบมีมูลค่าเท่ากับหรือสูงกว่าราคาของเครื่องชั่ง เครื่องตวง หรือเครื่องวัดที่ซื้อหามาเสียอีก ส่วนเครื่องชั่ง เครื่องตวง หรือเครื่องวัดที่มีอยู่เดิมก็วิ่งหาหน่วยงานที่สามารถสอบเทียบได้กันอย่างสนุกสนาน ในบางหน่วยงานได้รับเงินจากค่าบริการสำหรับการให้บริการสอบเทียบเพิ่มขึ้นอย่างทันตาเห็นทีเดียวครับ ในบางครั้งการจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์โดยเฉพาะเครื่องชั่ง, เครื่องตวงและเครื่องวัดเองก็พบว่ามีการจัดซื้อมาในคุณภาพที่สูงมากจนเกินความจำเป็นหรือดีเกินพองาม สิ่งที่ตามมาก็คือเงินทองที่ต้องจ่ายไปซิครับมันมากเกินความจำเป็น เคยพบกับผู้เชี่ยวชาญในทางด้าน Metrology ท่านหนึ่งชาวต่างประเทศท่านถามว่าทำไมประเทศไทยจึงมีการสั่งซื้อตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงสูงระดับ E1 และ E2 (OIML R 111) มากจนผิดสังเกต ซึ่งจริงๆแล้วตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงระดับ E1 นั้นแทบจะมีความจำเป็นเฉพาะหน่วยงานระดับที่ทำการวิจัยระดับสูงเพื่อใช้ตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยงดังกล่าวสอบเทียบ (calibration) เครื่องชั่งชั้นความเที่ยงสูงๆ เสียมากกว่าที่บริษัททั่วๆไปควรจะใช้

ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงมีคำถามขึ้นมาว่า มีความจำเป็นหรือไม่ ที่จะให้เครื่องชั่งมีใบรับรองรายงานผลการทดสอบ (Certification Report)

การที่เครื่องชั่งมีใบรายงานผลการทดสอบ หรือที่เรียกกันว่า Certification Report นั้นหากจะบอกว่ามีก็ดีไม่มีก็ไม่น่าตกใจหรือเป็นที่น่ากลัว เพราะเมื่อมีใบรายงานผลการทดสอบแล้วคำถามต่อมาก็คือ แล้วใบรายงานผลดังกล่าวจะให้ความเชื่อถือได้ กี่วัน กี่เดือน หรือกี่ปี จริงๆ แล้วตอบไม่ได้เลยว่าจะน่าเชื่อถือได้ยาวนานเพียงใด การที่จะให้เครื่องชั่งที่มีอยู่น่าเชื่อถือตลอดช่วงระยะการทำงานนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย และเราควรให้ความสนใจในเรื่องต่อไปนี้

- เครื่องชั่งที่ใช้งานด้านชั่งตวงวัดเพื่อการดำเนินธุรกิจซื้อขายแลกเปลี่ยนควรเป็นเครื่องชั่งรุ่น (Model) เดียวกับเครื่องชั่งรุ่นที่ผ่านการตรวจสอบต้นแบบ (Pattern Approval) จากหน่วยงานของรัฐและหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ
- เมื่อเป็นเครื่องชั่งรุ่นเดียวกันแล้ว ในขั้นตอนการผลิต ก็ต้องเป็นไปตามรูปแบบและใช้วัสดุและอุปกรณ์ทุกชนิดเช่นเดียวกันกับเครื่องชั่งที่ผ่านการทดสอบต้นแบบด้วย

- ปัจจุบันพบว่าคุณภาพเครื่องชั่งที่ผลิตมานั้นส่วนใหญ่แล้วจะได้คุณภาพที่น่าพอใจ แต่ที่น่ากังวลสำหรับการใช้เครื่องชั่งในสมัยปัจจุบันก็คือการติดตั้งได้เหมาะสมและถูกต้องเพียงใด การใช้งานถูกวิธีหรือไม่
- ต้องมีตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีชั้นความเที่ยงสอดคล้องกับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง เพื่อใช้ตรวจสอบความแม่นยำถูกต้องเครื่องชั่ง

ชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง OIML R76	**ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราสำหรับตรวจสอบให้คำรับรอง OIML R111**
I	E2, F1
II	F2 (เครื่องเพชรพลอย), M1 ทั่วไป
III	M2
III	M3

- ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราต้องมีรายงานผลการสอบเทียบจากหน่วยงานของรัฐหรือหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ นี้แหละสำคัญที่ต้องมีใบรายงานผลการทดสอบ หรือที่เรียกกันว่า Certification Report เราพบว่าตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่บริษัทผู้เป็นเจ้าของหรือครอบครองนั้นมักมีปัญหาใหญ่ๆ อยู่ 2 เรื่องคือการใช้ตุ้มน้ำหนักผิดวิธี เช่นการใช้มือจับวางตุ้มน้ำหนักโดยตรง ซึ่งจะทำให้คราบเหงื่อไขมันไปจับบนผิวหน้าตุ้มน้ำหนัก หรือในบางรายอาจมีการสวมแหวนก็จะไปสร้างรอยขีดขวนบนผิวหน้าตุ้มน้ำหนักได้ด้วยเช่นกัน อีกปัญหาหนึ่งก็คือส่งตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามาตรวจเพื่อขอรับใบรายงานผลการสอบเทียบทุกๆ ปี ซึ่งโดยทั่วไปหากใช้งานตุ้มน้ำหนักแบบมาตราอย่างถูกวิธีก็ไม่ต้องนำมาสอบเทียบทุกปีหรอกครับ โดยทั่วไปแล้วอายุคำรับรองของตุ้มน้ำหนักในบางประเทศกำหนดให้มีถึง 2-4 ปี เสียด้วยซ้ำไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชั้นความเที่ยงของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราเองด้วย ซึ่งพอยกตัวอย่างได้ดังในตารางข้างล่างนี้เป็นต้น

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา	อายุการให้คำรับรอง (Period of validity of verification)
E2, F1, F2, M1 และ M2	4 ปี
M3 และชั้นต่ำลงมา หรือ weights for checkweighers	2 ปี

- จัดระบบควบคุมและการตรวจสอบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา เช่น อาจมีการสอบเทียบ 1 ครั้งต่อวัน หรือ 1 อาทิตย์ต่อวัน หรือ 2-3 วันต่อครั้งก็ได้ แล้วแต่ธรรมชาติของกิจกรรมที่ใช้เครื่องชั่งนั้นๆ
- อบรมการใช้เครื่องชั่งที่ถูกวิธีให้แก่ผู้ทำการชั่ง เช่น การวางสิ่งของที่ทำการชั่งลงบนส่วนกึ่งกลางถาดชั่งทุกครั้ง และบริเวณเดิมทุกครั้ง ก็จะให้ผลการชั่งของสินค้าจำนวนมากๆที่ผ่านการชั่งเบี่ยงเบนต่างกันน้อยมาก เป็นต้น
- เทคนิคอื่นๆที่จำเป็นในแต่ละกิจกรรมของธุรกิจนั้นๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งอาจร้องขอจากผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่ายเครื่องชั่งดังกล่าวให้มาแนะนำเป็นกรณีๆ ไปก็ได้

หากมีสิ่งที่กล่าวดังข้างบนแล้วก็ถือว่าเพียงพอระดับหนึ่ง ดังนั้นไม่จำเป็นเลยต้องขอใบรายงานผลการทดสอบเครื่องชั่ง เสียเงินทองไปเปล่าๆ เพื่อให้ได้ ISO series 9000 โดยขาดความเข้าใจที่แท้จริงของเครื่องชั่งตวงวัด แต่หากยังคงต้องการใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องชั่งทุก 6 เดือน หรือ 1 ปี โดยคิดว่าเสียค่าใช้จ่ายในการได้มาของใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องชั่งเป็นเงินเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการได้ ISO series 9000 ก็ไม่ว่าอย่างไรครับเพราะเป็นเงินทองของท่าน แต่ที่พูดขึ้นมาก็เพื่อให้เรามายืนอยู่ที่พื้นฐานและเข้าใจ bottom line ของงานนี้ ซึ่งหากเข้าใจกันแล้วเราก็ประหยัดเงินให้กับหน่วยงานของท่านและประเทศไม่มากก็น้อยครับ

อันที่จริงแล้วเครื่องชั่งที่ผ่านการตรวจสอบให้คำรับรองจากสำนักชั่งตวงวัดก็ถือได้ว่าผ่านมาตรฐานน่าเชื่อได้ระดับหนึ่งทีเดียวครับ (ขอบอก) เพราะ

ขอบเขตของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Error) รวมถึงวิธีการตรวจสอบให้คำรับรองส่วนใหญ่ของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติก็ตั้งอยู่บนข้อกำหนดของ OIML R76 อยู่แล้วครับ แต่การสร้างระบบการตรวจสอบและสอบเทียบด้วยบุคลากรภายในบริษัทในระหว่างใช้เครื่องชั่งไม่อัตโนมัติควบคู่กันไปหลังจากผ่านการตรวจสอบให้คำรับรองจากสำนักชั่งตวงวัดยิ่งเป็นสิ่งที่ดีมากทีเดียว

ในบางประเทศที่มีการกำหนดอายุผลการตรวจสอบให้คำรับรอง (Period of Validity of Verification) สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติจะอยู่ภายในช่วงระหว่าง 2 ปี ถึง 4 ปี ขึ้นอยู่กับรายระเอียดปลีกย่อยในเรื่องของหลักการทำงานหรือหลักการแสดงผลการชั่งรวมไปถึงลักษณะการใช้งาน เมื่อครบกำหนดระยะเวลาดังกล่าวแล้วผู้เป็นเจ้าของหรือผู้ครอบครองเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติดังกล่าวต้องแจ้งเจ้าหน้าที่ไปทำการตรวจสอบให้คำรับรองใหม่เสียก่อนที่จะใช้งานได้ต่อไปอีกครั้งหนึ่ง

การชั่งน้ำหนักด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และการประมวลผล ตอนที่ 1

ในปัจจุบันการหาน้ำหนักของสิ่งของที่ต้องการทราบกระทำกันหลายวิธีการ การใช้เครื่องชั่งก็เป็นเครื่องมือหนึ่งในหลายวิธีการ แต่ขณะเดียวกันเครื่องชั่งเองก็มีหลายชนิดและใช้หลักการทำงานที่แตกต่างกันไป แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นในที่นี้เราจะให้ความสนใจเฉพาะเครื่องชั่งที่มีหลักการชั่งน้ำหนักด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ในแรกเริ่มเครื่องชั่งส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องชั่งแบบกลไกและคานทดน้ำหนัก จากนั้นเริ่มพัฒนาเข้าสู่การชั่งน้ำหนักโดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกันมากขึ้น เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นเครื่องชั่งที่นำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความแม่นยำถูกต้องสูงทำงานร่วมกับโหลดเซลชนิดอนาล็อก (analogue load cell) (ในปัจจุบันเริ่มมีโหลดเซลชนิดดิจิตอลแล้วแต่ยังไม่แพร่หลายกันมากนัก) เมื่อโหลดเซลได้รับภาระแรงที่กระทำก็จะส่งสัญญาณออกไปในรูปแบบสัญญาณอนาล็อกเป็นสัดส่วนกับภาระแรงที่กระทำ จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกแปลงจากรูปแบบสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นข้อมูลของผลการชั่ง ในขณะเดียวกันสัญญาณดิจิตอลดังกล่าวก็จะถูกนำไปประมวลร่วมกับข้อมูลอ้างอิงอื่นๆ ที่บรรจุอยู่ในส่วนของระบบประมวลผลการชั่งน้ำหนัก เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดและข้อมูลอ้างอิงมาประมวลผลและแสดงผลการชั่งหรือบันทึกผลการชั่ง หรือแม้แต่ใช้กับงานประยุกต์ต่างๆ เช่น ในการควบคุมระบบการทำงานของขั้นตอนการผลิตต่างๆ

ยุคแรกๆ ของการพัฒนาเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์นั้นพบว่าข้อจำกัดของความแม่นยำถูกต้องของระบบการชั่ง รวมทั้ง Reproducibility ของเครื่องชั่งถูกกำหนดโดยความเสถียรภาพและความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ดูเหมือนจะถูกจำกัดด้วยคุณภาพของโหลดเซล รวมถึงลักษณะของการนำไปใช้กับงานและการติดตั้งโหลดเซลเสีย

เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นผลผิดในสัญญาณด้านทางออกของโหลดเซลจึงต้องถูกวิเคราะห์ด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันการติดตั้งโหลดเซลที่ผิดวิธีหรือไม่เหมาะสม นอกจากนี้การทดสอบด้วยวิธี Reproducibility ก็นับเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญและยังเป็นตัวบ่งบอกหรือชี้ถึงความเสถียรภาพของผลการชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งดังกล่าวในระยะยาวด้วยเช่นกัน

หากจะพูดถึงความเสถียรภาพของการใช้งานระยะยาวนั้น นอกจากคุณภาพของโหลดเซลที่ดีแล้วยังมีหลายองค์ประกอบด้วยเช่นกัน เช่น การใช้งานเครื่องชั่งเหมาะสมกับธรรมชาติและลักษณะของงาน การวางหรือติดตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ได้ดำเนินตามข้อกำหนดเบื้องต้นของคำแนะนำของผู้ผลิต โดยเฉพาะเครื่องชั่งที่ใช้หลักการชั่งน้ำหนักด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วต้องให้ทั้งส่วนรองรับน้ำหนักของเครื่องชั่งเองและสิ่งของที่ต้องการชั่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแนวตั้งฉากกับพื้นโลกโดยต้องไม่มีแรงอื่นๆ ภายนอกกระทำหรือแทรกแซงโดยเด็ดขาด

สำหรับระบบการชั่งน้ำหนักด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ดูเหมือนเราต้องทำความเข้าใจถึงและต้องคุ้นเคยกับคำต่อไปนี้

Linearity ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณด้านทางเข้า (input) กับสัญญาณด้านทางออก (output) ในทางอุดมคติแล้วความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณด้านทางเข้า (input) กับสัญญาณด้านทางออก (output) จะแปรผันต่อกันเป็นเส้นตรง ดังนั้น linearity error จึงถูกกำหนดให้เป็นความเบี่ยงเบนจากความเป็นเส้นตรงในรูปของค่า % ของช่วงการทำงานทั้งหมด (full span) ของเครื่องชั่งนั้นๆ ในทางปฏิบัติเราจะกำหนดให้ช่วงการทำงานทั้งหมด (full span) ของเครื่องชั่งคือช่วงการชั่งที่ต้องการ (weighing range needed) ซึ่งยากที่จะสอดคล้องหรือเท่ากับช่วงการชั่งเต็มสเกลของเครื่องชั่ง (full scale of the weighing instrument)

Temperature influence ซึ่งปกติแล้วแสดงอยู่ในรูปของ **Temperature coefficient** หรือ **Tempco** of the span and zero of the electronic instrument โดยที่ Zero คือสภาวะ the dead load offset ในการแสดงค่า ของ Tempco จะแสดงในค่า ppm/°C หรือ ppm/°F

Long term drift จะแสดงอยู่ในค่าของ % ของ span และ dead load offset of zero ตลอดช่วงระยะเวลา 1 ปี สาเหตุของการเกิด Long term drift นี้ส่วนใหญ่เกิดจากอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ในเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์เมื่อนำมาใช้งานชั่งน้ำหนักจึงพบว่ามีผลผิดมากมายๆ เข้ามาเกี่ยวข้องหากพิจารณาในเฉพาะตัวเครื่องชั่งเองแล้วจะเห็นได้ว่ามี 2 ส่วนใหญ่ คือผลผิดที่เกิดจากโหลดเซลเอง ดังนั้นโหลดเซลที่ดีและสามารถนำมาใช้งานเพื่อการชั่งน้ำหนักได้ควรมี linearity error น้อยกว่าหรือเท่ากับ ±0.1% ในขณะเดียวกัน linearity error ของอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่จะมีค่าอยู่เป็น order of ± 0.01% ถือได้ว่าอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้

1. พื้นฐานของการชั่งน้ำหนักด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโหลดเซล

เราจะไม่พูดถึงรายละเอียดของหลักการทำงานของโหลดเซลชนิด Strain gauge load cells มากนัก หากต้องการทราบก็สามารถหาอ่านในหนังสือ "การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ" ของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด โดยทั่วไปแล้วพิกัดกำลังสูงสุดใช้งานของโหลดเซลแต่ละตัวจะให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริด (the bridge's output voltage) ของ Strain gauge หรือด้านทางออกของโหลดเซลประมาณ 1.5-2.5 mV ต่อ V แรงดันไฟฟ้ากระตุ้น ดังนั้นหากแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นมีค่าเท่ากับ 10 V ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริดของโหลดเซลตัวนั้นมีค่าเท่ากับ 15-25 mV ในที่นี้เราเลือกโหลดเซลที่ให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรวีทสโตนบริดของ Strain gauge (norminal output) เท่ากับ 20 mV และหากเครื่องชั่งใช้โหลดเซลตัวดังกล่าวจำนวน 4 ตัว จะได้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 4 × 20 mV = 80 mV แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเครื่องชั่งส่วนใหญ่ต้องมีส่วนรองรับน้ำหนักเพื่อรองรับสิ่งของที่ต้องการชั่งและน้ำหนักของส่วนรองรับน้ำหนักดังกล่าวเป็นน้ำหนักคงที่ที่โหลดเซลต้องรับภาระแรงดังกล่าวตลอดเวลา ซึ่งถือเป็น Dead weight หรือ dead load ของระบบเครื่องชั่งในที่นี้ให้ประมาณเท่ากับ 25% ของพิกัดกำลังของระบบโหลดเซลทั้งหมดที่เลือกใช้ ดังนั้นที่พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งดังกล่าว

นี้จะได้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 60 mV (0.75 x 80 mV) หลังจากหักค่า dead load ของระบบไปแล้ว และที่ภาวะไม่มีน้ำหนักจะมีแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 0 mV ดังนั้นช่วงการชั่งน้ำหนักได้ (effective weighing range) ของเครื่องชั่งจึงอยู่ในช่วง 0 – 60 mV

ดังนั้นหากเครื่องชั่งมีพิกัดกำลังสูงสุด 30 ตันและมีขั้นหมายมาตรา (d) เท่ากับขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) โดยมีจำนวนขั้นหมายมาตราตรวจรับรองทั้งหมด 3,000 ช่อง แล้วจะได้ว่าเครื่องชั่งดังกล่าวมีขั้นหมายมาตรา (d) เท่ากับ 10 kg (30,000 kg/3,000) และมีแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดเท่ากับ 20 μV ต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (60 mV / 3,000 ช่อง)

พบว่าในโรงงานถลุงเหล็กจะมี Electric noise ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าแรงดันสูงหรือเกิดจาก electric arcs รวมถึงสนามแม่เหล็กเป็นต้น ซึ่งมักจะมีค่าอยู่ในช่วง 8–10 μV ดังนั้นหากเครื่องชั่งให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองยิ่งน้อยลงเท่าไร โอกาสที่โดนรบกวนจาก Electric noise มากยิ่งขึ้นเท่านั้น โดยจะส่งผลต่อผลการชั่งให้ผิดพลาดไปและลดความเสถียรภาพของผลการชั่งและการทำงานของเครื่องชั่ง

ดังนั้นเพื่อป้องกันการรบกวนดังกล่าวจึงเป็นเรื่องจำเป็นและสำคัญที่จะต้องให้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดของระบบชั่งน้ำหนักต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองมีค่าสูงกว่า the noise level ในกรณีนี้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของโหลดเซลทั้งหมดของระบบชั่งน้ำหนักต่อ 1 ช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองมีค่าเท่ากับ 20 μV ซึ่งมากกว่า 8–10 μV จึงถือว่าเพียงพอต่อการป้องกันการแทรกซ้อนรบกวนของ electric noise และก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่ว่าทำไมต้องกำหนดเครื่องชั่งว่าต้องมีจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรองไม่ให้สูงมากจนเกินไปสำหรับเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้โหลดเซล ตามใน OIML R76 (Non–Automatic Weighing instruments)

2. การกระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's Bridge excitation)

จากการที่ Strain gauges บนโหลดเซลถูกเชื่อมต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) โดยจะมีแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นให้แก่วงจร เมื่อไม่มีแรงกระทำต่อโหลดเซล วงจรดังกล่าวจะอยู่ในสภาวะสมดุลและให้แรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรเท่ากับ 0 mV จนกระทั่งวงจรดังกล่าวมีแรงกระทำทำให้สภาวะสมดุลของวงจรเสียและเกิดแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระแรงที่กระทำ นี้คือหลักการทำงานของโหลดเซลชนิด Strain gauge load cells แต่อย่างไรก็ตามพบว่าระบบการชั่งหรือเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1 ตัวอาจประกอบด้วยโหลดเซลจำนวนหลายตัวก็เป็นได้ โดยการนำโหลดเซลทั้งหมดมาต่อเชื่อมกันเป็นแบบอนุกรมหรือแบบขนานนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของระบบนั้นๆ

ในที่นี้เราจะมาดูถึงวิธีการของการจะกระตุ้น Strain gauges บนโหลดเซลซึ่งเชื่อมต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ

2.1 การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (the alternating current (AC) bridge supply)

2.2 การใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (the direct current (DC) bridge supply)

กระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (the alternating current (AC) bridge supply) มีข้อดีคือ the eventual thermocouple effects ในรอยบัดกรีในวงจรวีทสโตนบริดจะไม่มีอิทธิพลต่อการอ่านค่าน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (capacitance change) ภายในสายเคเบิล หรือการเหนี่ยวนำแรงดัน และอื่นๆ อาจส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของวงจร เป็นเหตุก่อให้เกิดผลผิดการชั่งน้ำหนักแบบสุ่ม (random weighing errors) ด้วยเหตุนี้ในทางปฏิบัติจึงพบว่าระบบการชั่งที่ทันสมัยในยุคปัจจุบันมีแนวโน้มหันมาใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเป็นแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) ของโหลดเซลกันมากขึ้น

แม้ว่าระบบการชั่งน้ำหนักที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีหลายประการ แต่ก็มีข้อเสียเช่นกันก็คือมีความรู้สึกไว (sensitive) ต่อ thermocouple effects ภายในวงจรวีทสโตนบริด นอกจากนี้ยังพบว่าในยุคแรกเริ่มปัญหาหลักที่พบบ่อยมากได้แก่ ความเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายมากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด และจำเป็นต้องมี DC amplifier อยู่ในระบบการชั่งน้ำหนัก

ปัญหาของการกระตุ้นวงจรวีทสโตนบริดเบี่ยงเบนไป (drift in the bridge excitation) และ DC amplifier ที่มีอยู่ในระบบการชั่งน้ำหนักที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเคยเป็นปัญหาและเป็นสาเหตุมากที่สุดของผลผิดที่เกิดขึ้นในการชั่งน้ำหนัก เพราะปัญหาดังกล่าวเป็นสาเหตุก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพของการสอบเทียบ แต่ปัญหาที่กล่าวมาได้หมดไปเมื่อได้นำระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหลักการทำงานแบบดิจิตอลและการวัดอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกของวงจรต่อแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจร (dV/V) มาใช้ซึ่งได้ผลมากทีเดียว

สำหรับปัญหาแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริดซึ่งยังต้องมีเสถียรภาพเพียงพอเพื่อรักษาระดับความเสถียรภาพของอุณหภูมิที่เกิดการแพร่กระจายความร้อน (heat dissipation) ภายในโหลดเซล ในเครื่องชั่งสมัยใหม่พบว่าปัญหาดังกล่าวอยู่ในระดับที่ไม่รุนแรงมากนัก

เนื่องจากเดิมทียังมีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลให้ยากที่จะได้ผลการชั่งมีผลผิดต่ำกว่า ±0.5% เมื่อเทียบกับช่วงการชั่ง (nominal weighing range) แต่เมื่อเวลาผ่านไปมีการพัฒนาชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคจนคุณภาพและการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ดีและน่าเชื่อถือมากขึ้นในปัจจุบัน เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์จึงสามารถให้ผลการชั่งมีผลผิดต่ำกว่า ±0.05% เมื่อเทียบกับช่วงการชั่ง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่มี Max. 6 กก., e = 2 g ชั้นความเที่ยง III ที่พิกัดกำลังสูงสุดมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ ±1.5e หรือเท่ากับ ±1.5 × 2 g = ±3 g หรือเท่ากับ ±3 g/6000 g = ±0.0005 หรือ ±0.05% นั้นเอง

3. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic weighing instrument)

ในการแบ่งประเภทหรือชนิดของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธีการ แต่ในที่นี้เรามาพิจารณาในส่วนแสดงค่าของเครื่องชั่ง จึงแบ่งออกได้ 2 ชนิดหลักคือ

3.1 ส่วนแสดงค่าชนิดอนาล็อก (Analogue display) เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคในยุคแรกๆ ใช้เทคนิคในการแสดงค่าผลการชั่งด้วย slide wire compensator โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลจะถูกส่งมายัง slide wire compensator เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าชดเชย (V_C) ใน Null amplifier ทั้งนี้แรงดันไฟฟ้าชดเชยสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ โดยมอเตอร์จะทำการปรับอย่างอัตโนมัติจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าชดเชย (V_C) แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนเป็นผลการชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 1

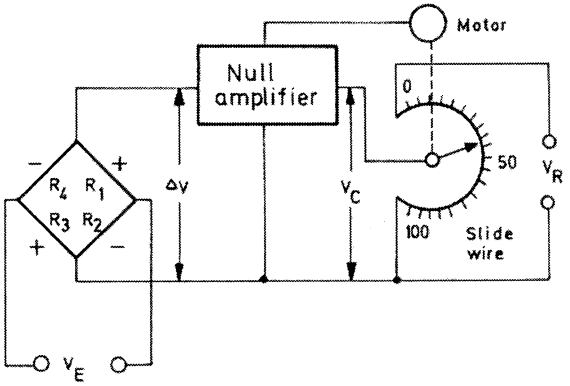


Figure *Slide wire compensator principle*

รูปที่ 1 หลักการทำงานของ Slide wire compensator

ด้วยเหตุนี้ความเสถียรภาพและความแม่นยำของระบบการทำงานของเครื่องชั่งดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับความเสถียรภาพของของแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นโหลดเซล (V_E) และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_R) โดยสิ้นเชิง นอกจากนี้จะต้องมี

"gap" เล็กๆ รอบจุดสมดุลบน slide wire compensator เพื่อป้องกันระบบจากการแกว่งไปมา (oscillating) ของผลการชั่ง ในขณะเดียวกันความรู้สึกไว (sensitivity) ของ Null amplifier ก็มีบทบาทสำคัญมากเช่นกัน และหากเพิ่มปัญหาความไม่เสถียรภาพของของระบบกลไกของตัวขับมอเตอร์เพื่อปรับค่าหาแรงดันไฟฟ้าชดเชย (V_c) จนให้มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซล ก็ยิ่งไปเพิ่มผลผิดของระบบการทำงานของเครื่องชั่งอีกด้วย ดังนั้นผลผิดของระบบจริงๆ แล้วมีค่าประมาณ ± (0.5–1.0)%

3.2 ส่วนแสดงค่าชนิดดิจิตอล (Digital display) ในแรกเริ่มนั้นวิธีการแรกที่ใช้เพื่อนำค่าผลการชั่งแสดงเป็นแบบตัวเลขดิจิตอล กระทำโดยแปลงค่าการแสดงผลจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล ด้วยการติดตั้งแผ่นซึ่งบรรจุโค็ทเข้ากับเพลาหมุนของ slide wire compensator จากนั้นจึงใช้ photo cells ทำการอ่านค่ามุมที่หมุนไปของเพลาจากแผ่นซึ่งบรรจุโค็ท โดยวงจรแปลงค่ามุมเพื่อแสดงค่าออกเป็นแบบดิจิตอล ด้วยเหตุนี้ความแม่นยำของระบบการชั่งนี้จึงขึ้นอยู่กับผลผิดทั้งหมดจากโหลดเซล บวกด้วยผลผิดใน slide wire compensator ซึ่งให้ค่าผลผิดทั้งระบบการชั่งน้ำหนักประมาณ ± (0.5–1.0)% และ ± 1 digit (d)

4. Digital voltmeter system

Digital voltmeter ที่แสดงในรูปที่ 2 ตั้งอยู่บนหลักการทำงานของการ

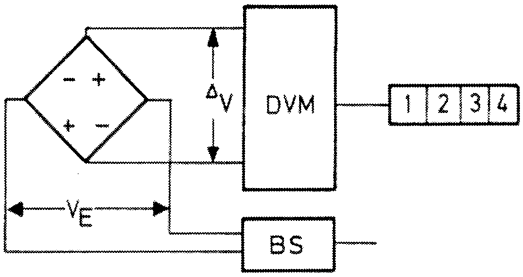


Figure *Digital voltmeter principle*

รูปที่ 2 หลักการทำงานของ Digital voltmeter (DVM)

แปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล Digital voltmeter ได้ถูกนำไปปรับใช้เพื่อการทำงานของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค ในปัจจุบันก็ยังใช้งานอยู่เพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนักแบบง่ายๆ เช่น ใช้ควบคุมระดับของเหลวในถัง เป็นต้น

หลักการทำงานของระบบนี้ คือนำทั้งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลหรือวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) และแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด (excitation voltage) ส่งไปยัง Digital voltmeter (DVM) หลังจากนั้นจึงเป็นหน้าที่ของ DVM ทำการแปลงค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลไปแสดงเป็นค่าดิจิตอล

สาเหตุที่ก่อให้ระบบการชั่งนี้ให้ผลผิดได้ เกิดจากด้วยกันหลายสาเหตุ คือผลผิดในโหลดเซล, การติดตั้งโหลดเซล, ความเสถียรภาพของแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด, ความเป็นเชิงเส้น (linearity) และความเสถียรภาพ (stability) ของตัว Digital voltmeter (DVM) ดังนั้นโดยผลผิดระบบการชั่งปกติจึงอยู่ในช่วง ±(0.5–1.0)% ของ Full Scale

5. หลักการแปลงเป็นดิจิตอล (Digitizing principle)

5.1 เทคนิคการนับจำนวนสัญญาณพัลซ์ (Counting of Unit pulses)

หลักการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า

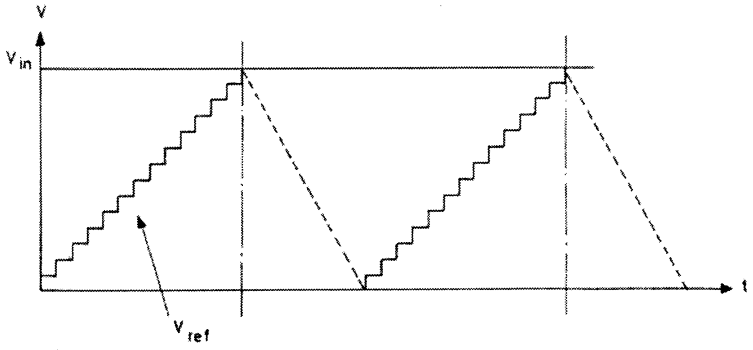


Figure ***Analogue/digital conversion with unit pulses***

รูปที่ 3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลด้วย unit pulses

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้ามาด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่ากับ V_{in} แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง V_{ref} ซึ่งเกิดจากการเพิ่มแรงดันขึ้นเรื่อยๆ ในลักษณะ pulse train และ charging pulses ที่เท่าๆ กันจากการกระทำของตัว **pulse generator** การ charging จะหยุดลงเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา V_{in} มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง V_{ref}

ดังนั้นจำนวน pulses ใน pulse train ก็จะถูกนับด้วย pulse counter และให้ผลเป็นจำนวนเลขจำนวนเต็มพร้อมแสดงค่าเป็นดิจิตอล ความแม่นยำของการแปลง อนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D conversion) จึงขึ้นอยู่กับความเสถียรภาพของตัว **pulse generator** และวงจรสำหรับการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้านั้นคือ the switch-over point โดยปกติแล้วผลผิดการแปลงค่าเป็นดิจิตอลมีค่าประมาณ ±(0.1-0.3)% ของ Full Scale

5.2 The dual slope principle เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4

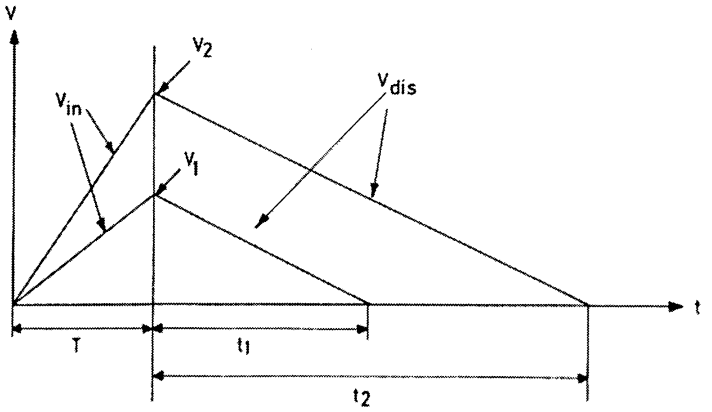


Figure *The dual slope principle*

รูปที่ 4 หลักการ The dual slope principle

แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด V_{in} จะถูกป้อนเข้าสู่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ภายในช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง (T) ดังนั้นด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันภายในช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่งจึงจะถูกป้อนเข้าตัวเก็บประจุ (Capacitor) จนมีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ขึ้นไปถึงระดับความสูง (amplitude) ที่แตกต่างกัน หลังจากนั้น condenser จะปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้า (V_{dis}) โดยใช้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงคงที่ (V_{ref}) ค่าหนึ่งซึ่งมีขั้วตรงข้ามกับประจุในตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทานเสถียรภาพสูง (highstable resistance) จนแรงดันไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ (Capacitor) หมดไปด้วยช่วงระยะเวลาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ หากแรงดันไฟฟ้าค้างอยู่ในตัวเก็บประจุมากก็ใช้เวลาในการปลดปล่อยแรงดันให้ลดลงนานขึ้นเท่านั้น

นาฬิกาที่มีความแม่นยำสูง ชนิด Quartz-crystal oscillator clock จะเป็นตัวกำเนิดเวลา ดังนั้นช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง (T) และช่วงเวลาปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้าด้วยอัตราแรงดันไฟฟ้าคงที่ (V_{dis}) ผ่านตัวต้านทานเสถียรภาพสูง (highstable resistance) ในรูปที่ 4 ก็คือ t_1 และ t_2 จะถูกแทนที่ด้วยจำนวนพัลซ์ที่แน่นอน โดยจำนวนพัลซ์เวลา (time pulses) ของแต่ค่าช่วงระยะเวลาจะถูกนับในตัวนับ counter และให้ผลเป็นดิจิตอลพร้อมแสดงค่าเป็นดิจิตอล และที่น่าสนใจอีกมุมหนึ่งนั้นคือ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด V_{in} จะถูกป้อนเข้าสู่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับช่วงระยะเวลาที่ condenser จะปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว (t_1 และ t_2) ด้วยอัตราแรงดันไฟฟ้าคงที่ (V_{dis}) จนแรงดันไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ (Capacitor) หมดไป

$$V_{in} \propto t_1$$
$$\propto t_2$$

ความแม่นยำของเครื่องชั่งที่ใช้เทคนิคนี้ จะไม่ได้รับผลกระทบจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) หรือความถี่สัญญาณนาฬิกา (clock frequency) เพราะว่าทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อกราฟในรูปที่ 4 ทั้งด้านที่มีความชันเป็นบวกและกราฟที่มีความชันเป็นลบในสัดส่วนเท่าๆ กัน

การเลือกช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง (T) ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ เช่นอาจให้ T = 1/60 วินาที เป็นต้น

ตัวแปลงดิจิตอล (dual slope digitizer) นี้ให้ resolution สูงมาก นั้นคือ จำนวนพัลซ์ หรือ digital increment มีมากพอที่ครอบคลุมช่วงการชั่ง นอกจากนี้ internal resolution ก็สามารถถูกเซ็ทด้วย pulse frequency, measuring time อยู่ในช่วง 50-100 msec. และขีดความสามารถของตัว pulse counter

เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเครื่องชั่งก็คือ ตัวแปลงดิจิตอล (dual slope digitizer) มี internal resolution จำนวนเท่ากับ 40,000 increments ใช้งานร่วมกับ external resolution (ส่วนแสดงค่า) ที่มีจำนวนจนถึง 10,000 increments หรือในสัดส่วน 4 : 1 หรืออาจพูดอีกนัยหนึ่งว่า เครื่องชั่งแสดงค่าเพิ่มขึ้น 1 ขั้นหมายมาตรา (d) ต่อจำนวน internal resolution 4 พัลซ์ เป็นค่าน้อยสุดที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

ผลผิดของการแปลงดิจิตอลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับประมาณ ± (0.1-0.2) % ของ Full Scale ของช่วงการชั่งได้

การชั่งน้ำหนักด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และการประมวลผล ตอนที่ 2

6. Ratiometric measurements

จากหลักการทำงานของโหลดเซลนั้น สัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลหรือวงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) ไม่เพียงจะเป็นสัดส่วนกับความไม่สมดุลเนื่องจากแรงมากระทำต่อโหลดเซลแต่ยังเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด (excitation voltage) อีกด้วย

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงผลผิดจากการชั่งเนื่องจากการผันแปรในแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริดที่ส่งมากระตุ้นวงจร จึงควรทำการวัดอัตราส่วนระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซล(dV) กับแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจร วีทสโตนบริด (excitation voltage)(V); (dV/V)

ด้วยเหตุนี้อัตราส่วน dV/V จึงอิสระและไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริดแต่อย่างไร ส่งผลให้การอ่านผลการชั่งจึงเป็นสัดส่วนต่อความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ทางออกของโหลดเซลเพียงอย่างเดียว

ในรูปที่ 5 เป็นการแสดงหลักการทำงานของการแปลงดิจิตอลสำหรับการวัดแบบ Ratiometric measurement โดยมีหลักการตั้งอยู่บนพื้นฐานหลักการแปลงแรงดันไฟฟ้า (voltage) ไปเป็นความถี่ (frequency) เมื่อ strain gauges ในวงจรวีทสโตนบริดถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้า V_E จากแหล่งจ่ายแรงดัน BS; bridge supply และถูกต่อไปยังตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage/frequency converter; V/F_2) ซึ่งตัวแปลงดังกล่าวจะให้ความถี่ออกมามีค่าเท่ากับ F_2 เป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจร V_E

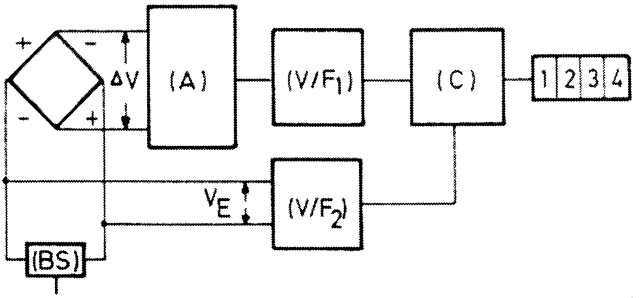


Figure *Voltage to frequency conversion digitizing system*

รูปที่ 5 ระบบการแปลงดิจิตอลด้วยการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่
(Voltage to frequency conversion digitizing system)

ในขณะเดียวกันแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการสูญเสียความสมดุลของวงจรวีทสโตนบริดเมื่อมีแรงกระทำบนโหลดเซลวัดได้จากทางด้านทางออกโหลดเซล dV ซึ่งเป็นสัดส่วนแรงที่กระทำบนโหลดเซลและซึ่งมีโอกาสได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด V_E เช่นกัน สัญญาณแรงดันไฟฟ้า dV จะถูกขยายให้มีค่าสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซลดังกล่าวจะมีค่าน้อยมากอยู่ในระดับไมโครโวลท์ หลังจากนั้นก็จะถูกส่งไปยังตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage/frequency converter; V/F_1) ต่อไป

ค่าความถี่ที่ได้จากตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ทั้ง 2 ตัวเท่ากับ F_1 และ F_2 จะถูกส่งไปยังตัวนับ (counter; C) เพื่อนำไปแปลงเป็นผลการชั่งน้ำหนักในรูปแบบดิจิตอลต่อไป

หลักการแปลงเป็นดิจิตอล (Digitizing principle) ที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 อธิบายได้ว่าจำนวนความถี่ F_1 โดยหลักการแล้วจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านทางออกจากโหลดเซล(dV) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่าน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลนั้นเอง และค่าจำนวนความถี่ดังกล่าวก็ยังสามารถได้รับผลกระทบอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหรือความไม่เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจร

วีทสโตนบริด V_E ได้ด้วยเช่นกัน ความถี่ F_1 จะถูกป้อนไปยังตัวนับ (counter; C) โดยจะต้องผ่าน gate ซึ่งถูกควบคุมช่วงเวลาการปิดเปิดด้วยความถี่ F_2 แต่ในขณะเดียวกันความถี่ F_2 เองก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด V_E เช่นกัน ดูแล้วมันเชื่อมโยงกันหมดน่ะครับ

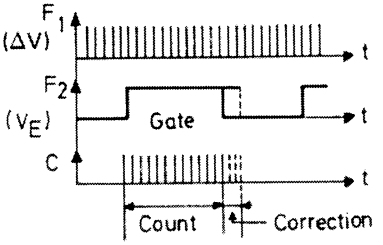


Figure *Digitizing principle with voltage to frequency conversion*

รูปที่ 6 หลักการแปลงดิจิตอลด้วย Voltage to frequency conversion

จากหลักการทำงานดังกล่าวจึงเห็นได้ว่าจำนวนพัลซ์ที่นับได้จากความถี่ F_1 ซึ่งนับได้ด้วยตัวนับ (counter; C) จะมีการปรับเปลี่ยนอย่างอัตโนมัติหากแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริด V_E ไม่เสถียรภาพหรือเปลี่ยนแปลงไปขณะทำการชั่งน้ำหนัก ด้วยเหตุนี้อัตราส่วน dV/V_E หรือ rationmetric measurement จึงอิสระและไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นวงจรวีทสโตนบริดแต่อย่างไร ส่งผลให้การอ่านผลการชั่งจึงเป็นสัดส่วนต่อความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ทางออกของโหลดเซลเพียงอย่างเดียว

แต่พบว่าความแม่นยำของระบบการชั่งชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความเสถียรภาพของตัวขยายสัญญาณ (amplifier; A) และความเสถียรภาพและความเป็นเชิงเส้นของตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage/frequency converter; V/F) ทั้ง 2 ตัว ผลผิดโดยรวมของระบบการชั่งชนิดนี้ปกติแล้วจะมีค่าน้อยกว่า ±0.1% ของ Full Scale ของช่วงการชั่งได้

อย่างไรก็ตามเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคส่วนใหญ่ที่ยังคงมีหลักการทำงานดังกล่าวนี้ ได้มีการปรับใช้ Microcomputer แทนตัวนับ (counter;C) เนื่องจาก Microcomputer สามารถทำงานได้หลากหลายหน้าที่ในขณะที่ทำการชั่งและสามารถตรวจสอบสถานะของระบบ (system constant) ได้ตลอดเวลา เช่น ตรวจสอบค่า gain of amplifier และอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (voltage/frequency; V/F) ของตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage/frequency converter; V/F) นอกจากนี้ Microcomputer ยังสามารถหาและตรวจสอบสภาวะไม่มีแรงกระทำหรือ zero point ของระบบ

ดังนั้นหากสถานะของระบบ (system constant) และ zero point ของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าอ้างอิงแล้ว Microcomputer จะทำการคำนวณและทำการปรับแต่งค่าตามความจำเป็นก่อนแสดงผลการชั่งน้ำหนัก

ในขณะเดียวกันเครื่องชั่งจะทำการอ่านค่าผลการชั่งน้ำหนักด้วยจำนวนหลายครั้งต่อ 1 วินาที และจะทำการเก็บผลการชั่งไว้ในหน่วยความจำของ Microcomputer ผลการชั่งจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อ Microcomputer พบว่าผลการชั่งหลายๆ ครั้งติดๆ กัน ต่างจากค่าน้ำหนักผลการชั่งที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ

เครื่องชั่งที่ใช้หลักการทำงานด้วยตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage/frequency converter; V/F) โดยได้มีการปรับใช้ Microcomputer แทนตัวนับ (counter; C) จะให้ผลผิดของการชั่งน้ำหนักมีค่าน้อยกว่า ±0.05 % ของ Full Scale ของช่วงการชั่งได้

7. Microcomputer controlled load cell digitizer

ส่วนใหญ่เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคสมัยใหม่ได้มีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานและการคำนวณน้ำหนัก โดยนำสัญญาณอนาล็อกจากโหลดเซลมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลนั้นมีหลักการทำงานของการแปลงเป็นดิจิตอลของโหลดเซลโดยทั่วไปสามารถสรุปย่อได้เป็นบล็อกไดอแกรมดังในรูปที่ 7 ตัวแปลงดิจิตอล (digitizer) ถูกแบ่งออกเป็น 4 บล็อกหลักๆ คือ

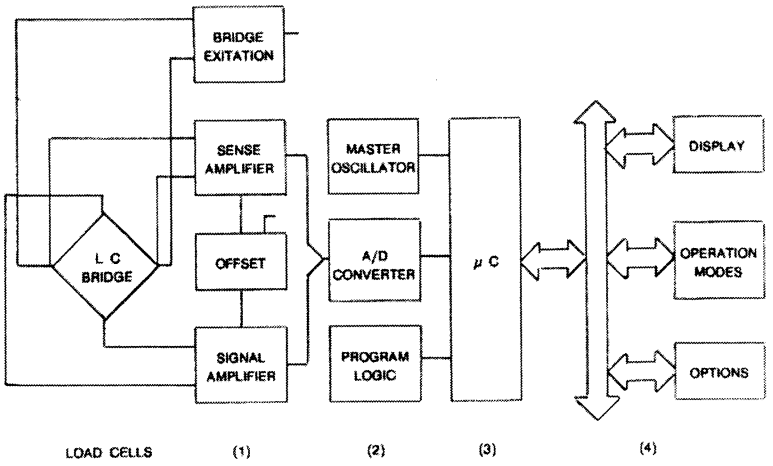


Figure *Block diagram typical load cell digitizer*

รูปที่ 7 บล็อกไดอแกรมของการทำงานของเครื่องชั่งที่ใช้โหลดเซล

(1) Front end analogue signal conditioning

(2) Analogue/Digital conversion

(3) Microcomputer and digital processing

(4) Front panel control and display block

7.1 Front end analogue signal conditioning ประกอบด้วย

- **Bridge excitation หรือ Bridge supply** เป็นแหล่งแรงดันไฟฟ้ากระตุ้น วงจรวีทสโตนบริด (Wheatstone's bridge) ของโหลดเซล ปรกติจะมีค่า 10–15 Volts DC

- **Sense amplifier** ทำหน้าที่ตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าภายในโหลดเซลและจะผลิตแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (reference voltages) เท่ากับ ± 2 Volts สำหรับใช้ในตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converter)

- **Offset (of zero) หรือ zero offset block** จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้า calibrated voltage เพื่อชดเชย dead load ที่เกิดขึ้นโดยการใช้งานที่อาจมีเพิ่มขึ้นจาก

dead load เดิม เช่นอาจมีสิ่งของตกค้างอยู่บนส่วนรองรับเครื่องชั่งเป็นต้น โดย offset voltage นี้จะได้จาก Sense amplifier เพื่อที่มันสามารถตรวจสอบแกะรอยการเปลี่ยนแปลงในแรงดันไฟฟ้ากระตุ้นโหลดเซลที่กล่อง (box terminals) ซึ่งโหลดเซลเชื่อมต่อกับสายสัญญาณที่จะส่งออกไปยังหน่วยประมวลผล

- **Signal amplifier block** ทำหน้าที่รับสัญญาณด้านทางออกของโหลดเซลและค่า offset voltage จาก zero offset block จากนั้นทำ sclae แรงดันไฟฟ้ารวม (combined voltage) ตามวิธีการ SPAN gain calibration สัญญาณด้านทางออกของ Signal amplifier block จะเป็น DC signal ซึ่งจะถูกป้อนไปยัง A/d converter ต่อไป

7.2 Analogue/Digital conversion

หลักการทำงานของ A/D converter จะเป็นแบบ "Dual slope ratiometric integrating" ตามหัวข้อ 5.2 พอสรุปย่อ ๆ การทำงานดังนี้ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด V_{in} จะถูกป้อนเข้าสู่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ภายในช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง (T) ด้วยเหตุนี้หากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดมีค่าแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน แรงดันไฟฟ้าเหล่านั้นเมื่อถูกป้อนเข้าสู่ตัวเก็บประจุภายในช่วงระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง แรงดันไฟฟ้าภายในตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขึ้นไปถึงระดับความสูง (amplitude) ที่แตกต่างกันนั้นคือภายในเวลาเท่ากันแรงดันไฟฟ้าสูงจะถูกป้อนเข้าในตัวเก็บประจุได้มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า และในเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดดังกล่าวนี้ก็คือแรงดันไฟฟ้าที่ด้านทางออกของโหลดเซลนั้นเอง หลังจากนั้น condenser จะปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้า (V_{dis}) โดยใช้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงคงที่ (V_{ref}) ค่าหนึ่งซึ่งมีขั้วตรงข้ามกับประจุในตัวเก็บประจุ ทำการปล่อยประจุผ่านตัวต้านทานเสถียรภาพสูง (highstable resistance) จนแรงดันไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุหมดไปภายในช่วงระยะเวลาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ หากแรงดันไฟฟ้าค้างอยู่มากก็ใช้เวลานานขึ้น เรียกช่วงระยะเวลานี้ว่า discharging time; t

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงระยะเวลาที่มีการอัดประจุเข้าสู่ตัวเก็บประจุ (Capacitor) (Charging time; T) โดยทั่วไปประมาณ 100 mS กับเวลาของการ

ปล่อยประจุ (t) ได้ว่า

$$V_{in} = V_{ref} \frac{t}{T}$$

$$V_{in} \propto t$$

จากนั้นสัญญาณด้านทางออกจากตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล จะถูกส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะถูกโปรแกรมให้แปลงช่วงระยะเวลาของการปลดปล่อยแรงดันไฟฟ้าออกจากตัวเก็บประจุ (discharging time; t) ไปเป็นค่าตัวเลขดิจิตอลเพื่อแสดงออกเป็นค่าน้ำหนักสิ่งของที่ทำการชั่ง

7.3 Microcomputer and digital processing

ระบบย่อยของการประมวลผลดิจิตอลประกอบด้วย Master oscillator, Programming unit และ Microcomputer (μC)

Master oscillator เป็นตัวกำเนิด real time synchronization สำหรับ Microcomputer (μC) ซึ่งตัว Master oscillator เองเป็นคริสตัล (crystal) ที่ถูกควบคุมด้วยความถี่ 3,072 MHz

Programming unit จะถูกควบคุมจาก Master oscillator และเป็นตัวประสานงานกับ Microcomputer กับ A/D converter

Microcomputer (μC) จะถูกโปรแกรมให้ทำงาน

- ผลิต A/D timing signals เริ่มตั้งแต่วงจรการแปลงค่าจาก charging time; T จนถึง discharging; t
- แปลงดิจิตอลของช่วงระยะเวลา discharging; t โดยเทียบกับ internal full scale count ซึ่งมี resolution 40,000
- ตรวจสอบสภาวะ in-motion
- หาค่าน้ำหนัก gross, tare และค่า net weight
- แปลงสัญญาณผลการนับจำนวนพัลซ์ภายในให้เป็นแสดงเป็นค่าขั้นหมายมาตรา (d) หรือค่าน้ำหนัก
- แปลงข้อมูลให้ไปอยู่ในรูปแบบ BCD และทำการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยเพื่อส่งไปยัง output ports

7.4 Front panel control and display block

ในความหมายของ front panel control block จะครอบคลุมถึงปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคว่าจะหาค่าน้ำหนักเป็นค่า NET หรือ GROSS ต้องการเปลี่ยนหน่วยจาก lb เป็น kg หรือปุ่มที่ใช้ตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องชั่งว่าส่วนแสดงค่าหลอดไฟดับหรือไม่ อาจรวมถึงการเชื่อมต่อคีย์บอร์ดและเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

ส่วน front panel display block จะประกอบด้วยส่วนแสดงค่าตัวเลข เครื่องหมายบวกลบในส่วนแสดงค่าหลัก รวมถึง LED indicator, center-of-zero indicator, ตัวแสดง on-off เป็นต้น

ตัวอย่างข้อมูลของ Microcomputer controlled load cell digitizer

เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคสมัยใหม่ได้มีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานและการคำนวณน้ำหนัก สัญญาณด้านทางออกจากโหลดเซลจะถูกส่งมายัง Microcomputer controlled load cell digitizer หรือเรียกโดยย่อว่า ตัวแปลงดิจิตอล (digitizer) เพื่อประมวล แก้ไข ตรวจสอบข้อมูล และแสดงผลการชั่ง บันทึก ข้อมูล เป็นต้น ข้อมูลโดยทั่วไปของตัวแปลงดิจิตอล (digitizer) ตัวอย่าง

Analogue input

Sensitivity:	1.6-65 μV per display increment (d)
Full scale range:	15-65 mV

A/D Conversion

Resolution: Internal:	40,000 counts
Display:	1,000-10,000 (d) selectable

Accuracy,stability and reliability

Linearity:	Within ± 0.01% of span full scale
Span tempco:	Maximum 20 ppm/°C

Zero tempco:	± 0.15 μV + 20 ppm/°C
Long term drift:	0.01% of span, 0.01% of dead load offset over one year

การประมวลผลข้อมูล (Data Processing)

หากจะพูดถึงรายละเอียดของเทคนิคการประมวลผลข้อมูล (Data Processing with microcomputer techniques) นั้นคงเป็นเรื่องยากและต้องใช้เวลาอย่างมาก และโดยเฉพาะผู้เรียบเรียงก็ไม่ได้จบทางด้านนี้เสียด้วย แต่หากจะกำหนดขอบเขตลงให้แคบลงโดยมาสนใจเฉพาะเทคนิคการประมวลผลข้อมูลของเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคทั่วๆ ไปซึ่งใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ พอสรุปได้ดังในบล็อกไดอแกรม ในรูปที่ 9

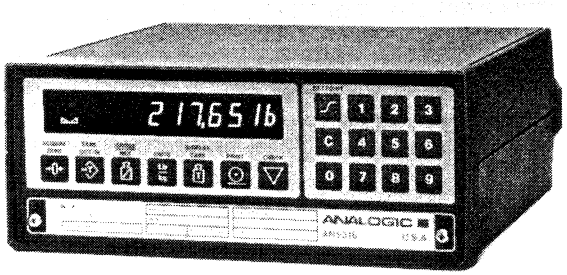


Figure *Typical load cell digitizer*
(Courtesy of Analogic Corporation)

รูปที่ 8 ระบบการประมวลผลข้อมูลโดยทั่วไป

การป้อนข้อมูลอ้างอิง (reference data) เข้าไปในขบวนการประมวลผลสามารถกระทำผ่านทาง key board หรือบัตรเจาะรู ซึ่งอาจพบเห็นได้ยากในปัจจุบัน อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนประมวลผลข้อมูลประกอบด้วย Random access memory (RAM), Read only memory (ROM), และ Central processing unit(CPU) นอกจาก

นี้อาจใส่ RAM เสริมเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลด้วย Visual display unit (VDU) และเครื่องพิมพ์

ส่วนสัญญาณด้านทางออกที่ไปยังส่วนประมวลผลอิเล็กทรอนิกส์ (electronic data processing; EDP) อื่นๆนั้นปรกติจะกระทำผ่าน opto-couplers เพื่อที่แยกระบบกระแสไฟฟ้าออกเป็น 2 ระบบจากกัน

สาเหตุผลผิดเนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Sources of error due to the electronics and electrical installation)

หากไม่ให้ความสนใจการติดตั้งติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดีเท่าที่ควรอาจก่อให้เกิดผลผิดการชั่งแบบสุ่ม (random weighing errors) และการทำงานผิดหน้าที่ (operational malfunction)

1. **การเดินสายสัญญาณและสายไฟฟ้า (Cable and electrical installation)** หากตรวจสอบไม่ดี หรือไม่มีการต่อสายลงกราวด์ที่ดีพอ ตลอดจนคุณภาพเชื่อมต่อของวงจรและรอยบัดกรีเชื่อมต่อไม่ดี สิ่งเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุของผลผิด

2. **อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป (Excessive temperature)** การที่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรืออุณหภูมิบริเวณที่ติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์มีค่าสูง หรือต่ำเกินกว่าที่กำหนดล้วนแล้วแต่มีผลต่อความเสถียรภาพและน่าเชื่อถือของอุปกรณ์นั้นๆ

3. **ความชื้นในอากาศ (Humidity in the air)** อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการควบแน่นหรืออาจมีอิทธพลปริมาณความชื้นภายในอุปกรณ์

4. **แก๊สและฝุ่นละออง (Gases, Fumes etc)** โดยเฉพาะจำพวกที่เป็นแก๊สที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งแน่ล่ะย่อมทำให้ชิ้นส่วนกลไก หรือฉนวนหรือหน้าสัมผัสของวงจรไฟฟ้า มีปัญหาได้ด้วยเช่นกัน เช่นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือกำมะถันจากเขม่ารถยนต์

5. **Mechanical shocks, vibration etc.** อาจส่งผลร้ายต่อการทำงานของชิ้นส่วนกลไกในระบบการชั่งน้ำหนัก รวมทั้งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ด้วย

6. **สนามแม่เหล็ก (Magnetic fields)** สนามแม่เหล็กซึ่งอาจเกิดจาก electric arc ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุให้เหนี่ยวนำกระแสในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องชั่ง อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งยังส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของการทำงานของระบบการชั่งน้ำหนัก

7. **Lightning from thunderstorms as well as electrical transients** การเกิดฟ้าผ่าฟ้าแลบซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ก็มีผลต่อระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องชั่งเช่นกัน รวมถึงการเพิ่มหรือลดลงทันทีทันใดของแรงดันไฟฟ้าภายในสายส่ง เช่นกัน

8. **การแทรกซ้อนจากสัญญาณวิทยุ (Radio interference)** จากคลื่นวิทยุสื่อสารย่านความถี่ VHF หรือจากรีโมทคอนโทลสำหรับควบคุมเครน

9. **Microwave radiation from radar station** การแผ่กระจายของคลื่นเรดาร์ ซึ่งเป็นคลื่นย่านความถี่สูงจากสถานีรับส่ง

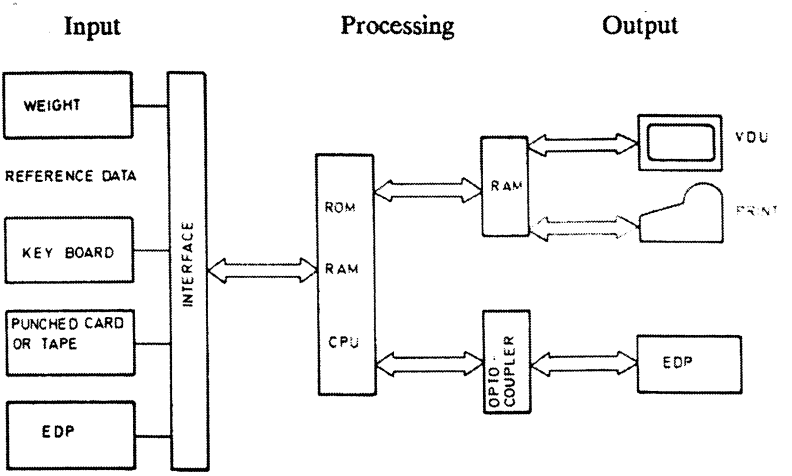


Figure *Typical data processing system*

รูปที่ 9 ระบบประมวลข้อมูลโดยทั่วไปของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

คำนิยามและความเป็นมาของหน่วยมวล

(Definition and Realisation of the Unit of Mass)

ประเทศไทยในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เสนาบดีกระทรวงมหาดไทย เสนาบดีกระทรวงพระคลังและเสนาบดีกระทรวงนครบาล ประชุมปรึกษากันทำความเห็นเพื่อนำมาทูลเกล้าเสนอ (ถ้างง ก็ง่ายมากให้ย้อนกลับไปอ่าน "ประวัติการชั่งตวงวัดของประเทศไทย" เพราะผู้เขียนตัดฉากมาบางส่วนเพื่อความมัน) จนในที่สุดที่ประชุมทูลเกล้าฯ ถวายรายงานความเห็นเมื่อ พ.ศ.2454 ว่าประเทศไทยเราควรเข้าเป็นสมาชิกเพื่อรับเอาวิธีเมตริกมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบชั่งตวงวัดของประเทศสอดคล้องต้องกับประเทศอนารยะทั้งหลายรวมทั้งสภาพการติดต่อค้าขายของภูมิภาคและของโลกและได้ทรงพิจารณาเห็นชอบด้วย กระทรวงเกษตราธิการในสมัยสมเด็จพระเจ้าพี่ยาเธอกรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์เป็นเสนาบดีกระทรวงจึงได้แจ้งความจำนงไปยังรัฐบาลฝรั่งเศสเพื่อขอเข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ถูกก่อตั้งด้วยความร่วมมือของ 17 ประเทศก่อตั้งเมื่อ ค.ศ. 1875 (พ.ศ. 2418) (พร้อมกับจัดตั้งหน่วยงานรองลงมาเพื่อปฏิบัติงานอีก 3 หน่วยงานได้แก่ General Conference on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) , คณะกรรมการชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (International Committee on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ The Comitè Internation des Poids et Mesure; CIPM) และสำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ (Bureau International des Poids et Measures; BIPM)) ที่ประเทศฝรั่งเศส ประเทศไทยได้เข้าเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาเมตริกและรับเอาวิธีเมตริกมาเป็นหลักการชั่งตวงวัดของประเทศเมื่อ พ.ศ. 2455 (ค.ศ. 1912) เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าประเทศไทยในสมัยเริ่มต้นก็ทันสมัยไม่น้อยเช่นกัน อาจจะเป็นเพราะมีที่ปรึกษาราชการแผ่นดินเป็นคนฝรั่งเศสก็เป็นได้ เนื่องจากหลังอนุสัญญาเมตริก (The International Metric Convention) ก่อตั้งได้ในปี ค.ศ. 1875

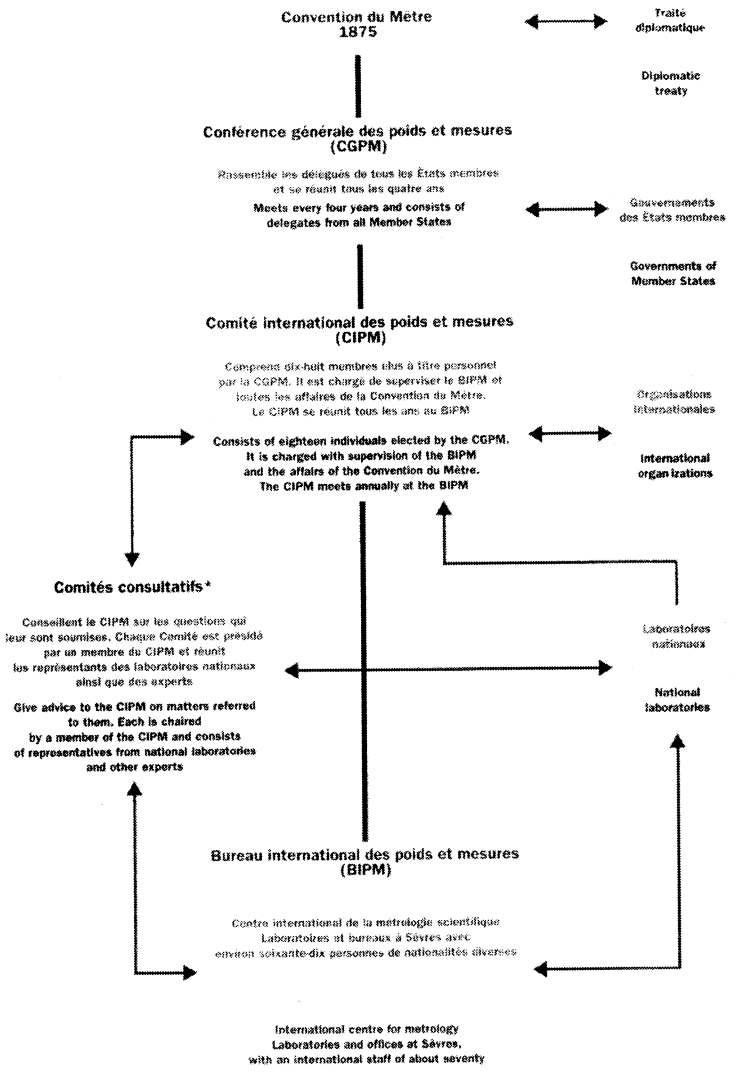
(พ.ศ. 2418) ประเทศไทยเราก็ได้เข้าเป็นสมาชิกในปี ค.ศ. 1912 ถัดมาเพียง 37 ปี เอง แต่ในปัจจุบันเราน่าจะล้าหลังในเรื่องชั่งตวงวัดจากยุโรปอาจเป็น 100 ปี ก็ได้ หรืออาจห่างกัน 37 ปีเท่าเดิมก็อาจเป็นได้ ใครจะไปรู้

โครงสร้างของหน่วยงานระดับสากลอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology หากไม่ได้อยู่ใน วงการนี้ก็ดูแล้วยังสับสนบ้างแต่เมื่อดูโครงสร้างในดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 อาจจะ เข้าใจภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และจะได้ทราบว่าองค์การนี้มีผลต่อโลกมนุษย์มาก น้อยเพียงใด ก็ให้จับดูเอาเองครับ

ตั้งแต่การประชุมครั้งที่หนึ่งของที่ว่าการประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวงวัด (General Conference on Weights and Measures) ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ในปี 1889 (พ.ศ. 2432) ได้สรุปและ ให้คำนิยามของหน่วยมวล (the unit of mass) ดังนี้

"The kilogram is the unit of a mss; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram"

เจ้าตัวแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ **IKP** มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง 39 มิลลิเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 มิลลิเมตรเช่นกัน ทำด้วยโลหะ อัลลอย์ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย platinum จำนวน 90% และ iridium จำนวน 10% เรียกชื่อในอักษรย่อของแร่ธาตุโดยรวม คือ Pt-Ir (platinum- iridium) ความหนา แน่นของแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมมีค่าโดยประมาณ 21,500 kg/m^3 การที่มี การเลือกเอา platinum- iridium มาทำเป็น Prototype นั้นดูเหมือนจะได้มีการให้ เหตุผลที่ว่า ความคงเส้นคงวาในเรื่องของตัวมวลของโลหะอัลลอย์ชนิดนี้น่าเชื่อถือ ได้ นอกจากนี้ในเรื่องของการทำปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกของโลหะอัลลอย์ ชนิด platinum- iridium มีน้อย (chemical passivity) อีกทั้งมีความหนาแน่นสูง มากส่งผลให้พื้นที่ผิวของชิ้นงานน้อยลง (very small geometrical surface area) ดังนั้นโอกาสที่มีผิวสัมผัสน้อยก็ยิ่งมีโอกาสทำปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วย



* Se reporter au texte page 14 pour la liste des comités consultatifs.
* See list of Comités Consultatifs in text on page 14.

รูปที่ 1 โครงสร้างของหน่วยงานระดับสากลอนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology

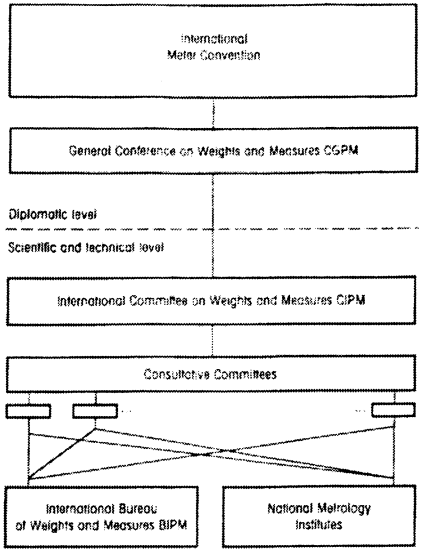
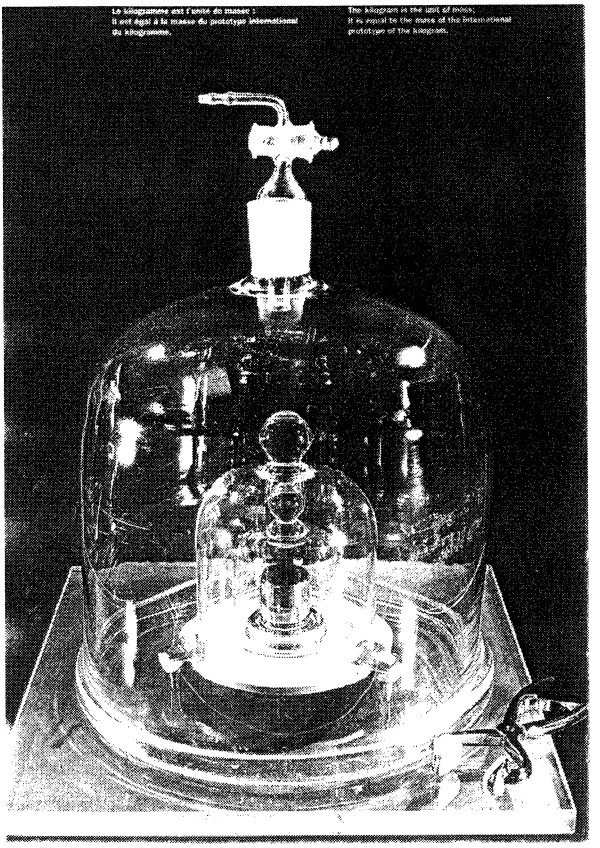


Fig. The organ of the Metre Convention and international coordination of metrology. The Consultative Committee CCM (Le Comite Consultatif pour la masse et les grandeurs apparentees) was established in 1980 as the 8th Technical Committee

รูปที่ 1 (ต่อ) หรือดูง่ายๆ อีกรูปแบบหนึ่งของโครงสร้างของหน่วยงานระดับสากล อนุสัญญาเมตริก (the Metric Convention) และ International coordination of Metrology

เช่นกัน และเสริมด้วยการเก็บรักษาที่เอาใจใส่และมีคุณภาพก็ยิ่งสร้างความมั่นใจว่าในระยะยาวแล้วความเสถียรภาพของมวลจึงค่อนข้างมีสูง ในรูปที่ 2 เป็นแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมนี้ถูกจัดเก็บภายในเยือกหรือฝาครอบแก้ว (glass bell-jars) 3 ชั้น รู้สึกว่าจะมีการ Vacuum อากาศภายในฝาครอบแก้วด้วย (ดูรูปที่ 3) ในปัจจุบันแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมหรือ **IKP** ได้ถูกเก็บรักษาไว้เป็นอย่างดีที่ Bureau International des Poids et Mewsures (BIPM) หรือในชื่อภาษาอังกฤษเรียกว่า International Bureau of Weights and Measures ณ เมือง Sèvres ใกล้กรุงปารีส



รูปที่ 2 แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ **IKP**

แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมนี้ได้ถูกผลิตโดยบริษัท Johnson, Matthey & Co. ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในปี 1879 (พ.ศ. 2422) จำนวน 3 ชิ้น ด้วยกันคือ **KI KII** และ **KIII** ปรากฏว่าชิ้นที่ 3 ถูกเลือกให้เป็น **IKP** เนื่องจากในปี ค.ศ. 1880 The Commision Mixte กับ M. Collot ได้ทำการปรับแต่งน้ำหนัก **KI KII** และ **KIII** หลายครั้งจนกระทั่งพบว่า **KIII** มีค่าเท่ากับ mass of "Kilogramme des Archives" ภายในช่วงของความไม่แน่นอนของการวัดในเศษส่วน 1000

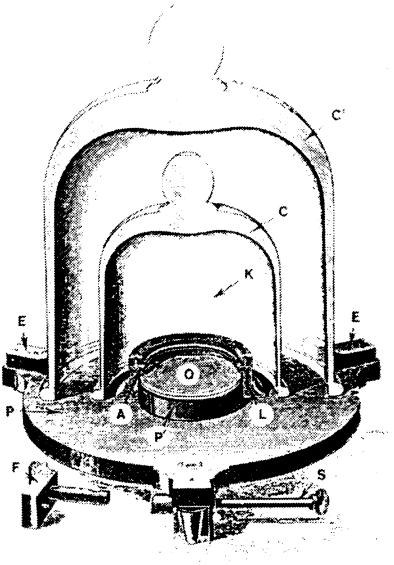


Fig. Sectional view of an original container for a kilogram prototype: K Pt-Ir kilogram prototype; Q Quartz plate as flat surface for the prototype; P, P' Base plate (P) with brass cylinder (P'); A Brass crown (L) with silver ring (A) (inner diameter 42 mm) for protection against possible side movements of the prototype; C, C' Glass bell-jars secured against side movement by a ridge on the base plate (P); E, F Fixtures securing the outer glass bell-jar (C'). Fixture E is attached. Fixture F is removable; S Safety device for the removable fixture (F); The international prototype is additionally protected by a third glass bell-jar which lies on a polished glass plate (Fig. 22.6).

รูปที่ 3 ฝาครอบแก้ว (glass bell-jars) 3 ชั้น สำหรับจัดเก็บ **IKP**

ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1882 **KIII** ได้ถูกนำไปจัดเก็บรักษาอย่างดีที่ BIPM ถึงตอนนี้ผู้เขียนอ่านไปอ่านมาก็ยอมรับว่ามึนเล็กน้อยเพราะต้องไปหาอ่านว่า mass of "Kilogramme des Archives" คือกะไรต่อ มาย้อนกลับไปตอนต้นนั้นเราให้หน่วยของมวล (mass) คือ "gram" โดย 1 gram มีค่าเท่ากับมวลของ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของน้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่ในเวลาต่อมา ได้เปลี่ยนให้หน่วยของมวลเป็น "kilogram" มีค่าเป็นมวลของ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนในปี ค.ศ. 1799 (พ.ศ. 2342) ได้มีการทำมวลต้นแบบ (Prototype of the mass) ขึ้นโดยจัดเก็บไว้ในที่จัดเก็บเอกสารสำคัญ (archives) ของประเทศฝรั่งเศส แล้วยกเลิกนิยามเก่าดังกล่าว ด้วยเหตุนี้มวลต้นแบบ (Prototype of the mass) จึงได้มีชื่อว่า "Kilogramme des Archives" นั่นเอง

ในปี ค.ศ. 1883 (พ.ศ. 2426) International Committee on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ The Comitè Internation des Poids et Mesure; CIPM ได้เลือกให้ **KIII** เป็น **IKP** และต่อมา Gènèral Confèrence on Weights and Measures ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ก็อนุมติให้เป็น**แบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram; IKP)** หลังจากนั้น **IKP** ก็เป็นที่รู้จักเป็นทางการว่า **มิสเตอร์ K** ออจริงๆ แล้วรู้จักในรูปของอักษร **K** ชนิดตัวอักษร Gothic (the Gothic letter **K**) สำหรับ **KI** นั้นถูกประกาศให้เป็น reference standard ในขณะที่ **KII** ยังคงถูกจัดเก็บไว้เป็นอย่างดีในฝรั่งเศส

ในปี ค.ศ. 1884 (พ.ศ. 2427) บริษัทเดียวกันที่สร้าง **KI, KII** และ **KIII** นั้นคือ Johnson, Matthey & Co ได้ส่งแบบประถม 1 กิโลกรัมอีก 40 ลูก มายัง BIPM เพื่อทำการปรับแต่งน้ำหนักในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1885 ถึง ค.ศ. 1888 แบบประถม 1 กิโลกรัมทุกลูกจะมีการทำเครื่องหมายบนผิวชิ้นงานซึ่งจะเห็นเป็นรอยเครื่องหมายได้ก็ต่อเมื่อดูในมุมที่มีการสะท้อนของผิวชิ้นงาน ต่างจากแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram; **IKP**) ถึงแม้นเป็นที่รู้จักกันในนาม **มิสเตอร์ K** แต่ก็ไม่มีการทำเครื่องหมายลงบนผิวชิ้นงานแต่อย่างใด ขอบเขตที่ยอมให้ผลผิด (tolerance limit) ในการชั่งเปรียบเทียบแบบประถม 1 กิโลกรัมทั้ง 40 ชิ้นกับ **IKP** นั้นจะยอมให้ไม่เกิน ±0.2 mg แต่เป็นการยากที่จะทำได้ ดังนั้นในการประชุมครั้งแรกของที่ว่าการประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวงวัด (General Conference on Weights and Measures) ในชื่อฝรั่งเศสคือ Confèrence Gènèral des Poids et Mesures (CGPM) ในปี 1889 (พ.ศ. 2432) จึงกำหนดให้ขอบเขตที่ยอมให้ให้ผลผิด (tolerance limit) เพิ่มขึ้นเป็น ±1.0 mg ทั้งหมด 42 แบบประถม (Prototypes) อีก 2 ลูกที่เพิ่มจาก 40 ลูก คือ **KI** และ No.1 นั้นเอง

จากจำนวนทั้งหมด 42 แบบประถม (Prototypes) ในปี ค.ศ. 1889 นั้น 30 ลูกจะถูกส่งไปกระจายไปยังประเทศสมาชิกและ BIPM รวมทั้ง 2 ลูกที่เกินมาจาก 40 ลูก คือ **KI** และ No.1 ซึ่งถือเป็น Reference standard (tèmoins) ก็ถูกส่งไปเก็บรักษาที่ BIPM พร้อมกับ **IKP** ด้วย ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันได้ No. 22 และรัฐ Bavaria ได้ No. 15

ในปี ค.ศ. 1905 จำนวน Prototype ใน BIPM เพิ่มขึ้นเป็น 4 ลูกคือ No. 8 และ No. 32 (**KI** , No.1, No. 8 และ No. 32) แต่เนื่องจากมีความผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนการผลิต No. 8 ถูกทำเครื่องหมายผิดไปกล่าวคือถูกทำเครื่องหมายเป็นหมายเลข 41 ดังนั้นจึงเรียก No. 8 เป็น No. 8(41) ในเวลาต่อมา

ในปี 1925 No. 7 ถูกใช้เป็น Reference standard (tèmoins) แทนที่ No. 1 เนื่องจาก No. 1 เกิดความเสีย

ในปี ค.ศ. 1938 จำนวน Reference standard (tèmoins) ที่ครอบครองด้วย BIPM ได้เพิ่มเป็น 6 ชิ้น โดยเพิ่ม No. 43 และ No. 47

แต่เนื่องจาก Working Prototype ของ BIPM จำนวน 2 ชิ้นคือ หมายเลข No. 9 และ No. 31 มีการนำมาใช้บ่อยแล้วทำให้เป็นที่วิตกกังวลถึงความถูกต้องจึงกำหนดให้สามารถนำมาใช้ได้เพียง 1 ครั้งในรอบ 5 ปี ดังนั้นในปี ค.ศ. 1958 ตัว Working Prototype ตัวใหม่ของ BIPM ก็มีเกิดขึ้นด้วยหมายเลข No. 25 สรุปแล้ว BIPM ครอบครอง Prototype ทั้งหมด 6 Reference standards (tèmoins) คือ **KI**, No. 7, No. 8(41), No. 32, No.43, No. 47 และมี 4 Working Prototypes คือ No. 9, No. 31 และ No. 25 ดังแสดงในรูปที่ 4

ในระหว่างปี ค.ศ. 1929 ถึง ค.ศ. 1993 ได้มีการจัดทำ Prototype เพิ่มขึ้นอีก 37 ชิ้น เพื่อแจกจ่ายให้กับประเทศที่เป็นสมาชิกตามอนุสัญญาเมตริก (the Metric convention) โดยตัวเลขเริ่มนับต่อเริ่มต้นเป็น No. 41 ถึง No. 77

ในปี ค.ศ. 1951 ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันได้ No. 52 ทดแทน No. 22 ที่เกิดความเสียหายไปในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และได้รับเพิ่มอีก 1 ชิ้น คือ No. 55 ในปี ค.ศ. 1953 และต่อมา No. 55 ก็ถูกส่งมาเก็บรักษาที่ PTB ส่วน No. 15 ที่รัฐ Bavaria ได้ไปในหนังสือที่อ่านไม่มีการกล่าวถึงสงสัยสูญหายไปในสงครามโลกครั้งที่ 2 เช่นกัน ในปี ค.ศ. 1987 PTB ก็ได้เพิ่มมาอีก 1 ลูกคือ NO. 70 สรุปประเทศสมาชิกครอบครอง Kilogram Prototype ที่ได้รับจาก BIPM และผลการเปรียบเทียบกับ **IKP** ดังในตารางที่ 1

ในปัจจุบันสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ได้มีประกาศกระทรวงพาณิชย์เรื่องกำหนดแบบมาตราชั้นหนึ่งตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

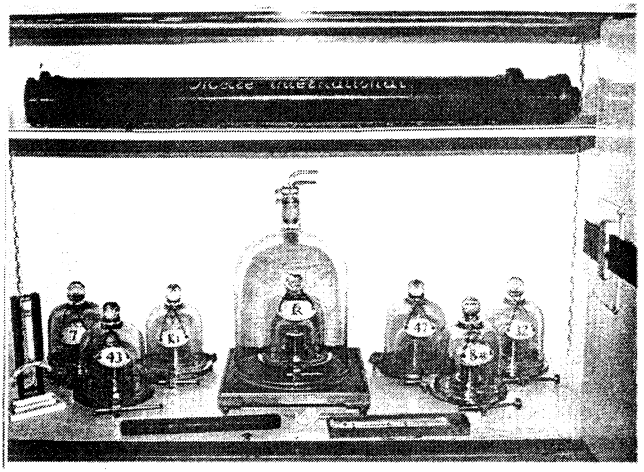


Fig. Depot of the kilogram prototype and the earlier metre prototypes at the BIPM. Above: the metre prototype in its metal container. Below: the international kilogram prototype (centre) and the six reference standards (temoins). In the foreground there are two thermometers, and on the left is a hair hygrometer.

รูปที่ 4 ที่จัดเก็บ **IKP** และ meter prototype ที่ BIPM

รูปบน: meter prototype ที่ถูกจัดเก็บภายในกล่องเหล็ก

รูปล่าง IKP หรือ Mr. **K** จะอยู่ตรงกลางสุด ส่วนอีก 6 Reference standard (tèmoins) อยู่ด้านข้างซ้ายขวา คือ **KI**, No. 7, No. 8(41), No. 32, No.43, No. 47 ส่วน 4 Working Prototype คือ No. 9, No. 31 และ No. 25 ไม่มีแสดงไว้ในที่นี้

พ.ศ. 2550 ลงวันที่ 4 ม.ค. 2550 กำหนดให้มาตรฐานแห่งชาติด้านมวลคือตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต้นแบบระหว่างประเทศ (International prototype of the kilogram) หมายเลข 80 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี่ เรื่องกำหนดมาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับหน่วยวัดปริมาณ เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุอ้างอิงที่ใช้ในการวัดปริมาณ ลงวันที่ 13 ก.ย. 2549 ออกตามความในพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. 2540 เป็นแบบมาตราชั้นหนึ่งทางมวลตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

ตารางที่ 1 สรุปประเทศสมาชิกครอบครอง Kilogram Prototype ที่ได้รับจาก BIPM และผลการเปรียบเทียบกับ IKP

Table National Kilogram prototypes compared with the international prototype of the kilogram in the 3rd verification 1989-1992 [22.20]

BIPM reference standards *(tèmoins):*

KI	1 kg + 0,135 mg
No.7	1 kg – 0,481 mg
No.8 (41)	1 kg + 0,321 mg
No.32	1 kg + 0,139 mg
No.43	1 kg + 0,330 mg
No.47	1 kg + 0,403 mg

BIPM Working prototypes:

No.25	1 kg + 0,158 mg
No.9	1 kg + 0,312 mg
No.31	1 kg + 0,131 mg

National prototypes:

No.2	Rumania	1 kg – 1,127 mg
No.3[1]	Spain	1 kg + 0,077 mg
No.5	Italy	1 kg + 0,064 mg
No.6	Japan	1 kg + 0,176 mg
No.12	Russian Federation	1 kg + 0,100 mg
No.16	Hungary	1 kg + 0,012 mg
No.18	Great Britain	1 kg + 0,053 mg
No.20	USA	1 kg + 0,021 mg
No.21	Mexico	1 kg + 0,068 mg
No.23	Finland	1 kg + 0,193 mg
No.24	Spain	1 kg + 0,146 mg

[1] Later compared with working prototypes No 9 and 3, 1992/1993

No.34	Académie des sciences de Paris	1 kg + 0,051 mg
No.35	France	1 kg + 0,189 mg
No.36	Norway	1 kg + 0,206 mg
No.37	Belgium	1 kg + 0,258 mg
No.38	Switzerland	1 kg + 0,242 mg
No.39	South Korea	1 kg – 0,783 mg
No.40	Sweden	1 kg – 0,035 mg
No.44	Australia	1 kg + 0,287 mg
No.46	Indonesia	1 kg + 0,321 mg
No.48	Denmark	1 kg + 0,112 mg
No.49	Austria	1 kg + 0,271 mg
No.50	Canada	1 kg + 0,111 mg
No.51	Poland	1 kg + 0,227 mg
No.52[2]	Germany	1 kg + 0,207 mg
No.53	The Netherlands	1 kg + 0,121 mg
No.54	Turkey	1 kg + 0,203 mg
No.55[3]	Germany	1 kg + 0,252 mg
No.56	South Africa	1 kg + 0,240 mg
No.57	India	1 kg – 0,036 mg
No.58	Egypt	1 kg – 0,120 mg
No.60	Peoples Republic of China	1 kg + 0,295 mg
No.62[1]	Italy (IMGC)	1 kg – 0,907 mg
No.64[1]	Peoples Republic of China	1 kg + 0,251 mg
No.65	Slovakia	1 kg + 0,208 mg
No.66	Brazil	1 kg + 0,135 mg
No.68	Peoples Republic of Korea	1 kg + 0,365 mg
No.69	Portugal	1 kg + 0,207 g
No.70[4]	Germany	1 kg – 0,236 mg
No.71	Israel	1 kg + 0,372 mg
No.72	South Korea	1 kg + 0,446 mg
No.74	Canada	1 kg + 0,446 mg
No.75	Hong Kong	1 kg + 0,132 mg

[2] Official prototype of the kilogramof the Federal Republic of Germany, last comparison at BIPM 1985 with working protoypes No 9 and No 31

[3] Until 1989/1990 prototype of the kilogram of the former German Democratic Republic (GDR).

[4] Manufactured in 1987 with diamond-worked surface.

จากที่ทราบแล้วว่าแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัม (the international prototype of the kilogram) หรือคำย่อในอักษรอังกฤษ คือ **IKP** ทำด้วยโลหะอัลลอย์ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย platinum จำนวน 90% และ iridium จำนวน 10% เรียกชื่อในอักษรย่อของแร่ธาตุโดยรวม คือ Pt-Ir (platinum- iridium) ความหนาแน่นของแบบประถมสากลหน่วยกิโลกรัมมีค่าโดยประมาณ 21,500 kg/m^3 ถึงแม้ว่าโลหะอัลลอย์ชนิด platinum- iridium ทำปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกน้อย (chemical passivity) ก็ตาม แต่ในความเป็นจริงแล้วด้วยเครื่อง mass comparator ที่ทันสมัยสามารถตรวจสอบพบว่า Pt-Ir Prototype เปลี่ยนไปด้วยอัตราประมาณ 1 μg ต่อเดือนภายในช่วงเวลา 3-4 เดือนแรกหลังจากที่มีการทำความสะอาด และเนื่องจากกรรมวิธีในการผลิต การทำผิวในขั้นตอนสุดท้ายและสภาวะแวดล้อมเราพบว่าน้ำหนักของ Pt-Ir Prototype มีการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา และเมื่อล้างทำความสะอาดแล้วก็สามารถลดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ส่วนหนึ่ง (reversible increase in mass; Δm_r) ประมาณ 0.5 -3 μg ต่อปี แต่ยังมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและไม่สามารถลดลง (irreversible increase in mass; Δm_i) ประมาณ 0.1-1.0 μg ต่อปี หลังจากทำความสะอาดแล้วอีกส่วนหนึ่งด้วยเช่นกัน ดูรูปที่ 5

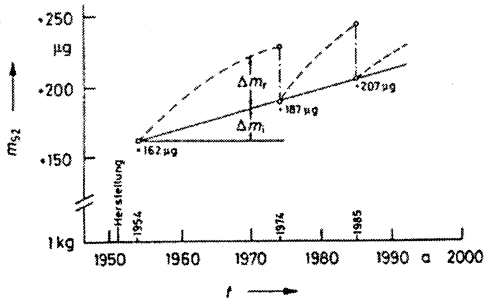


Fig. Changes in mass of the kilogram prototype No.52. Δm_i irreversible, longstanding increase in mass. Δm_r reversible increase in mass due to surface layers that are removed by cleaning.

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงในมวลของ kilogram prototype หมายเลข 52 ที่ครอบครองโดย PTB

การเลือกโหลดเซลให้สอดคล้องกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

(Load Cell Matching Non-automatic Weighing Instrument)

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติชนิดเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคซึ่งมีโหลดเซลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมักได้รับความนิยมเลือกใช้กันอย่างมาก อาจจะด้วยเหตุผลต่างๆ ด้วยกัน เช่น สามารถนำผลการชั่งไปจัดเก็บบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในงานต่อเนื่องจากการชั่งไม่ว่าจะเป็นการบริหารการจัดการ ในเรื่องการคงคลังสำรองสินค้า หรือเป็นฐานข้อมูลด้านการตลาดต่อไปในอนาคต หรือในบางกรณีก็เพื่อใช้ในการควบคุมการผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐานคุณภาพสินค้าตลอดระยะเวลาการผลิต เป็นต้น ในขณะเดียวกันผู้ที่มีเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติเดิมที่เป็นกลไกอยู่ก็ต้องการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้รูปแบบการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค (Electronic Weighing Instrument) แต่ก็ยังคงต้องการรูปแบบการชั่งหรือการแสดงผลในลักษณะเดิมแบบกลไกทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ทั้งนี้ด้วยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงส่วนแสดงค่าของเครื่องชั่งแบบกลไกที่มีส่วนแสดงค่าแบบ อนาล็อกให้สามารถแสดงแบบดิจิตอลได้ด้วยด้วยการเพิ่มส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอลเข้าไป โดยใช้โหลดเซลทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแปลงแรงที่ส่งผ่านมาจากระบบกลไกไปยังส่วนแสดงค่าแบบอนาล็อกหรือคันชั่งหรือหน้าปัดให้เปลี่ยนไปเป็นแรงอิเล็คทรอนิคหรือสัญญาณอิเล็คทรอนิคนั้นเอง จากนั้นส่งสัญญาณอิเล็คทรอนิคดังกล่าวไปยังส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล แต่ส่วนรับน้ำหนัก (load receptor) ยังคงเป็นระบบกลไกเช่นเดิม เราเรียกเครื่องชั่งชนิดที่กล่าวมานี้ว่า เครื่องชั่งไฮบริด (Hybrid Weighing Instrument)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโหลดเซลเป็นชิ้นส่วนสำคัญชิ้นส่วนหนึ่งของระบบการชั่งทั้งหมดของเครื่องชั่ง การเลือกโหลดเซลให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการให้สอดคล้องกับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่ง จึงเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสนใจ ด้วยเหตุนี้ก่อนที่เราจะมาเรียนรู้วิธีการเลือกโหลดเซลให้เหมาะสมกับชั้นความเที่ยงของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติเราควรมาดูและศึกษาข้อจำกัดและ

เงื่อนไขของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติตามที่กำหนดไว้ใน OIML R76-1 (Nonautomatic Weighing Instruments Recommendation) ในหัวข้อ 4.12 ซึ่งพอสรุปโดยคร่าวได้ว่า

1. ข้อกำหนดสำหรับโหลดเซล (Requirement for load cells) ที่นำมาใช้งานกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัตินั้น ต้องมีพิกัดกำลังสูงสุดของโหลดเซล (Maximum capacity of load cell) เป็นไปตามเงื่อนไข

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times \frac{R}{N}$$

เมื่อ

E_{max} คือ พิกัดกำลังสูงสุดของโหลดเซล

Max คือ พิกัดกำลังสูงสุดของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

N คือ จำนวนโหลดเซล

R คือ อัตราส่วนลด (Reduction ratio)ของส่งผ่านน้ำหนัก (T.3.3)

$$R = \frac{FM}{FL}$$

เมื่อ

FM คือ แรงกระทำบนส่วนชั่งน้ำหนัก (the load measuring device)

FL คือ แรงกระทำบนส่วนรับน้ำหนัก (the load receptor)

Q คือ ค่าแก้ไข (Correction factor)

สำหรับค่าแก้ไข Q > 1 พิจารณาถึงในกรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ของการวางน้ำหนักเยื้องศูนย์, น้ำหนักตาย (dead load) ของส่วนรับน้ำหนัก, ช่วงการตั้งศูนย์ครั้งแรก (initial zero setting range) และการกระจายภาระน้ำหนักที่ไม่สม่ำเสมอ

จากสมการข้างบนนี้เรามาพิจารณาเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ 2 จำพวกคือ

(1.1) เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค นั้นหมายถึงเครื่องชั่งที่มีส่วนประกอบเป็นอิเล็คทรอนิคและประกอบด้วยโหลดเซลเป็นหลักในกรณี ดังนั้นโหลดเซลมีพิกัดกำลังสูงสุด (Maximum capacity of load cell) เป็นไปตามเงื่อนไข

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times \frac{1}{N}$$

เนื่องจาก ค่า R ดังในสมการข้างบนมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากส่วนถ่ายทอดน้ำหนักจากส่วนรับน้ำหนักไม่มีกลไกใดๆ ใช้โหลดเซลโดยตรง

(1.2) เครื่องชั่งไฮบริด (Hybrid Weighing Instrument) จากที่ได้กล่าวลักษณะของเครื่องชั่งชนิดนี้ไว้แล้ว ดังนั้นโดยปกติแล้วจะใช้โหลดเซลเพียงตัวเดียวในการทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแปลงแรงที่ส่งผ่านมาจากระบบกลไกไปยังส่วนแสดงค่าแบบอนาล็อกหรือคันชั่งหรือหน้าปัดให้เปลี่ยนไปเป็นแรงอิเล็คทรอนิคหรือสัญญาณอิเล็คทรอนิค ดังนั้นโหลดเซลมีพิกัดกำลังสูงสุด (Maximum capacity of load cell) เป็นไปตามเงื่อนไข

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times R$$

เนื่องจาก ค่า N ดังในสมการข้างบนมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากใช้โหลดเซลเพียงตัวเดียว

2. จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตราของโหลดเซล (Maximum number of load cell intervals) ที่นำมาใช้กับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ

จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตรา (n_{LCmax}) (ดู OIML R60) ของโหลดเซลแต่ละตัวต้องไม่น้อยกว่าจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) ของเครื่องชั่ง

$$n_{LCmax} \geq n$$

สำหรับเครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งหลายช่วง หรือเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตรา (n_{LCmax}) (ดู OIML R60) ของโหลดเซลแต่ละตัวต้องไม่น้อยกว่าจำนวนช่องขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (n) ของเครื่องชั่งแต่ละช่วงการชั่ง (weighing range) หรือช่วงการชั่งย่อย (partial weighing range)

$$n_{LCmax} \geq n_i$$

สำหรับเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ ค่าด้านทางออกอันเนื่องจากภาระน้ำหนักตายต่ำสุด (the minimum dead load output return) ; DR (คือ ค่าความแตกต่างของด้านทางออกของโหลดเซลที่ภาระน้ำหนักตายต่ำสุดเมื่อทำการวัดก่อนและหลังจากวางน้ำหนักทดสอบ ;ดู OIML R60) ต้องสอดคล้องกับ

$$DR \quad 0.5 \times e_1 \times \frac{R}{N}$$

"วิธียอมรับ"

หากไม่ทราบค่า DR เงื่อนไขที่ยอมรับได้ต้องเป็นไปตาม $(n_{LCmax}) \geq \frac{Max_r}{e_1}$

นอกจากนั้นสำหรับเครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งหลายช่วงเมื่อใช้โหลดเซลเดียวกันสำหรับช่วงการชั่งมากกว่า 1 ช่วง ค่าด้านทางออกอันเนื่องจากภาระน้ำหนักตายต่ำสุด (the minimum dead load output return) ; DR (ดู OIML R60) ต้องสอดคล้องกับ

$$DR \quad e_1 \times \frac{R}{N}$$

"วิธียอมรับ"

หากไม่ทราบค่า DR เงื่อนไขที่ยอมรับได้ต้องเป็นไปตาม

$$n_{LCmax} \geq 0.4 \times \frac{Max_r}{e_1}$$

3. ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval)

ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (ดู OIML R60) ต้องไม่มากกว่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรองของเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ e คูณด้วยอัตราส่วนลด R ของส่วนส่งผ่านน้ำหนักและหารด้วยรากที่สองของจำนวน N โหลดเซล

$$V_{min} \quad e \times \frac{R}{\sqrt{N}}$$

สำหรับเครื่องชั่งที่มีช่วงการชั่งหลายช่วงที่ใช้โหลดเซลเดียวกันมากกว่า 1 ช่วงการชั่ง หรือเครื่องชั่งที่เปลี่ยนค่าช่องขั้นหมายมาตราได้ จะแทนค่า e แทนด้วย e_1

(3.1) เครื่องชั่งอิเล็คทรอนิค ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval) มีค่าเท่ากับ

$$V_{min} \quad e \times \frac{1}{\sqrt{N}}$$

เนื่องจาก ค่า R ดังในสมการข้างบนมีค่าเท่ากับ 1

(3.2) เครื่องชั่งไฮบริด (Hybrid Weighing Instrument) ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval) มีค่าเท่ากับ

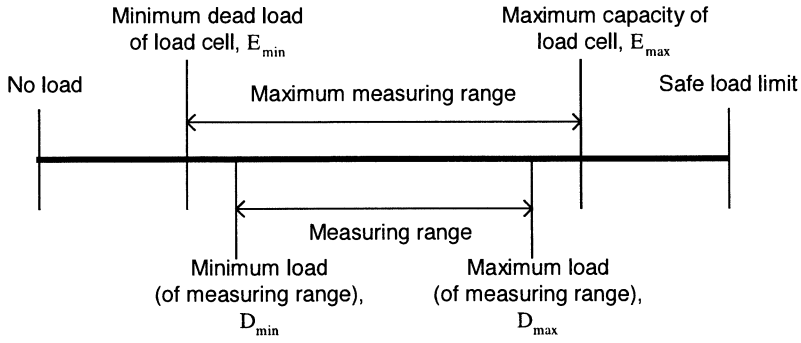
$$V_{min} \quad e \times R$$

เนื่องจากค่า N ดังในสมการข้างบนมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากใช้โหลดเซลเพียงตัวเดียว

4. ความปลอดภัยจากการใช้งานเครื่องชั่ง หัวข้อนี้ไม่ได้อยู่ใน OIML R76, 4.12 แต่ในวิสัยของวิศวกรที่ออกแบบระบบเครื่องชั่ง หรือระบบใดๆ ก็ต้องพึงระมัดระวังความปลอดภัยจากการใช้งานสิ่งของที่ออกแบบด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการออกแบบหรือเลือกใช้โหลดเซลกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติก็จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความปลอดภัยในการทำงานหรือป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับโหลดเซลได้ ดังนั้นเมื่อเราทราบค่าพิกัดกำลังสูงสุดของโหลดเซล (Maximum capacity of load cell); E_{max} แล้ว จำเป็นต้องเลือกโหลดเซลที่มีพิกัดกำลังให้สูงกว่า E_{max} อย่างน้อย 30% ถึง 100% นั่นคือ

$$E_{Selected} \geq (1.3\text{-}2)\, E_{max}$$

เมื่อเราทราบเงื่อนไขและข้อกำหนดของโหลดเซลซึ่งถูกเลือกเพื่อใช้งานกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติตาม OIML R76 แล้วนั้น คราวนี้เรามาดูในทางด้านข้อกำหนดและการแบ่งชนิดของโหลดเซลตาม OIML R60 (Metrological Regulation For Load Cells) กันบ้าง เพื่อให้เข้าใจถึงนิยามของแต่ละคำซึ่งจะใช้กันเรามาเริ่มด้วยรูป



คำนิยามที่ปรากฏอยู่เหนือเส้นทึบอันได้แก่คำต่อไปนี้ คือคุณสมบัติของโหลดเซลซึ่งมีติดตัวมาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบหรือกำหนดไว้ชัดเจนตั้งแต่ออกแบบ

No load คือสภาวะที่ไม่มีแรงกระทำต่อโหลดเซล

Safe load limit คือภาระแรงสูงสุดที่กระทำต่อโหลดเซลแล้วไม่ก่อให้เกิดหรือทำให้คุณลักษณะสมรรถนะประจำตัวโหลดเซลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างถาวร

Minimum dead load of load cell, E_{min} คือ ค่าของมวลน้อยที่สุดเมื่อวางบนโหลดเซลแล้วไม่ก่อให้เกิดผลผิดเกินกว่าที่กำหนด

Maximum dead load of load cell, E_{max} คือ ค่าของมวลมากที่สุดเมื่อวางบนโหลดเซลแล้วไม่ก่อให้เกิดผลผิดเกินกว่าที่กำหนด

ส่วนคำนิยามที่ปรากฏอยู่ใต้เส้นทึบอันได้แก่คำต่อไปนี้ คือตัวแปรซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะเงื่อนไขการใช้หรือการทดสอบโหลดเซล

Minimum load of measuring range D_{min} คือค่าภาระแรงต่ำสุดของช่วงการชั่ง

Maximum load of measuring range D_{max} คือค่าภาระแรงสูงสุดของช่วงการชั่ง

นอกจากนี้เรายังนิยามที่ต้องรู้และเกี่ยวของกับการกำหนดคุณสมบัติของโหลดเซลได้แก่

Load cell verification interval (V) คือ ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองของโหลดเซลที่ถูกใช้ในการทดสอบโหลดเซลในการจัดชั้นความเที่ยง แสดงหน่วยมวลเป็นกิโลกรัม

Minimum load cell verfication interval (V_{min}) คือ ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซลที่สามารถแบ่งออกได้ภายในช่วงการชั่งของโหลดเซล (load cell measuring range)

ชั้นความเที่ยงโหลดเซล (Accuracy Classes)

การแบ่งชั้นความเที่ยงโหลดเซลนั้น OIML R60 ได้จัดแบ่งออกเป็น 4 ชั้นความเที่ยงได้แก่

Class A

Class B

Class C

Class D

จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตราของโหลดเซล (Maximum number of load cell intervals)

กำหนดให้จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตราของโหลดเซล; n_{LCmax} ที่สามารถแบ่งย่อยลงได้มากที่สุดภายในช่วงการวัดได้ของโหลดเซล (load cell measuring range) เมื่อถูกนำไปประกอบติดตั้งกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ในตารางข้างล่างนี้

	Maximum number of load cell intervals; n_{LCmax}	
	Lower limit	**Upper limit**
Class A	50 000	unlimited
Class B	5 000	100 000
Class C	500	10 000
Class D	100	1 000

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของโหลดเซล (Maximum permissible load cell errors)

ให้ทำการปรับให้โหลดเซลแสดงค่าเท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่ง minimum dead load ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเทียบกับน้ำหนักทดสอบ (m) กับ actual value of the load cell verification interval (V) สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรก หรือตรวจสอบต้นแบบ

Maximum Permissible Errors	Load m			
	Class A	Class B	Class C	Class D
0.35V	0 ≤ m ≤ 50 000V	0 ≤ m ≤ 5 000V	0 ≤ m ≤ 500V	0 ≤ m ≤ 50V
0.70V	50 000V < m ≤ 200 000V	5 000V < m ≤ 20 000V	500V < m ≤ 2000V	50V < m ≤ 200V
1.05V	200 000V < m	20 000V < m ≤ 100 000V	2 000V < m ≤ 10 000V	200V < m ≤ 1 000V

ผลผิดความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability error) ของโหลดเซลได้กำหนดไว้ว่า

ผลต่างมากที่สุดของการทดสอบความสามารถทำซ้ำได้จำนวน 5 ครั้ง ติดต่อกันสำหรับโหลดเซล Class A และ Class B และ

ผลต่างมากที่สุดของการทดสอบความสามารถทำซ้ำได้จำนวน 3 ครั้ง ติดต่อกันสำหรับโหลดเซล Class C และ Class D ต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของน้ำหนักทดสอบค่านั้น

การแสดงข้อมูลของโหลดเซล

ผู้ผลิตผลิตโหลดเซลต้องบ่งบอกหรือแสดงข้อมูลเกี่ยวกับโหลดเซลให้ครอบคลุมถึง

1. ชั้นความเที่ยงของโหลดเซล เช่น Class C ก็แสดงว่า C เป็นต้น แน่นอนว่าโหลดเซลชั้นความเที่ยง Class A ย่อมดีกว่า Class B และไล่ลดหลั่นกันตามลำดับตัวอักษร

2. จำนวนมากที่สุดของช่องขั้นหมายมาตราของโหลดเซล (Maximum number of load cell intervals); n_{LCmax} เช่น 3000 interval เป็นต้น

3. ทิศทางของภาระแรงที่โหลดเซลถูกออกแบบมาให้สามารถใช้วัดภาระแรงได้เช่น

แรงดึง (Tension)	↑
	↓
แรงอัด (Compression)	↓
	↑
แรงเฉือนหรือแรงดัด (Beam: shear or bending)	↑ or ↓
แรงดึง/แรงอัด/แรงเฉือน/แรงดัด (Universal)	↑ ↓
	↓ ↑

4. กำหนดช่วงอุณหภูมิใช้งานโหลดเซล หากโหลดเซลไม่ระบุช่วงอุณหภูมิใช้งานนั้นหมายถึงโหลดเซลสามารถทำงานได้และให้ผลผิดไม่เกินกว่าที่กำหนดภายในช่วงอุณหภูมิตามชั้นความเที่ยงของโหลดเซลดังนี้

	Temperature Limits
Class A และ Class B	+10 °C – +30 °C
Class C และ Class D	–10 °C – +40 °C

ในกรณีที่มีการระบุช่วงอุณหภูมิช่วงใดช่วงหนึ่งต้องมีช่วงอุณหภูมิไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในตารางข้างล่าง

	Temperature Range
Class A	5 °C
Class B	15 °C
Class C และ Class D	30 °C

หากย้อนกลับไปดู OIML R76, 3.9.2.1 และ 3.9.2.2 เราจะพบว่าเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติกำหนดช่วงอุณหภูมิสอดคล้องกับ โหลดเซลไว้เช่นเดียวกันคือ หากเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติไม่ระบุอุณหภูมิใช้งานนั้นหมายถึงเครื่องชั่งต้องสามารถใช้งานได้ภายในช่วงอุณหภูมิ -10 °C - +40 °C แต่ถ้าหากต้องการระบุก็กำหนดให้มีช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้อย่างน้อย ดังในตารางข้างล่าง

OIML R76	**Temperature Range**
Class I	5 °C
Class II	15 °C
Class III, IIII	30 °C

5. สภาวะการทำงานภายใต้ความเปียกชื้น ในกรณีที่โหลดเซลไม่ได้รับหรือไม่ผ่านการทดสอบ "humidity test" ตามที่กำหนดไว้ใน OIML R60, 15.5 แล้ว โหลดเซลดังกล่าวต้องแสดงข้อมูลด้วยตัวอักษรว่า "NH"

6. รายละเอียดอื่นๆ ที่ต้องระบุ ได้แก่
   - ชื่อและสถานที่ของผู้ผลิต
   - serial number และปีที่ผลิต
   - Minimum dead load, Maximum capacity, Safe load limit
   - Minimum load cell verification interval; V_{min}
   - อื่นๆ

นอกจากนี้โหลดเซลหนึ่งตัวอาจมีชั้นความเที่ยงหลายชั้นความเที่ยงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งานว่าไปใช้ในลักษณะรับแรงดึง แรงอัด หรือแรงเฉือน หรือแรงดัด เช่น

C2 ↑ หมายถึง โหลดเซลชั้นความเที่ยง C , มี n_{LCmax} 2000, beam

C1.5 ↓ หมายถึง โหลดเซลชั้นความเที่ยง C , มี n_{LCmax} 1500, beam

เอาละเมื่อมาถึงจุดนี้ถ้าผู้สนใจรายละเอียดของโหลดเซลมากกว่านี้ก็สามารถไปศึกษาค้นคว้าหาอ่านใน OIML R60 เพิ่มเติมตามอัธยาศัย ในส่วนของบทความนี้ก็จะมาถึงจุดสำคัญก็คือการยกตัวอย่างการเลือกชนิดโหลดเซลให้เหมาะสมกับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ โดยขอแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษาคือ ในกรณีเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์แบบกลไกแต่ต้องการใช้โหลดเซลมาใช้งานและแสดงผลการชั่งแบบตัวเลขดิจิตอล ถือว่าเป็นเครื่องชั่งไฮบริด ในกรณีที่ 2 จะเป็นเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์ที่ออกแบบให้มีการใช้โหลดเซลล้วนๆ จำนวน 4 ตัว

ตัวอย่างที่ 1 เครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์แบบกลไกแต่ต้องการใช้โหลดเซลมาใช้งานและแสดงผลการชั่งแบบตัวเลขดิจิตอล (เครื่องชั่งไฮบริด) ด้วยโหลดเซลเพียงตัวเดียวในการทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแปลงแรงที่ส่งผ่านมาจากระบบกลไกไปยังส่วนแสดงค่าแบบอนาล็อกหรือคันชั่งหรือหน้าปัดให้เปลี่ยนไปเป็นแรงอิเล็คทรอนิคหรือสัญญาณอิเล็คทรอนิค จากนั้นส่งสัญญาณอิเล็คทรอนิคดังกล่าวไปยังส่วนแสดงค่าแบบดิจิตอล โดยคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องชั่งแบบกลไกมีดังนี้

พิกัดกำลังสูงสุด (Max)	40,000 กก.
ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)	10 กก.

มี R (คือ อัตราส่วนลด (Reduction ratio)ของส่งผ่านน้ำหนัก) เท่ากับ 1/800

$$R = \frac{FM}{FL} = \frac{1}{800}$$

เมื่อ

FM คือแรงกระทำบนส่วนชั่งน้ำหนัก (the load measuring device)

FL คือแรงกระทำบนส่วนรับน้ำหนัก (the load receptor)

พิจารณาถึงในกรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ของการวางน้ำหนักเยื้องศูนย์, น้ำหนักตาย (dead load) ของส่วนรับน้ำหนัก, ช่วงการตั้งศูนย์ครั้งแรก (initial zero setting range) และการกระจายภาระน้ำหนักที่ไม่สม่ำเสมอ จึงให้ค่าแก้ไข Q = 1.3

ถ้าเราเลือกใช้โหลดเซลคุณสมบัติดังข้างล่าง จะเพียงพอต่อการทำงานและแม่นยำเพียงพอต่อการวัดผลการชั่งน้ำหนักได้หรือไม่

พิกัดกำลังสูงสุด (E_{max})	150 กก.
ชั้นความเที่ยง	C5 (Class C , n_{LCmax} 5000 interval)
ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval) V_{min}	15 กรัม

วิธีการ

ตรวจสอบพิกัดกำลังของโหลดเซลเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่โดยใช้

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times \frac{R}{N}$$

$$150\ kg \geq 1.3 \times 40{,}000\ kg \times \frac{1}{800} = 65\ kg$$

จากสมการดังกล่าวเราใช้โหลดเซลเพียงตัวเดียว ดังนั้น N =1 และพิสูจน์แล้วสมการเป็นจริง จากนั้นตรวจสอบความปลอดภัยตามเงื่อนไขที่ 4 จะได้ว่า

$$\frac{150\ kg}{65\ kg} = 2.3$$ ถือว่ามี safety factor ที่สูงใช้ได้

จากนั้นตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2 คือ

$$n_{LCmax} \geq n$$

$$5000 \geq \frac{40{,}000}{10} = 4{,}000$$ เงื่อนไขนี้ผ่าน

ตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3 คือ

$$V_{min} \leq e \times R$$

$$15\ g \leq \frac{10\ kg}{800} = 12.5\ g$$ **ไม่ผ่าน**

สรุปได้ว่า**ไม่สามารถ**ใช้โหลดเซลดังกล่าวได้ ***ANS***

ตัวอย่างที่ 2 เครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์ที่ออกแบบให้มีการใช้โหลดเซลล้วนๆ จำนวน 4 ตัว โดยต้องการเครื่องชั่งบรรทุกรถยนต์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

ชั้นความเที่ยง	III
พิกัดกำลังสูงสุด (Max)	40,000 กก.
ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)	20 กก.

ถ้าเราเลือกใช้โหลดเซลทั้งหมดจำนวน 4 ตัว โดยแต่ละตัวมีคุณสมบัติดังข้างล่าง จะเพียงพอต่อการทำงานและละเอียดพอต่อการวัดผลการชั่งน้ำหนักได้ตามความต้องการหรือไม่

พิกัดกำลังสูงสุด (E_{max})	10,000 กก.
ชั้นความเที่ยง	C3(Class C, n_{LCmax} 3000 interval)
ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval) V_{min}	1.5 กก.

และให้ Q = 1.3

วิธีการ

ตรวจสอบพิกัดกำลังของโหลดเซลเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่โดยใช้

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times \frac{R}{N}$$

$$10{,}000\ kg \geq 1.3 \times 40{,}000\ kg \times \frac{1}{4} = 13{,}000\ kg$$

จากสมการดังกล่าวเนื่องจากเป็นเครื่องชั่งอิเล็คทรอนิคล้วนดังนั้น R = 1 และพิสูจน์แล้ว**สมการไม่เป็นจริง จึงต้องเลือกโหลดเซลตัวใหม่แต่จำนวนเท่าเดิม 4 ตัว** มีคุณสมบัติดังนี้

พิกัดกำลังสูงสุด (E_{max}) 16,000 กก.

ชั้นความเที่ยง C2 (Class C , n_{LCmax} 2000 interval)

ขั้นหมายมาตราตรวจรับรองน้อยที่สุดของโหลดเซล (Minimum load cell verification interval) V_{min} 3 กก.

ตรวจสอบพิกัดกำลังของโหลดเซลเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่อีกครั้ง โดยใช้

$$E_{max} \geq Q \times Max. \times \frac{R}{N}$$

$$16{,}000 \text{ kg} \geq 1.3 \times 40{,}000 \text{ kg} \times \frac{1}{4} = 13{,}000 \text{ kg}$$

เงื่อนไขนี้ผ่าน จากนั้นตรวจสอบความปลอดภัยตามเงื่อนไขที่ 4 จะได้ว่า

$$\frac{16{,}000 \text{ kg} \times 4}{40{,}000 \text{ kg}} = 1.6$$ ถือว่ามี safety factor ใช้ได้

จากนั้นตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2 คือ

$$n_{LCmax} \geq n$$

$$2000 \geq \frac{40{,}000 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = 2000$$ เงื่อนไขนี้ผ่าน

ตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3 คือ

$$V_{min} \leq e \times \frac{1}{\sqrt{N}}$$

$$3 \text{ kg} \leq \frac{20 \text{ kg}}{\sqrt{4}} = 10 \text{ kg}$$ ผ่าน

สรุปได้ว่าสามารถใช้โหลดเซลตัวที่เลือกใหม่ครั้งหลังสุดได้ **ANS**

หนังสืออ้างอิง
(Bibliography)

1. ***พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542***
2. ***Advanced Educational Program,*** Teledo Scale
3. ***Analysis of Structures, Vol 1,*** V.N. Vazirani, Dr. M.M. Ratwani, KHANNA PUBLISHERS, 1997
4. ***API BULLENTIN 2521, Use of Pressure-Vacuum Vent Valves for Atmospheric Pressure Tanks to Reduce Evaporation Loss,*** American Petroleum Institute, September 1966
5. ***Applied Instrumentation in the Process Industries,*** Volume I, Second edition, A Survey, W.G. Andrew, H.B. Williams, Gulf Publisher, 1979
6. ***Applied Instrumentation in the Process Industries,*** Volume II, Second edition, A Survey, W.G. Andrew, H.B. Williams, Gulf Publisher, 1979
7. ***Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants,*** Volume I, Third edition, Ernest E. Ludwig, Gulf Publisher, 1995
8. ***CAMERON HYDRAULIC DATA,*** Edited by C.R. Westaway and A.W. Loomis, Ingersoll-Rand, Woodcliff Lake, N.J., 1977.
9. ***Comprehensive Mass Metrology,*** Edited by Manfred Kochsiek and Michael Glaser, WILEY-VCH Verlag Berlin (Federal Republic of Germany), 2000
10. ***ENGINEERING DATA BOOK, Volume I Section 6,*** Gas Processors Suppliers Association & Gas Processors Association, Tenth Edition, 1987
11. ***Flow Measurement Engineering Handbook,*** Third edition, Richard W. Miller, McGraw-Hill, 1996
12. ***Flow Measurement,*** BELA G. LIPTAK; Editor-in-Chief, Chilton

Book Company I Radnor, Pennsylvania, 1993

13. ***Flow Measurement;*** Practical Guides for Measurement and Control, D.W. Spitzer; Editor, Instrument Society of American (ISA), 2nd Printing,1996

14. ***FLUID MECHANICS with Engineering Applications,*** Robert L. Daugherty, Joseph B. Franzini and E. John Finnemore, McGraw-Hill BOOK COMPANY,1985

15. ***Glossary of Weighing Terms, A Practical Guide to the Terminology of Weighing,*** Mettler-Toledo, June, 1992

16. ***Handbook of Electronic Weighing,*** K. Elis Norden, WILEY-VCH, First Edition 1998

17. ***INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK, Process Measurement and Analysis,*** Bela G. Liptak; Editior-in-Chief, CRC PRESS, Third edition 1995

18. ***INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK, Process Control,*** Bela G. Liptak; Editior-in-Chief, CRC PRESS, Third edition 1999

19. ***Instrumentation and process measurements,*** W. BOLTON, Longman Scientific & Technical, 1993

20. ***ISO 7278-2, Liquid Hydrocarbons-Dynamic Measurement Proving System for Volumetric Meter-Part 2 Pipe Prover,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

21. ***ISO 8222, Petroleum Measurement System-Calibration Temperature, Correction for use with volumetric reference measuring system,*** 1st 1987, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

22. ***ISO 9200, Crude Petroleum and liquid Product, Volumetric Metering of Viscous Hydrocarbons,*** 1st 1993, INTERNATIONAL STANDARD

23. ***ISO R 384, Principal of Construction and Adjustment of Volumetric glassware,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDIZATION STANDARDIZATION

24. ***Lecture Notes, Process Measurements and Instrumentation,*** Tsumuyuki Ogawa, Rikichi Suzuki, Yokogawa Electric Works, Ltd. Tokyo, Japan, 1975

25. ***Liquid Turbine Meter; CATALOG 3400;*** DANIEL INDUSTRIES, Inc.

26. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 4 - Proving Systems ,Section 3 - Small Volume Provers,*** First Edition, July 1988, American Petroleum Institute.

27. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 11.2.2: Compressibility Factor for Hydrocarbons 0.350-0.637 relative density (60 °F/60 °F)and -50 oF to 140 oF Metering Temperature,*** 1st edition, Sept. 1981, American Petroleum Institute.

28. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 12 Calculation of Liquid Quantities, Section 2 Calculation of Liquid Petroleum Quantities Measured by Turbine or Displacement Meters,*** 1st edition, Sept 1981, American Petroleum Institute

29. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 13 Statistical Aspects of Measuring and Sampling, Section 1 Statistic Concepts and Procedures in Measurements,*** 1st edition, June 1985, American Petroleum Institute.

30. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 5 Metering, Section 3 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters,*** 2nd edition, Nov 1987, American Petroleum Institute.

31. ***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

32. ***Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 7 Temperature Determination, Section 2-Dynamic Temperature;*** 1985, American Petroleum Institute

33. ***Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers,*** Ninth Edition, Edited by BUGENE A. AVALLONE and THEODORE BAUMEISTER III, McGraw-Hill BOOK COMPANY,1987

34. ***Measurement and Control of Crude oil & Petroleum Products, Document No A-443, A-444, A-442, A-5,*** SGS Far East Limited, 1987

35. ***Measurement Systems, Application and Design,*** Ernest O. Doebelin, McGraw-Hill INTERNATIONAL BOOK COMPANY, Third edition 1984

36. ***MECHANICAL MEASUREMENTS,*** Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard, Addison-Wesley Publishing Company, 5^{th} edition, 1993

37. ***NBS HANDBOOK 105 - 3, Specifications and Tolerances for Reference Standards and Field Standard Weights and Measures,*** "3. Specifications and Tolerances for Graduated Neck Type Volumetric Field Standards", Blayne C.Keyser, National Bureau of Standards, 1979

38. ***NBS HANDBOOK 145, "Handbook for the Quality Assurance of Metrological Measurements",*** John K.Taylor and Henry V.Oppermann, National Bureau of Standards, 1986

39. ***OIML R 4, Volumetric Flasks (one mark) in Glass;*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), 1972

40. ***OIML R 40, Standard Graduated pipettes For Verification Officers,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY

(OIML), First edition 1981 (E),

41. ***OIML R 41, Standard Burettes For Verification Officers,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), First edition 1981 (E)

42. ***OIML R 43, Standard Graduated Flasks For Verification Officers,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), First edition 1981 (E)

43. ***OIML R 60, Metrological regulation for load cells,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1991(E)

44. ***OIML R 60-Annex A, Test report format for the evaluation of load cells,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1993(E)

45. ***OIML R 62, Performance Characteristics of Metallic Resistance Strain Gauges,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), 1985

46. ***OIML R 76-1, Non-Automatic weighing instruments,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1992(E)

47. ***OIML R 76-2, Non-Automatic weighing instruments,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1992(E)

48. ***OIML R 111, Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1994(E)

49. ***OIML R 117, Measuring systems for liquids other than water,*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1995(E)

50. ***OIML R 120, Standard Capacity measures for Testing Measuring Systems of Liquids Other Than Water;*** INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML), Edition 1996 (E)

51. ***Pattern Approval of Non-Automatic Weighing Instruments,*** APLMF (Asia-Pacific Legal Metrology Forum), Workshop on 3-10 September, 1998

52. ***Petroleum Measurement Tables ASTM D. 1250-80,*** Caleb Brett, Form No. 040

53. ***PLANT ENGINEERING HANDBOOK,*** William Staniar, M.E.; Editor-in-Chief, McGraw-Hill INTERNATIONAL BOOK COMPANY, 1st edition, 1950

54. ***Process/Industrial Instruments & Control Handbook,*** Douglas M. Considine, McGraw-Hill INTERNATIONAL BOOK COMPANY, Fourth edition, 1993

55. ***PUMP HANDBOOK,*** second edition; Edited by IGOR J. KILLIAM C.KRUTZSCH, WARREN H. FRASER and JOSEPH P.MESSINA ;McGraw-Hill BOOK COMPANY,1986

56. ***PUMPS AND PUMPING with particular reference to variable-duty pumps;*** ION I. IONEL, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1986

57. ***SGS. Singapore (Pte) Ltd. Redwood Petroleum and Petrochemical Services,*** A-332, A-302, A-363, A-303, 1985

58. ***SGS-REDWOOD MEASUREMENT COURSES 1985,*** Document No. A-20, A-357, A-358, A-163; 1985

59. ***STATISTICAL METHODS IN METROLOGY, Group Training Course in METROLOGY AND MEASUREMENT STANDARDS, JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY,*** JAPAN MEASURING INSTRUMENTS FEDERATION,NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY, 1995

60. ***The New Analytical Balance AT from Mettler,*** Heinz Rutishauser, Arthur Reichmuth, 1998, Mettler Instrumente AG.

61. ***Turbine Meter, Cat.NO.cbt002-3-E*** ; OVAL ENGINEERING CO., LTD.

62. ***Verification Equipment for National Metrology***, INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML): Service, March 1986

63. ***Vocabulary of Legal Metrology,*** Fundamental terms, Edition 1978, INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY (OIML)

64. ***กลศาสตร์ของวัสดุ,*** ดร ต่อกุล กาญจนาลัย, ภาควิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528

65. ***การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร,*** วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ, เมตตา เนียมเปรม, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า

66. ***การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighing Instruments),*** วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, โสภณ โอภาสกิตติ และ สาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด, กรมทะเบียนการค้า

67. ***การวัดมวล,*** วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม และ ปัญจรี สมวงศ์, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า

68. ***ความน่าจะเป็นและสถิต,*** จัดทำโดยคณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537 พิมพ์ครั้งที่ 8

69. ***มารู้จักมาตรวัดคอริออริส (Coriolis Mass Flowmeter),*** สาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด,พ.ศ. 2540

70. ***หลักการทำงานและสมรรถนะ Turbine & Positive Displacement Meters;*** นายพงษ์ศักดิ์ อำไพพรรณ, นายณรงค์ สร้อยทอง และนายสาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด, 2539