ชตว
CBWM

SOP-VOL-103

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ

พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer) พิกัดกำลัง 100 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

Gravimetric Calibration of Pyknometer with Electronic W&I.

จัดทำโดย (นายพิชิต สิรินทรโสภณ) หัวหน้าห้องปฏิบัติการ	**ผู้อนุมัติ** (นายจรินทร สุทธนารักษ์) ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
ผู้ทบทวน คณะบริหารวิชาการ TM (นายสาธิต ชูสุวรรณ) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด (นายชาตรี อารีวงศ์) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องชั่ง (นางภัทราภรณ์ สุรสิทธิ์) ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมและพัฒนาชั่งตวงวัด	**วันที่มีผลบังคับใช้** 5 พฤศจิกายน 2557 **จำนวนหน้ารวม** 32 หน้า **ปรับปรุงครั้งที่** 2

1. **<u>ขอบเขตการสอบเทียบ</u>**

พิคะโนมิเตอร์โลหะและพิคะโนมิเตอร์แก้ว (Pyknometer) แบบ “รับ” **100 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร)**

2. **<u>วัตถุประสงค์</u>**

2.1. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนการปฏิบัติในการสอบเทียบ

2.2. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนในการคำนวณผลการสอบเทียบ

2.3. เพื่อให้เกณฑ์การพิจารณาตัดสินผลการสอบเทียบสอดคล้องและครบถ้วนตามมาตรฐานสากล

2.4. เพื่อให้การรายงานผลการสอบเทียบเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน เนื้อหาสาระครบถ้วนเหมือนกันทั่วประเทศ

2.5. เพื่อให้สามารถสอบย้อนกลับไปถึงแบบมาตราชั้นหนึ่ง ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

3. **<u>หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของสำนักชั่งตวงวัด</u>**

- กลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด
- ห้องปฏิบัติการเครื่องตวงของศูนย์ชั่งตวงวัดภาคเหนือ (เชียงใหม่), ศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ขอนแก่น), ศูนย์ชั่งตวงวัดภาคตะวันออก (ชลบุรี) และศูนย์ชั่งตวงวัดภาคใต้ (สุราษฎร์ธานี)
- ห้องปฏิบัติการฯ ของสำนักงานสาขาชั่งตวงวัดเขต (ถ้ามี)
- ผู้ที่เกี่ยวข้องและเจ้าของเครื่องตวง ซึ่งมีความประสงค์ใช้เป็นแบบมาตรา

4. **<u>หน้าที่ความรับผิดชอบ</u>**

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. จัดเตรียมเครื่องมืออื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อให้ระบบเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องตวง พร้อมสำหรับการสอบเทียบ
2. ทำการสอบเทียบเครื่องตวง
3. ทำรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบสภาพเครื่องตวง ที่นำมาสอบเทียบ
2. ตรวจทานผลการคำนวณ ตรวจสอบรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง ตัดสินผลการสอบเทียบ

5. **<u>แบบมาตรา</u>**

5.1 ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ชั้นความเที่ยง *F1* (OIML R-111)

6. พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer) ที่ทำการสอบเทียบ

สาขาการวัด	พารามิเตอร์/พิสัย/รายการ	*ขีดความสามารถของการวัดและการสอบเทียบ* (±)	มาตรฐาน/เทคนิคที่ใช้/วิธี/เครื่องมือที่ใช้
พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer)	100 cm^3	*0.0067* cm^3	Based on DIN 53 217 (1991) Part 2 In House method : SOP-VOL-103

7. สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

การปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการเป็นระบบปรับอากาศแบบ Precision Air Condition System

- สภาวะอุณหภูมิ (25 ± 3) °C อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุด 3 °C /hr
- ความชื้นสัมพัทธ์ (50 ± 15)% อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ±15 % /4 hr และ
- ความดันบรรยากาศ (1010 ± 20) hPa (1mBar = 1hPa)
- อุณหภูมิของน้ำกลั่นตัวกลางสอบเทียบ (25 ± 2) °C *อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 0.1 °C ตลอดช่วงการสอบเทียบ*

8. เครื่องมือและอุปกรณ์

8.1. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบมาตรา (Electronic Balance) ชั้นความเที่ยง I (OIML-R 76)

8.2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

8.3. เครื่องวัดความกดดันบรรยากาศ

8.4. เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำตัวกลางสอบเทียบ

8.5. เครื่องทำน้ำกลั่น (Double distillation water)

8.6. นาฬิกาจับเวลา

8.7. เครื่องวัดระดับน้ำ

8.8. ถุงมือผ้า

8.9. ผ้าสะอาดหรือกระดาษชำระ

8.10. ถังเก็บน้ำกลั่น

9. รายละเอียดวิธีปฏิบัติ

9.1. เตรียมสภาวะของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามที่กำหนด

9.2. จัดเตรียมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้เหมาะสม และเพียงพอ

9.3. นำเครื่องตวง*และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา*มาพักอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

9.4. ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิน้ำกลั่น กับหลอดแก้วพักน้ำ

9.5. เปิดเครื่องชั่งแบบมาตราเพื่ออุ่นเครื่องชั่งอย่างน้อย 30 นาที พร้อมตรวจสอบเครื่องชั่งดังนี้

9.5.1. ตรวจสอบระดับน้ำประจำเครื่องชั่งให้ได้ระดับ

9.5.2. ตรวจสอบความสะอาด บริเวณส่วนรับน้ำหนัก และใต้ส่วนรับน้ำหนัก

9.5.3. *เตรียมเครื่องชั่งให้พร้อมใช้งานโดยทำการ calibrate เครื่องชั่งก่อนใช้งาน หรือระหว่างใช้งาน หากไม่มั่นใจ*

9.6. ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำกลั่นตัวกลางสอบเทียบ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้

9.7. ก่อนเริ่มดำเนินการสอบเทียบ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

9.8. ในการเลือกใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าที่เหมาะสมในการใช้งานสอบเทียบ ควรพิจารณาดังนี้

9.8.1. ต้องมีพิกัดกำลังสูงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักที่ทำการชั่งทุกขั้นตอน

9.8.2. มีขั้นหมายมาตรา (resolution) อ่านได้ละเอียดเพียงพอและต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่ยอมรับได้ในการสอบเทียบ (1/3 MPE) ควรมีค่าขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ

$$e \leq (2-5)\times 10^{-3} \times \mathrm{MPE} \times \mathrm{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักของปริมาตรทดสอบ (g)

MPE = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรที่ต้องการทดสอบ (%)

9.9. พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer) สอบเทียบแบบ “รับ”/“to contain”/“In” (O_1 - O_2 - O_3 - O_4)

9.9.1. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O_1

<u>หมายเหตุ</u> ต้องสวมถุงมือทุกครั้งที่สัมผัสกับเครื่องตวง และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ขณะสอบเทียบ

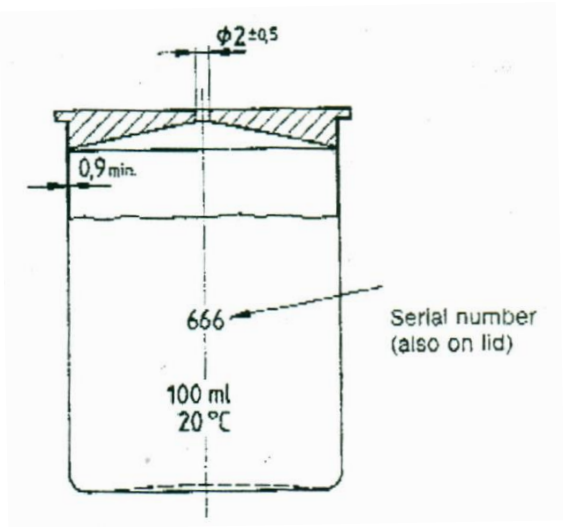
9.9.2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง โดยตุ้มน้ำหนัก (M_s) ต้องมีค่ามากกว่าน้ำหนักเครื่องตวงรวมกับน้ำหนักของน้ำภายในเครื่องตวงเล็กน้อย บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O_2 ยกตุ้มน้ำหนัก (M_s) ออกจากเครื่องชั่ง

9.9.3. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง วางเครื่องตวง (พิคะโนมิเตอร์) เปล่าที่แห้งสนิทพร้อมปิดฝาลงบนเครื่องชั่ง จำนวน 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ บันทึกเป็นค่า O_3 (ใช้เป็นค่าน้ำหนักเครื่องตวงเปล่า O_3 ในแต่ละรอบการสอบเทียบ)

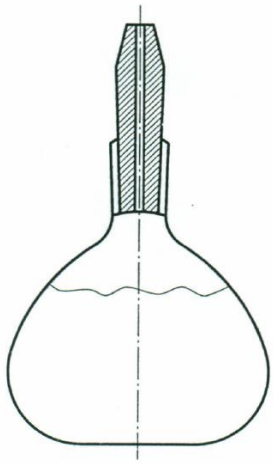
9.9.4. เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำต่ำกว่าขอบด้านบนสุดเล็กน้อย ตรวจสอบว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ในเครื่องตวง

9.9.5. จากนั้นค่อยๆ วางฝาพิคะโนมิเตอร์ (perforated lid) ลงในตำแหน่งให้เรียบสนิท (ในกรณีของ metal pyknometer) หรือปิดจุก (ground stopper) ให้สนิท (ในกรณีของ glass pyknometer) เช็ดน้ำที่ล้นออกมาจากรูของฝาหรือจุกพิคะโนมิเตอร์ด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษชำระซึมซับบริเวณรอบๆ รูของฝาหรือจุกปิด ให้น้ำนูนออกมาบนขอบรูที่อยู่บนฝาพิคะโนมิเตอร์หรือจุกเล็กน้อย อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำในหลอดแก้วพักน้ำ

<u>หมายเหตุ</u> หลีกเลี่ยงการสัมผัสมือโดยตรงกับพิคะโนมิเตอร์เป็นเวลานาน และต้องแน่ใจว่าพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงแห้ง ก่อนชั่ง



Metal Pyknometer



Gay-Lussac pyknometer

9.9.6. นำเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4

9.9.7. นำเครื่องตวง ออกจากเครื่องชั่ง เปิดฝาเทน้ำออกจากเครื่องตวง พร้อมเช็ดเครื่องตวงให้แห้งสนิท

9.9.8. ทำซ้ำขั้นตอนข้อ 9.9.1 ถึง 9.9.2 และขั้นตอน 9.9.4 ถึง 9.9.7 จนครบ 4 ครั้ง

9.9.9. เมื่อดำเนินการสอบเทียบแล้วเสร็จ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

9.9.10. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปคำนวณ

10. <u>การคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องตวง</u>

10.1. การคำนวณหาค่าปริมาตรของเครื่องตวง ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกันในแต่ละครั้งของการสอบเทียบ มีรายละเอียดดังนี้

10.1.1. การคำนวณหาค่าปริมาตรของเครื่องตวง ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสอบเทียบที่สำคัญ คือ

- ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainties) ของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบหรือสอบเทียบเครื่องชั่ง
- แรงยกตัวของอากาศ (Air Buoyancy)
- การแก้ไขค่าการขยายตัวของเครื่องตวง (Thermal Expansion Correction)

มาพิจารณาเพื่อทำการชั่งน้ำหนักของน้ำเปรียบเทียบกับตุ้มน้ำหนักแบบมาตราด้วยเครื่องชั่งชนิดสองแขน ที่สภาวะสมดุลโดยให้แรงลัพธ์รวมทั้งหมดเท่ากับ 0 จะได้ว่า

$$F_w = F_s$$

$$m_w g - \rho_a g V_w = m_s g - \rho_a g V_s$$

เมื่อ

m_w = มวลของน้ำ Kg (g)

m_s = มวลของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Kg (g)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำขณะชั่ง Kg/m^3 (g/cm^3)

ρ_s = ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Kg/m^3 (g/cm^3)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศขณะชั่ง Kg/m^3 (g/cm^3)

V_w = ปริมาตรของน้ำขณะชั่ง m^3 (cm^3)

V_s = ปริมาตรของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา m^3 (cm^3)

ตัดค่า g ออกจะได้

$$m_w - \rho_a V_w = m_s - \rho_a V_s$$

เนื่องจาก $V = \frac{m}{\rho}$ แทนค่า V ในสมการจะได้

$$m_w - \rho_a \frac{m_w}{\rho_w} = m_s - \rho_a \frac{m_s}{\rho_s}$$

$$m_w (1 - \frac{\rho_a}{\rho_w}) = m_s (1 - \frac{\rho_a}{\rho_s})$$

$$m_w = m_s \frac{(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s})}{(1 - \frac{\rho_a}{\rho_w})}$$

เนื่องจากปริมาตรน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบหาได้จากค่าน้ำหนักของน้ำหารด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบ

$$V_{wt} = \frac{m_w}{\rho_w}$$

$$V_{wt} = \frac{m_s (1 - \frac{\rho_a}{\rho_s})}{(\rho_w - \rho_a)}$$

คำนวณปริมาตรที่สภาวะขณะทำการสอบเทียบแต่ละครั้งของการสอบเทียบเครื่องตวงด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (ด้วยเครื่องชั่งอิเลคทรอนิคส์) พออนุโลมและเทียบเท่าเครื่องแบบ 2 แขน หรือเครื่องชั่งที่มีตุ้มถ่วงน้ำหนัก (Counter weights) การคำนวณปริมาตรในการสอบเทียบแต่ละครั้งจึงมีค่าเท่ากับ (m_s = M_s)

$$V_{wt} = (O_4 - O_3) \times \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right) \times \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}\right) \times \left(\frac{1}{\rho_w - \rho_a}\right) \qquad (10.1.1)$$

10.1.2. ความหนาแน่นของอากาศ[1] เนื่องจากสูตรหาความหนาแน่นของอากาศของ CIPM มีความถูกต้องสูงมากเกินไปและบ่อยครั้งพบว่าเกินความจำเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าประมาณด้วยสมการดังข้างล่างน่าจะเพียงพอ จึงใช้สมการ

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

เมื่อ ρ_a = *ความหนาแน่นของอากาศ; kg/m^3*

p = ความกดดันอากาศ (the air pressure); หน่วย เฮกโตปาสคาล (hPa) หรือ mBar

h_r = ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (the relative air humidity); %

t = อุณหภูมิอากาศที่วัดได้ (the air temperature); °C

[1] "***นานาสาระชั่งตวงวัด***" จรินทร, สาธิต สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, หน้า 135-141

10.1.3. ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density)[2] คำนวณหาความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ได้ที่อุณหภูมิต่างๆได้จากสมการของ H. Wagenbreth และ W. Blanke , PTB โดยใช้สเกลอุณหภูมิ ITS-90 ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (ρ) ที่ความดันบรรยากาศ

$$\rho_w = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t_w^{\,n}}{1 + bt_w} \qquad kg/m^3$$

เมื่อ

ρ_w	=	*ความหนาแน่นของน้ำ*	*kg/m³*
a_0	=	9.9983952×10^{2}	kg/m^3
a_1	=	1.6952577×10	$^{o}C^{-1}\ kg/m^3$
a_2	=	$-7.9905127 \times 10^{-3}$	$^{o}C^{-1}\ kg/m^3$
a_3	=	-4.624175×10^{-5}	$^{o}C^{-1}\ kg/m^3$
a_4	=	1.0584601×10^{-7}	$^{o}C^{-1}\ kg/m^3$
a_5	=	$-2.8103006 \times 10^{-10}$	$^{o}C^{-1}\ kg/m^3$
b	=	1.6887236×10^{-2}	$^{o}C^{-1}$
t	=	อุณหภูมิน้ำ, องศาเซลเซียส	^{o}C

10.1.4. ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ได้จากใบรายงานผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักรวมทั้งค่าแก้ไขและค่าความไม่แน่นอนการวัด (uncertainty)

10.1.5. เมื่อทราบค่า ตัวแปรต่างๆ ในสมการของการหาค่าปริมาตรที่สภาวะขณะทำการสอบเทียบแต่ละครั้งของเครื่องตวง ในสมการที่ 10.1.1 แล้วจะได้ค่า V_{wt} ซึ่งเป็นค่าปริมาตรน้ำในเครื่องตวงที่อุณหภูมิขณะชั่ง ดังนั้นให้ทำการแก้ไขค่าปริมาตร V_{wt} ไปยังปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง V_0 ด้วยตัวแปรแก้ไขค่าปริมาณ C_{ts} อันเนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเครื่องตวง ดังนั้นจะได้ปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิง (อุณหภูมิอ้างอิงและความดันบรรยากาศ) เท่ากับ

$$V_0 = \frac{V_{wt}}{C_{ts}}$$

เมื่อ

$$C_{ts} = 1 + \gamma(t_w - t_0)$$

C_{ts} = ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกระทำต่อเครื่องตวง

(the correction factor for the effect of temperature on steel)

γ = ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวง $/^{o}C$

t = อุณหภูมิของเหลวขณะชั่ง ^{o}C

t_0 = อุณหภูมิอ้างอิงของเครื่องตวง (20), ^{o}C

ดังนั้น

$$V_0 = \frac{V_{wt}}{[1 + \gamma(t_w - t_0)]} \cong V_{wt} \times [1 - \gamma(t_w - t_0)]$$

[2] "***นานาสาระชั่งตวงวัด***" จรินทร, สาธิต สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, หน้า 209-218

ตาราง ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวง; / °C

วัสดุ	γ (/ °C)
Borosilicate glass	10×10^{-6}
Soda-lime glass	25×10^{-6}
Austenitic stainless steel (316)	47.7×10^{-6}
Austenitic stainless steel (304)	51.8×10^{-6}
Copper-zinc alloy (brass; CuZn37 (Ms63))	54×10^{-6}
Aluminium	69×10^{-6}

10.1.6. หลังจากคำนวณหาปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิง ของแต่ละครั้งมาเฉลี่ยหาค่าเป็นปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิงเฉลี่ยของการสอบเทียบ

10.2. การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าในการสอบเทียบ (Standard Uncertainty)

โดยยึดเอาสมการการหาค่าปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิงของเครื่องตวง ในที่นี้สมมุติให้อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ 20 °C จากสมการ

$$V_0 = (O_4 - O_3) \times \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right) \times \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}\right) \times \left(\frac{1}{\rho_w - \rho_a}\right) \times (1 - \gamma(t_w - 20))$$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนของการวัดจึงมีค่าเท่ากับ

$$u_c = \sqrt{c_s^2 \cdot u_s^2 + c_{\rho s}^2 \cdot u_{\rho s}^2 + c_{\rho w}^2 \cdot u_{\rho w}^2 + c_{\rho a}^2 \cdot u_{\rho a}^2 + c_{tw}^2 \cdot u_{tw}^2 + c_\gamma^2 \cdot u_\gamma^2 + c_\sigma^2 \cdot u_\sigma^2 + c_{ba}^2 \cdot u_{ba}^2 + c_{s\,Drift}^2 \cdot u_{s\,Drift}^2}$$

การรายงานค่าผลการสอบเทียบเครื่องตวง มีค่าปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิง ด้วยค่าความไม่แน่นอน ที่ระดับความมั่นใจ 95% (k=2)

$$V_0 \pm 2u_c \quad \text{มิลลิลิตร}$$

พิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

$$V_0 = (O_4 - O_3) \times \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right) \times \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}\right) \times \left(\frac{1}{\rho_w - \rho_a}\right) \times (1 - \gamma(t_w - 20))$$

$$\rho_w = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t_w^{\,n}}{1 + b t_w}$$

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times p - 0.009024 \times h_r \times e^{(0.0612t)}}{273.15 + t}$$

10.2.1. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Standard uncertainty of the standard mass (g)); u_s

- มี Sensitivity coefficient[3]

$$c_s = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1 - \gamma(t_w - 20)] \quad cm^3/g$$

[3] ในการทำ Partial diff. ใช้โปรแกรม MathCAD

- เมื่อมีการใช้หลายตุ้มน้ำหนัก นำค่า uncertainty ของตุ้มแต่ละลูกจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้

$$u_s = u_{s1} + u_{s2} + u_{s3} = \frac{U_{s1}}{k_1} + \frac{U_{s2}}{k_2} + \frac{U_{s3}}{k_3} \quad g$$

เมื่อ U_{sn} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานสอบเทียบของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราแต่ละตุ้ม ด้วยระดับความมั่นใจ 95 % ซึ่ง k จะมีค่าเท่ากับ 2

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.2. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา (Standard uncertainty of density of the standard mass (g cm^{-3})) ; $u_{\rho s}$

- มี Sensitivity coefficient

$$c_{\rho s} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_s} = (O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_a}{\rho_s^{\,2}(\rho_w - \rho_a)}\right)[1 - \gamma(t_w - 20)] \quad (cm^3)^2/g$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนของความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจากวิธีการที่รู้ชนิดวัสดุที่ใช้ทำตุ้มแบบมาตรา โดยอ้างอิงจากวิธี OIML R111-1: 2004(E), B.7.9.3 Method F2. ใช้ Table B.7 สำหรับตุ้มน้ำหนักชั้นความเที่ยง E2 ถึง M2

Table B.7 Method F2 - List of alloys most commonly used for weights

Alloy/material	Assumed density	Uncertainty (*k* = 2)
Platinum	21 400 kg m^{-3}	± 150 kg m^{-3}
Nickel silver	8 600 kg m^{-3}	± 170 kg m^{-3}
Brass	8 400 kg m^{-3}	± 170 kg m^{-3}
Stainless steel	7 950 kg m^{-3}	± 140 kg m^{-3}
Carbon steel	7 700 kg m^{-3}	± 200 kg m^{-3}
Iron	7 800 kg m^{-3}	± 200 kg m^{-3}
Cast iron (white)	7 700 kg m^{-3}	± 400 kg m^{-3}
Cast iron (grey)	7 100 kg m^{-3}	± 600 kg m^{-3}
Aluminum	2 700 kg m^{-3}	± 130 kg m^{-3}

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีใช้ในสำนักชั่งตวงวัด สำหรับการสอบเทียบจะมีทั้ง stainless steel มี uncertainty เท่ากับ 140 kg m^{-3}

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบโดยสมการของ H.Wagenbreth และ W. Blanke , PTB (Standard uncertainty of density of the water (g cm^{-3})) ; $u_{\rho w}$

- มี Sensitivity coefficient

$$c_{\rho w} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w} = -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)^2}\right)[1 - \gamma(t_w - 20)] \quad (cm^3)^2/g$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิน้ำ ดังนั้น

$$u_{\rho w'} = c_{\rho w(tw)} \cdot u_{tw'} \quad g/cm^3$$

$$c_{\rho w(tw)} = \frac{\partial \rho_w}{\partial t} = \frac{(16.952577 - 1.598102510^{-2} \times t_w - 1.387252710^{-4} \times t_w^2 + 4.233840410^{-7} \times t_w^3 - 1.405150310^{-9} \times t_w^4)}{(1 + 1.688723610^{-2} \times t_w)}$$

$$- 1.688723610^{-2}.\frac{(999.83952 + 16.952577 \times t_w - 7.990512710^{-3} \times t_w^2 - 4.624175710^{-5} \times t_w^3 + 1.058460110^{-7} \times t_w^4 - 2.810300610^{-10} \times t_w^5)}{(1 + 1.6887236.10^{-2} \times t_w)^2}$$

$kg/m^3 {}^{\circ}C$

โดย u_{tw} ได้จากหัวข้อ 10.2.5 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ (Standard uncertainty of temperature of the water (°C))

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.4. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการหาค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้องปฏิบัติการ (Standard uncertainty of density of the air (g cm^{-3})) ; $u_{\rho a}$

- มี Sensitivity coefficient

$$c_{\rho a} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_a} = (O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)^2}\right)(1 - \gamma(t_w - 20)) \quad (cm^3)^2/g$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของอากาศ เนื่องจากสมการที่ใช้หาค่าความหนาแน่นของอากาศเกี่ยวข้องกับการวัดค่าความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นในการประเมินค่าความไม่แน่นอนจึงต้องทำการประเมินย่อยลงไปอีกระดับหนึ่งจากสมการ

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times p - 0.009024 \times h_r \times e^{(0.0612t)}}{273.15 + t}$$

ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนที่ประเมินจากสมการจึงมีค่า

$$u_{\rho a'} = \sqrt{(c_{\rho a(eq)}.u_F)^2 + (c_{\rho a(p)} \cdot u_p)^2 + (c_{\rho a(t)} \cdot u_t)^2 + (c_{\rho a(h)} \cdot u_h)^2} \quad g/cm^3$$

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.4.1. ค่าความไม่แน่นอนจากการสมการที่เลือกใช้

$$c_{\rho a(Eq.)} = 1$$

ค่าความไม่แน่นอนจากการใช้สมการภายใต้สภาวะเงื่อนไขสิ่งแวดล้อม

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

ผลต่างสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ด้วยสมการข้างบนเทียบกับค่าความหนาแน่นที่คำนวณตามคำแนะนำ CIPM จะมีค่าเท่ากับ

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

ดังนั้นเราจึงให้ค่าความไม่แน่นอนของการใช้สมการดังกล่าว เท่ากับ

$$u_F = 2x10^{-4} \cdot \rho_a$$

10.2.4.2. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความกดดันอากาศ

$$c_{\rho a(p)} = \frac{\partial\rho_{a(p)}}{\partial p} = \frac{0.34843}{(273.15+t)}$$

$$u_p = \sqrt{u_{p1}^2 + u_{p2}^2 + u_{p3}^2}$$

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าความดันอากาศด้วยกัน 3 สาเหตุ

10.2.4.2.1. ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดความกดดันอากาศ จากใบรายงานผลการสอบเทียบ

$$u_{p1} = \frac{U_b}{k}$$

10.2.4.2.2. ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดความกดดันอากาศ (Resolution $\pm d_b$)

$$u_{p2} = \frac{d_b}{2\sqrt{3}}$$

10.2.4.2.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงความกดดันของอากาศขณะทำการสอบเทียบ *(1010 ±20 hPa)*

$$u_{p3} = \frac{p^+ - p^-}{2\sqrt{3}}$$

10.2.4.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิ

$$c_{\rho a(t)} = \frac{\partial\rho_{a(t)}}{\partial t} = \frac{(-0.34848\,p) - \left[h \cdot e^{0.0612t} \cdot (0.14182 + 0.0005523\,t)\right]}{(273.15+t)^2}$$

$$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2}$$

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าอุณหภูมิอากาศด้วยกัน 3 สาเหตุ

10.2.4.3.1. ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศจากใบรายงานผลการสอบเทียบ

$$u_{t1} = \frac{U_t}{k}$$

10.2.4.3.2. ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Resolution $\pm d_t$)

$$u_{t2} = \frac{d_t}{2\sqrt{3}}$$

10.2.4.3.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขณะทำการสอบเทียบ *(25±3 ℃)*

$$u_{t3} = \frac{t^+ - t^-}{2\sqrt{3}}$$

10.2.4.4. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

$$c_{\rho a(h)} = \frac{\partial \rho_{a(h)}}{\partial h} = \frac{-0.009024\, e^{0.0612t}}{(273.15+t)}$$

$$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$$

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยกัน 3 สาเหตุ

10.2.4.4.1. ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากใบรายงานผลการสอบเทียบ

$$u_{h1} = \frac{U_h}{k}$$

10.2.4.4.2. ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Resolution $\pm d_h$)

$$u_{h2} = \frac{d_h}{2\sqrt{3}}$$

10.2.4.4.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะทำการสอบเทียบ *(50±15%)*

$$u_{h3} = \frac{h^+ - h^-}{2\sqrt{3}}$$

10.2.5. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ (Standard uncertainty of temperature of the water (°C)) ; u_{tw}

- มี Sensitivity coefficient

$$c_{tw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w} = -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)(\gamma) \quad cm^3/°C$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ

$$u_{tw'} = \sqrt{u_{tw1}^2 + u_{tw2}^2 + u_{tw3}^2} \quad °C$$

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Rectangular

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบด้วยกัน 3 สาเหตุ

10.2.5.1. ค่าความไม่แน่นอนเครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำจากใบรายงานผลการสอบเทียบ

$$u_{tw1} = \frac{U_{tw}}{k}$$

10.2.5.2. ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านค่าบนเครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำ (Resolution $\pm d_{tw}$)

$$u_{tw2} = \frac{d_{tw}}{2\sqrt{3}}$$

10.2.5.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำขณะทำการสอบเทียบ *(±0.1 °C)*

$$u_{tw3} = \frac{t_w^+ - t_w^-}{2\sqrt{3}}$$

10.2.6. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลือกใช้ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของเครื่องตวง (Standard uncertainty of coefficient of cubical thermal expansion of the material of the measure (°C^{-1})) ; u_γ

- มี Sensitivity coefficient

$$c_\gamma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \gamma} = -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)(t_w - 20) \quad cm^3/^\circ C$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าที่เลือกใช้

$$u_{\gamma'} = 0.5\times10^{-7} \quad ^\circ C^{-1}$$

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Rectangular

10.2.7. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการหาค่าปริมาตรที่วัดได้จากขั้นตอนการสอบเทียบในแต่ละครั้ง (Standard uncertainty from the measurement (cm^3)) ; u_σ

- มี Sensitivity coefficient

$$c_\sigma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \sigma} = 1$$

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลการสอบเทียบหาค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง

$$u_R = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad cm^3$$

เมื่อ s = Standard deviation ของค่าปริมาตรที่คำนวณได้จากผลการสอบเทียบ

n = จำนวนครั้งในการสอบเทียบ

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.8. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลของเครื่องชั่ง, u_{ba} (Standard uncertainty of balance (cm^3))

- *มี Sensitivity coefficient*

$$c_{ba} = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1 - \gamma(t_w - 20)] \quad cm^3/g$$

- *ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องชั่ง*

$$u_{ba'} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad g$$

- *มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal*

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการเครื่องชั่งด้วยกัน 4 สาเหตุ

10.2.8.1. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความรู้สึกของเครื่องชั่ง; u_s (OIML R 111-1:2004, C.6.4.2)

ดำเนินการทดสอบความรู้สึกของเครื่องชั่งตามรายละเอียดวิธีปฏิบัติการทดสอบความรู้สึกของเครื่องชั่ง ข้อ 7.6 อย่างน้อย ทุก 6 เดือน (เดือนที่ 1 และเดือนที่ 6 ของปี)

$$u_s = \sqrt{(\overline{\Delta m_c})^2\left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2}\right)}$$

เมื่อ

ΔI_s *คือ ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงที่เครื่องชั่งแสดงเนื่องจากตุ้มน้ำหนักทดสอบ (mg)*

$u(\Delta I_s)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของ ΔI_s (mg)

$\overline{\Delta m_c}$ คือ ค่าน้ำหนักที่แตกต่างเฉลี่ยระหว่างแบบมาตรากับตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ (mg) กำหนดให้เท่ากับค่า 2 ใน 3 เท่าของ MPE ของตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ

$u(m_s)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของ m_s

m_s คือ ค่าน้ำหนักของตุ้มทดสอบความรู้สึก

$u(\Delta I_S)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องที่แสดงเมื่อวางตุ้มน้ำหนักทดสอบความรู้สึก โดยคำนวณจากสมการที่ (15)

$$u(\Delta I_S) = \frac{S(\Delta I_S)}{\sqrt{10}}$$

เมื่อ $S(\Delta I_S)$ คือ Standard deviation ของการทดสอบ

10.2.8.2. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเครื่องชั่ง; u_d (OIML R 111-1:2004, C.6.4.3)

$$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) \times \sqrt{2}$$

เมื่อ d คือ ค่าความละเอียดของเครื่องชั่ง

เนื่องจากการอ่านค่าจากเครื่องชั่งจะอ่านสองครั้ง คือ ค่าน้ำหนักของแบบมาตราและค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ ดังนั้นจึงต้องคูณด้วย $\sqrt{2}$ แต่ในกรณีขั้นตอนสอบเทียบนี้ปรับคงเหลือ

$$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right)$$

10.2.8.3. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวางเยื้องศูนย์; u_E (OIML R 111-1:2004, C.6.4.4.1)

$$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}}$$

เมื่อ D คือ ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันมากที่สุดในการทดสอบเยื้องศูนย์ตามขั้นตอนการทดสอบเยื้องศูนย์

d_1 คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของตุ้มน้ำหนักที่ห่างกันมากที่สุด

d_2 คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางถึงมุมของถาดรับน้ำหนัก

10.2.8.4. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนัก; ; u_{ma} (OIML R 111-1:2004, C.6.4.5) ห้องปฏิบัติการฯ พิจารณาค่า Standard Uncertainty ความไม่แน่นอนเนื่องจากความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามีค่าน้อยมาก ให้มีค่าเท่ากับ ศูนย์

10.2.9. ค่าความไม่แน่นอนสาเหตุเกิดจากการเลื่อนค่า (drift) ของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ($u_{s\ Drift}$) ประเมินตามมติคณะอนุกรรมการพิจารณารับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบทางกลและเคมี (มติการประชุมครั้งที่ 3-1/2547) มี 3 กรณี

1) *กรณีที่ 1 มีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่า Drift ของ Standard น้อยมากๆ เกือบเป็นศูนย์ ค่า Drift ของ Standard อาจกำหนดได้จาก Import uncertainty ที่ 1σ และกำหนดการกระจายแบบ Triangular และ divisor = $\sqrt{6}$ อ้างอิงตาม M3003*
2) *กรณีที่ 2 มีการสอบเทียบของ Standard ครั้งแรก ไม่รู้ค่า Drift ของ Standard จะมีกำหนดการกระจายแบบ Rectangular ซึ่งจะได้ค่า Drift ของ Standard เท่ากับ Import uncertainty ที่ 2σ และ divisor = $\sqrt{3}$*
3) *กรณีที่ 3 มีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่า Drift ของ Standard จะมีกำหนดการกระจายแบบ Rectangular ซึ่งจะได้ค่า Drift ของ Standard เท่ากับค่าของปีล่าสุด – ค่าของปีก่อนหน้า (จากใบรายงานผลของแบบมาตรา scale calibrator) และ divisor = $\sqrt{3}$*

- *มี Sensitivity coefficient*

$$c_{s\,Drift} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \Delta M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1 - \gamma(t_w - 20)] \quad cm^3/g$$

- *เมื่อมีการใช้หลายตุ้มน้ำหนัก นำค่า uncertainty ของตุ้มแต่ละลูกจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้ (กรณีที่ 2)*

$$u_{s\,Drift'} = U_{s1} + U_{s2} + ... + U_{sn} \quad g$$

เมื่อ U_{sn} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานสอบเทียบของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราแต่ละตุ้ม ด้วยระดับความมั่นใจ 95 % ซึ่ง k จะมีค่าเท่ากับ 2

- *มี Probability distribution เป็นลักษณะ Rectangular*

Budget Uncertainty (Pyknometer 100 CC)

Symbol	Source of uncertainty	Value ± g , ± g/cm^3 , ±°C$^-$, ± °C^{-1}	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (cm^3)
u_s	Calibration of Standard Mass	$U_s = U_{s1} + U_{s2} + U_{s3} + \ldots\ldots + U_{sn}$ =0.0005 g	Normal	2	$c_s = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1-\gamma(t_w - 20)]$ =0.333402 cm^3/g	0.000083
$u_{\rho s}$	Standard uncertainty of density of the standard mass	0.14 g/cm^3	Normal	2	$c_{\rho s} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_s}$ $= (O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_a}{\rho_s^2(\rho_w - \rho_a)}\right)[1-\gamma(t_w - 20)]$ =0.001844 (cm^3)^2/g	0.000129
$u_{\rho w}$	Standard uncertainty of density of the water	$u_{\rho w'} = c_{\rho w(tw)} \cdot u_{tw'}$ $u_{tw'}$ = 0.068196 °C$^-$ (ตาราง 1) $c_{\rho w(tw)}$ = -0.25315711 kg/m^3°C $u_{\rho w'}$= -0.017264 kg/m^3 = -0.000017264 g/cm^3	Normal	1	$c_{\rho w} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w}$ $= -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)^2}\right)[1-\gamma(t_w - 20)]$ =-100.427782 (cm^3)^2/g	0.001734
$u_{\rho a}$	Standard uncertainty of density of the air	$u_{\rho a'}$= 0.000015533 g/cm^3 (ตาราง 2)	Normal	1	$c_{\rho a} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_a}$ $= (O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)^2}\right)(1-\gamma(t_w - 20))$ = 87.844674 (cm^3)^2/g	0.001364
u_{tw}	Standard uncertainty of temperature of the water	$u_{tw'}$ = 0.068196 °C$^-$ (ตาราง 1)	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{tw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w}$ $= -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)(\gamma)$ = -0.004772	-0.000188
u_γ	Standard uncertainty of coefficient of cubical thermal expansion of the material of the measure	$u_{\gamma'} = 0.5\times10^{-7}$ °C^{-1}	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_\gamma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \gamma}$ $= -(O_4 - O_3)\left(\frac{M_s}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)(t_w - 20)$ = -4072.205666 cm^3 / °C^{-1}	-0.001363
u_σ	Standard uncertainty from the measurement	$u_R = \frac{s}{\sqrt{n}}$ = 0.00071107 cm^3	Normal	1	$c_\sigma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \sigma} = 1$	0.000711

Symbol	Source of uncertainty	Value ± g , ± g/cm^3 , ±°C , ± °C^{-1}	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (cm^3)
u_{ba}	Standard uncertainty of balance	$u_{ba'}$ =0.00043639 (ตาราง 6)	Normal	1	$c_{ba} = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1-\gamma(t_w - 20)]$ =0.333402	0.000145
$u_{S\,Drift}$	Drift (Weights Standard)	$u_{s\,Drift'} = U_{s1} + U_{s2} + ... + U_{sn}$ =0.0005 g	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{s\,Drift} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \Delta M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1}\right)\left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)}\right)[1-\gamma(t_w - 20)]$ =0.333402 cm^3/g	0.000096
u	Combine standard uncertainty		Normal			0.00271
U	Expand uncertainty		Normal (k=2)			**0.00542**

(ตาราง 1) Standard uncertainty of temperature of the water (°C) ; $u_{tw'}$

Symbol	Source of uncertainty	Value ± °C	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (°C)
	Water Temperature:					
u_{tw1}	Calibration of thermometer	0.044	Normal	2	1	$u_{tw1} = \frac{U_{tw}}{k}$ = 0.022
u_{tw2}	Thermometer resolution	0.1	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{tw2} = \frac{d_{tw}}{2\sqrt{3}}$ = 0.028868
u_{tw3}	Variation of water temperature during calibration	0.2	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{tw3} = \frac{t_w^+ - t_w^-}{2\sqrt{3}}$ =0.057735
$u_{tw'}$	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{tw'} = \sqrt{0.022^2 + 0.028868^2 + 0.057735^2}$ =0.068196

(ตาราง 2) Standard uncertainty of density of the air

Symbol	Source of uncertainty	Value ±	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (kg/m^3)
u_F	Equation of air density	$u_F = 2x10^{-4} . \rho_a$ =0.000233 kg/m^3	Normal	1	1	= 0.000233
u_p	Atmospheric pressure	$u_p = \sqrt{u_{p1}^2 + u_{p2}^2 + u_{p3}^2}$ (ตาราง3) = 11.555806 hPa	Normal	1	$c_{\rho a(p)} = \frac{\partial \rho_{a(p)}}{\partial p} = \frac{0.34843}{(273.15+t)}$ = 0.001179	= 0.013634295
u_t	Atmospheric temperature	$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2}$ (ตาราง 4) = 1.745583 °C	Normal	1	$c_{\rho a(t)} = \frac{\partial \rho_{a(t)}}{\partial t} = \frac{(-0.34848 \cdot p) - \left[h \cdot e^{0.0612t} \cdot (0.14182 + 0.0005523\,t)\right]}{(273.15+t)^2}$ = -0.004375	= -0.0076369
u_h	Atmospheric humidity	$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$ (ตาราง 5) =8.697174 %	Normal	1	$c_{\rho a(h)} = \frac{\partial \rho_{a(h)}}{\partial h} = \frac{-0.009024\, e^{0.0612t}}{(273.15+t)}$ = -0.000148	= -0.00128718
$u_{\rho a'}$	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{\rho a} = \sqrt{(c_{\rho a(eq)} \cdot u_F)^2 + (c_{\rho a(p)} \cdot u_p)^2 + (c_{\rho a(t)} \cdot u_t)^2 + (c_{\rho a(h)} \cdot u_h)^2}$ =0.015533 kg/m^3 =0.000015533 g/cm^3

(ตาราง 3) Standard uncertainty of atmospheric pressure; u_p

Symbol	Source of uncertainty	Value ± hPa	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (hPa)
u_{p1}	Calibration of barometer	0.9	Normal	2	1	$u_{p1} = \frac{U_b}{k}$ = 0.45
u_{p2}	Barometer resolution	0.1	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{p2} = \frac{d_b}{2\sqrt{3}}$ = 0.028868
u_{p3}	Variation of pressure during calibration	40	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{p3} = \frac{p^+ - p^-}{2\sqrt{3}}$ = 11.547005
u_p	Combine standard uncertainty		Normal			$u_p = \sqrt{0.45^2 + 0.028868^2 + 11.547005^2}$ =11.555806

(ตาราง 4) Standard uncertainty of atmospheric temperature; u_t

Symbol	Source of uncertainty	Value ± °C	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (°C)
u_{t1}	Calibration of atmospheric thermometer	0.43	Normal	2	1	$u_{t1} = \frac{U_t}{k}$ = 0.215
u_{t2}	Atmospheric thermometer resolution	0.1	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{t2} = \frac{d_t}{2\sqrt{3}}$ = 0.028868
u_{t3}	Variation of water temperature during calibration	6	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{t3} = \frac{t^+ - t^-}{2\sqrt{3}}$ = 1.732051
u_t	Combine standard uncertainty		Normal			$u_t = \sqrt{0.215^2 + 0.028868^2 + 1.732051^2}$ =1.745583

(ตาราง 5) Standard uncertainty of atmospheric humidity; u_h

Symbol	Source of uncertainty	Value ± %	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (%)
u_{h1}	Calibration of Hygrometer	1.6	Normal	2	1	$u_{h1} = \frac{U_h}{k} = 0.8$
u_{h2}	Hygrometer resolution	0.1	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{h2} = \frac{d_h}{2\sqrt{3}} = 0.028868$
u_{h3}	Variation of humidity during calibration	30	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_{h3} = \frac{h^+ - h^-}{2\sqrt{3}} = 8.660254$
u_h	Combine standard uncertainty		Normal			$u_h = \sqrt{0.45^2 + 0.028868^2 + 8.660254^2}$ =8.697174

(ตาราง 6) Standard uncertainty of balance; $u_{ba'}$

Symbol	Source of uncertainty	Value ± g	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (g)
u_s	Sensitivity of the balance	$u_s = \sqrt{(\overline{\Delta m_c})^2\left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2}\right)}$ =0.00030385	Normal	1	1	= 0.0017010979
u_d	Balance resolution	d=0.001	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}}\right) = 0.00002887$
u_E	Eccentric loading	$\frac{d_1}{d_2} \times D$	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} = 0.00012155$
$u_{ba'}$	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{ba'} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2}$ =0.00043639

10.3. การคำนวณหาค่าความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability) ค่าความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability) ของเครื่องตวงแบบมาตราต้องมีความสามารถในการแสดงค่าซ้ำได้ไม่เกิน 0.02 % คิดจาก

$$\text{Repeatability} = \frac{(V_0)_{max} - (V_0)_{min}}{(V_0)_{min}} \times 100 \leq 0.02\%$$

เมื่อ

$(V_0)_{max}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงค่ามากที่สุดในการสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

$(V_0)_{min}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงค่าน้อยที่สุดในการสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

11. ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างการแสดงวิธีการคำนวณในที่นี้เป็นการสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก พิคะโนมิเตอร์แก้ว (Glass Pyknometer)

- พิกัดกำลัง 100 มิลลิลิตร
- ทำด้วยวัสดุ *Stainless Steel 316*
- อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C
- ลักษณะการใช้งาน แบบรับ
- Drain time 30 วินาที

1. ดำเนินการสอบเทียบตามขั้นตอน การสอบเทียบแบบรับ กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่อ่านได้ บันทึกเป็นค่า O_1 เท่ากับ 0
2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง บันทึกเป็นค่า O_2 โดยใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทั้งหมด *2* ตุ้ม รวมกันแล้วเท่ากับ *300.00* กรัม นำค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้มและ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานสอบเทียบตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา สรุปแล้วได้เท่ากับ
   - ค่าน้ำหนักตุ้ม *300.00* กรัม
   - ค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้ม *0.00057* มิลลิกรัม
   - ค่าความไม่แน่นอนน้ำหนักตุ้มรวม *0.0005* มิลลิกรัม
3. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ให้วางเครื่องตวงขนาดเล็กเปล่าลงบนเครื่องชั่ง ทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่อ่านได้ บันทึกเป็นค่า O_3 เท่ากับ *200.150* กรัม
4. เติมน้ำลงในเครื่องตวง(พิคะโนมิเตอร์)จนระดับน้ำใกล้ถึงขอบด้านบนสุดเล็กน้อย ตรวจสอบว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ในเครื่องตวง
5. จากนั้นค่อยๆ วางฝาพิคะโนมิเตอร์ ลงในตำแหน่งให้เรียบ เช็ดน้ำที่ล้นออกมาจากรูของฝาหรือจุกพิคะโนมิเตอร์ด้วยผ้าสะอาดซึมซับบริเวณรอบๆ รูของฝาหรือจุกปิด จนระดับน้ำอยู่บริเวณขอบบนรูที่อยู่บนฝาพิคะโนมิเตอร์หรือจุก อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ *24.7* °C แต่ปรับแก้ไขค่าเครื่องวัดอุณหภูมิ *SLW* หมายเลข *8164* จะได้ค่าอุณหภูมิเท่ากับ *24.72* °C ซึ่งจะนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณ
6. นำเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4 เท่ากับ *299.8020* กรัม
7. บันทึกเวลา อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย *25.94* °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย *53.16* % และความกดดันอากาศเฉลี่ย *1006.46* hPa เมื่อเริ่มและเสร็จสิ้นการสอบเทียบ
8. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวง ที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C

   8.1. น้ำหนักที่ชั่งได้ $O_4 - O_3 = 99.652$ กรัม

   $O_2 - O_1 = 300.001$ กรัม

   8.2. ข้อมูลตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา $M_s = 300.001$ กรัม

   $\rho_S = 7.95$ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

   8.3. คำนวณหาค่าความหนาแน่นอากาศ

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times p - 0.009024 \times h_r \times e^{(0.0612t)}}{273.15 + t}$$

เมื่อ $t = 25.94\ ^{\circ}C$

$h_r = 53.16\ \%$

$p = 1006.46\ hPa$

$$\rho_a = \frac{0.34848\times(1006.46)-0.009024\times(53.16)\times e^{(0.0612\times 25.94)}}{273.15+(25.94)} = 0.001165\,g/cm^3$$

8.4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิวัดได้ $t_w = 24.72\ ^{\circ}C$

$$\rho_w = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t_w^{\,n}}{1+bt_w}$$

$\rho_w = 0.997115$ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

8.5. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวงขนาดเล็ก เมื่อใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบที่อุณหภูมิวัดได้

$$V_{wt} = (O_4-O_3)\times\left(\frac{M_s}{O_2-O_1}\right)\times\left(1-\frac{\rho_a}{\rho_s}\right)\times\left(\frac{1}{\rho_w-\rho_a}\right)$$

$$V_{wt} = (99.652)\times\left(\frac{300.001}{300.001}\right)\times\left(1-\frac{0.001165}{7.95}\right)\times\left(\frac{1}{0.997115-0.001165}\right) = 100.04257\,cm^3$$

8.6. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวงขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิอ้างอิง $t_0 = 20\ ^{\circ}C$

$$V_0 = \frac{(O_4-O_3)\times\left(\frac{M_s}{O_2-O_1}\right)\times\left(1-\frac{\rho_a}{\rho_s}\right)\times\left(\frac{1}{\rho_w-\rho_a}\right)}{(1+\gamma(t_w-20))} \cong (O_4-O_3)\times\left(\frac{M_s}{O_2-O_1}\right)\times\left(1-\frac{\rho_a}{\rho_s}\right)\times\left(\frac{1}{\rho_w-\rho_a}\right)\times(1-\gamma(t_w-20))$$

$$V_0 = 100.02005\ cm^3$$

8.7. ทำการคำนวณซ้ำกันในการสอบเทียบทั้ง 5 รอบ จากนั้นนำค่าปริมาตรเครื่องตวงขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิอ้างอิง $t_0 = 20\ ^{\circ}C$ มาหาค่าเฉลี่ยในการรายงายผลการสอบเทียบ

$$\overline{V_0} = 100.01905\ cm^3$$

8.8. คำนวณค่า Repeatability .ในการสอบเทียบทั้ง 5 ครั้ง

$$\text{Repeatability} = \frac{(V_0)_{max} - (V_0)_{min}}{(V_0)_{min}}\times 100$$

$$\text{Repeatability} = \frac{100.02105 - 100.01704}{100.01704}\times 100 = 0.00401\,\%$$

8.9. คำนวณผลอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด พิคะโนมิเตอร์ ที่ปริมาตร 100 ml มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด *0.02* ml แต่เนื่องจากบนพิคะโนมิเตอร์บ่งบอกพิกัดกำลังจริงเท่ากับ 100.00 ml สำหรับปริมาตรที่สอบเทียบได้เท่ากับ *100.019* ml

ผลต่าง *100.019 – 100.00 = 0.019* ml ผ่าน

9. คำนวณหาค่าความไม่แน่นอน สามารถศึกษาได้ใน โปรแกรมคำนวณ Excel **ชตว 101 เครื่องตวงขนาดเล็ก & Pyknometer & ลูกกจุ่ม Gravimetric MTD.xlsx** ใน sheet **ชตว 101 Uncer-55**

$$Uncertainty \le \frac{MPE}{3} = \frac{0.02}{3} = 0.0067\ ml$$

$$Uncertainty = 0.0067\ ml(mm^3) \le 0.067\ ml$$ ผ่าน

ANS

ขตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-103 พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer) พิกัดกำลัง 100 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	24/32
		ผู้ทบทวน	คณะบริการวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	5 พฤศจิกายน 2557

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

ชตว 101 การสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก (เครื่องแก้ว) Pyknometer และลูกจุ่ม โดยวิธีชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

เลขที่รายงานสอบเทียบ	1380(V)-57
วันที่สอบเทียบ	3 พฤศจิกายน 2557
สถานที่สอบเทียบ (ไทย)	สำนักชั่งตวงวัด
(อังกฤษ)	CBWM, Nonthaburi, TH
เจ้าของเครื่อง (ไทย)	สำนักชั่งตวงวัด
(อังกฤษ)	CBWM, Nonthaburi, TH
ที่อยู่	44/100 ถ.นนทบุรี 1 ต.บางกระสอ อ. เมือง จ.นนทบุรี 11000
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง	นายพิษณุ บุญดิษฐ *Mr. Phitsanu Boondit*
หัวหน้าห้องปฏิบัติการ	นายพิชิต สิรินทร์โสภณ *Mr. Pichit Sirintarasophon*

ข้อมูลตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา :

หมายเลขเครื่อง	SS13131	
ความหนาแน่น	7.95	ก./ลบ.ซม.
ชั้นความเที่ยง (OIML R111)	F1	

ข้อมูลเครื่องชั่ง : 2

หมายเลขเครื่อง	LA 1200S-OCE	
พิกัดกำลัง	1200	ก.
ชั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e)	0.01	ก.
ชั้นความเที่ยง (OIML R76)	I	
Balance Uncertainty (g)	0.000436	

ข้อมูลเทอร์โมมิเตอร์ :

หมายเลข	8164	
ชนิด	แท่งแก้ว	
ช่วงการวัด	0-100	องศาเซลเซียส
ขีดขั้นหมายมาตราต่ำสุด	0.1	องศาเซลเซียส

ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก *(Small-Volume Measuring Device Data)*

ชนิด	พิคะโนมิเตอร์แก้ว		Glass Pyknomet
หมายเลขเครื่อง	208		
พิกัดกำลัง	100	มล.	
ขั้นหมายมาตรา (d)	-	มล.	ถ้าเครื่องตวงแบบมีขั้นหมายมาตรา เดียวให้ใส่ค่าขั้นหมายมาตราเท่ากับ "0" หรือ " "
ขั้นความเที่ยง			
วัสดุที่ใช้ทำ	Stainless Steel 316		
ส.ป.ส.การขยายตัวตามความร้อน	0.0000477	/องศาเซลเซียส	
อุณหภูมิอ้างอิง	20	องศาเซลเซียส	
หมายเลขซีล			

เงื่อนไขสอบเทียบ :

สอบเทียบเครื่องตวง	แบบรับ		To Contain
ระยะเวลาถ่ายน้ำ	30	วินาที	
ตัวกลางสอบเทียบ	น้ำกลั่นสองครั้ง		Double-Distilled

สภาวะห้องปฏิบัติการฯ :

	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
อุณหภูมิห้อง (°C)	25.94				
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	53.16				
ความดันบรรยากาศ (hPa	1006.46				

จำนวนขีดขั้นหมายมาตราที่สอบเทียบ (5 จุด) 100 20

จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
100				

1. ทดสอบที่ขีดขั้นหมายมาตราขีดที่ 1 100 มล. พิกัดกำลัง 100 มล.

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้สอบเทียบ

	หน่วย	ตุ้มที่ 1	ตุ้มที่ 2	ตุ้มที่ 3	ตุ้มที่ 4	ตุ้มที่ 5	ตุ้มที่ 6	ตุ้มที่ 7	ตุ้มที่ 8	ตุ้มที่ 9	ตุ้มที่ 10	รวม (ก.)
ค่าน้ำหนักตุ้มที่แสดง	ก.	200.00	100.00									300.000
ค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้ม	มก.	0.37	0.2									0.00057
ค่าน้ำหนักตุ้มที่แก้ไขแล้ว (M_c)	ก.	200.00037	100.0002									300.0010
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก.	0.33	0.17									0.0005

ผลการสอบเทียบ ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4

		หน่วย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
O_1	เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	ก.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
O_2	น้ำหนักตุ้มแบบมาตรา (มากกว่า O_4 เล็กน้อย)	ก.	300.0010	300.0010	300.0010	300.0010	300.0010
O_3	น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	ก.	200.1500	200.1500	200.1500	200.1500	200.1500
O_4	น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	ก.	299.8020	299.8000	299.8030	299.7990	299.8010
t_w	อุณหภูมิน้ำ	องศาเซลเซียส	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
	อุณหภูมิน้ำหลังจากแก้ไขค่า	องศาเซลเซียส	24.72	24.72	24.72	24.72	24.72

บันทึกสภาวะห้องปฏิบัติการ 1/5

	เริ่ม (Max)	เสร็จ (Min)	
เวลา	9.25	11.55	น.
อุณหภูมิ	26.3	25.7	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์	56.3	49.5	เปอร์เซ็นต์
ความดันบรรยากาศ	1005.9	1005.7	เฮกโตปาสคาล

คำนวณผลการสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก (เครื่องแก้ว) และลูกจุ่มโดยวิธีชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ พิคะโนมิเตอร์แก้ว

1. ผลการสอบเทียบทดสอบที่ขีดขั้นหมายมาตราขีดที่ 1 100 มล. พิกัดกำลัง 100 มล.

*** ASTM E542-01(2012)

	$O_4 - O_3$ ก.	M_s ก.	$O_2 - O_1$ ก.	ρ_s ก./ลบ.ซม.	ρ_a ก./ลบ.ซม.	t_w องศาเซลเซียส	ρ_w ก./ลบ.ซม.	V_{tw} ลบ.ซม.	V_o ลบ.ซม.	σ_ω mN/m	d ซม.	h_o ซม.	$M_s/O_2 - O_1$ *** < 1.000013
ครั้งที่ 1	99.652	300.001	300.001	7.95	0.001165	24.72	0.997115	100.04257	100.02005				1
ครั้งที่ 2	99.65	300.001	300.001	7.95	0.001165	24.72	0.997115	100.04056	100.01804				1
ครั้งที่ 3	99.653	300.001	300.001	7.95	0.001165	24.72	0.997115	100.04357	100.02105				1
ครั้งที่ 4	99.649	300.001	300.001	7.95	0.001165	24.72	0.997115	100.03956	100.01704				1
ครั้งที่ 5	99.651	300.001	300.001	7.95	0.001165	24.72	0.997115	100.04157	100.01905				1

V_{o_avg} :	100.01905	ลบ.ซม.
Standard Divisation:	0.00159	ลบ.ซม.

ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (%) :	0.00401	0.00401
เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ :	0.02	
ผลการตัดสิน :	ผ่าน	

ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณสอบเทียบ

12. <u>เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบความเที่ยง</u>

12.1. **พิคะโนมิเตอร์โลหะและพิคะโนมิเตอร์แก้ว (Pyknometer)** พิกัดกำลัง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร)

12.1.1. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับพิคะโนมิเตอร์แก้ว (Glass Pyknomete)

พิกัดกำลัง cm^3	MPE Glass Pyknometer mm^3	
	Class A	Class B
100	20	30

12.1.2. อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับพิคะโนมิเตอร์โลหะ (Metal Pyknomete) ให้มีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดพิคะโนมิเตอร์แก้ว (Glass Pyknometer) โดยอนุโลม

12.2. ความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability) ไม่เกิน 0.02%

12.3. ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ไม่เกิน 1/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด *หรือ หากค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเกินกว่าที่กำหนดแต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.5*

12.4. ค่าผลผิด (Error) คือผลต่างค่าปริมาณที่วัดได้เทียบกับค่าปริมาณของแบบมาตราไม่เกิน 2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด *หรือหากค่าผลผิดมีค่าเกิน2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด แต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.5*

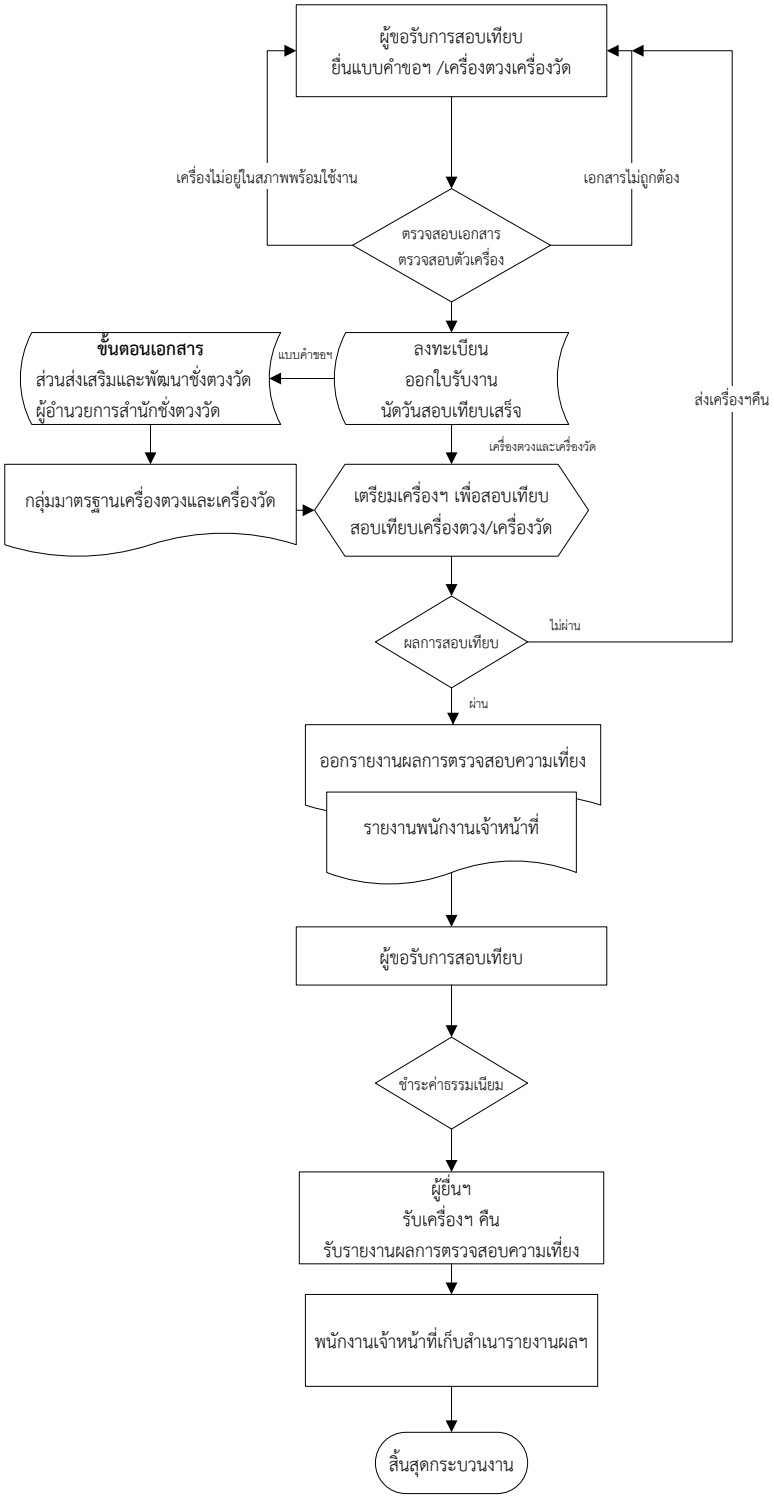
12.5. ผลรวมสัมบูรณ์ของค่าความไม่แน่นอนของการวัด และค่าผลผิด (Error) ไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ตามที่กำหนดไว้ใน กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2546

สรุป พิคะโนมิเตอร์ (Pyknometer) ต้องให้ผลการสอบเทียบครบทั้ง 5 เงื่อนไขจึงถือว่าผ่านการสอบเทียบ อย่างไรก็ตามให้พิจารณาตามความเหมาะสมและการนำไปใช้ของเครื่องตวงขนาดเล็กนั้นๆ ด้วย *โดยดุลยพินิจและการตัดสินใจของหัวหน้าห้องปฏิบัติการ*

13. <u>แบบฟอร์ม</u> สำหรับการปฏิบัติงานสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก

13.1. แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ WS-VOL-1010

14. ผังแสดงทางเดินงานและเอกสาร



15. <u>เอกสารที่เกี่ยวข้อง</u>

15.1. OPT-VOL-001 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องชั่ง Sartorius รุ่น CPA 224S

15.2. OPT-VOL-002 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องชั่ง Sartorius รุ่น LA 1200S-OCE, LA 6200S-OCE LA, 34001S-OCE

15.3. OPT-VOL-004 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิThermoprobe รุ่น TP-7

15.4. OPT-VOL-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิ

15.5. OPT-VOL-006 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลัง 1 มิลลิกรัม ถึง 20 กิโลกรัม ชั้นความเที่ยง F1 (OIML R-111)

15.6. OPT-VOL-010 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องชั่ง

15.7. OPT-LEN-003 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)

15.8. OPT-LEN-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)

เอกสารอ้างอิงในการประกอบจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. **SOP No. 13** Standard Operations Procedure for Calibration of Volumetric Ware, Gravimetric Method, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standard, 2006
2. **SOP No. 14** Recommended Standard Operations Procedure for Gravimetric Calibration of Volumetric Ware Using an Electronic Balance, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standard, 2006
3. **ISO 2811-1:1997** Paints and varnishes – Determination of density – Part 1: Pyknometer method
4. **DIN 53 217 (1991) Part 2** : Determination of density of paints, varnishes and similar coating materials by the pyknometer method
5. **M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 1**, UKAS (United Kingdom Accreditation Service), December 2007
6. **OIML R 111, Edition 2004(E)** : Weights of classes E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3} and M_3 ,Part 1: Metrological and technical requirements
7. **คู่มือการเลือกใช้วัสดุ (Material Selecting Quick Reference)** , บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2533
8. **การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร**, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ และเมตตา เนียมเปรม, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์
9. **นานาสาระชั่งตวงวัด**, จรินทร สุทธนารักษ์ และ สาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์
10. **การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighting Instruments)**, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, จรินทร สุทธนารักษ์, โสภณ โอภาสกิตติ และสาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์

เอกสารแนบ

1. **ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)**
2. **Traceability chain and best measurement capabilities for liquid flows and liquid volumes,** NMI , Netherland

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด สำนักชั่งตวงวัด

CENTRAL BUREAU OF WEIGHTS & MEASURES กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

รายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง *(Calibration Report)* 1/1

เลขที่รายงาน *Report No.*	1380(V)-57		**ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก** *(Small Volume Measuring Device Data)*		
วันที่สอบเทียบ *Calibration Date*	3 พฤศจิกายน 2557 *3 November 2014*		**ประเภทเครื่องตวง** *Type*	พิคะโนมิเตอร์แก้ว *Glass Pyknometer*	
สถานที่สอบเทียบ *Calibration Place*	สำนักชั่งตวงวัด *CBWM, Nonthaburi, TH*		**พิกัดกำลังเครื่องตวง** *Capacity*	100	มล. *ml*
เจ้าของเครื่องตวง *Owner*	สำนักชั่งตวงวัด *CBWM, Nonthaburi, TH* 44/100 ถ.นนทบุรี 1 ต.บางกระสอ อ. เมือง จ.นนทบุรี 11000		**ขั้นหมายมาตรา** *Scale Interval (d)*	-	มล. *ml*
เลขลำดับประจำเครื่อง *CBWM Official No.*	208		**ชั้นความเที่ยง** *Class*	-	
			วัสดุที่ใช้ทำ *Fabricated Material*	Stainless Steel 316	
			ส.ป.ส.ขยายตัวตามความร้อน *Thermal Expansion Coefficient*	0.0000477	$^{\circ}C^{-1}$
			อุณหภูมิอ้างอิง *Reference Temperature*	20	°C
สภาวะแวดล้อม *(Environment)*			**ประเภทการใช้งาน** *Measure Constructed*	แบบรับ *To Contain*	
อุณหภูมิ *Temperature*	25 ± 3	°C	**ระยะเวลาถ่ายน้ำ** *Drainage Time*	30	วินาที *Second*
ความชื้นสัมพัทธ์ *Relative Humidity*	50 ± 15	%RH	**ตัวกลางสอบเทียบ** *Calibration Media*	น้ำกลั่นสองครั้ง *Double-Distilled Water*	
ความดันบรรยากาศ *Atmosphere Pressure*	1010 ± 20	hPa			

วิธีการสอบเทียบ *(Calibration Procedure)*

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ เลขที่ SOP-VOL-103 : พิคะโนมิเตอร์ พิกัดกำลัง 100 มิลลิลิตรด้วยการชั่งน้ำหนัก

Based on Standard Operating Procedure No. SOP-VOL-103 : Gravimetric Calibration of Pyknometer with Electronic W&I.

แบบมาตราอ้างอิงและเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ *(Reference Standards and Instruments Used in Calibration)*

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา *Standard Mass*		**เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์** *Electronic Weighing Instrument*		**เครื่องวัดอุณหภูมิ** *Temperature Device*	
หมายเลข *No.*	SS13131	หมายเลข *No.*	LA 1200S-OCE	หมายเลข *No.*	8164
ความหนาแน่น *Density*	7.95 ก./ลบ.ซม. g/cm^3	พิกัดกำลัง *Max.*	1,200.00 กรัม *g.*	ช่วงการวัด *Measurement range*	0-100 เซลเซียส °C
ชั้นความเที่ยง *Class*	F1	ขั้นหมายมาตราตรวจรับรอง *e.*	0.0100 กรัม *g.*	ขีดขั้นหมายหมาตราต่ำสุด *Resolution*	0.1 เซลเซียส °C

แบบมาตราที่ใช้สอบเทียบสามารถสอบกลับได้ถึงระบบหน่วยสากล (SI Unit) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย)

The standards are traceable to SI Unit maintained at National Institute of Metrology (Thailand), NIMT.

ผลการสอบเทียบ *(Calibration Result)*

พิกัดกำลัง / ปริมาตรแสดง *Capacity / Scale Mark*	(มล.) *(ml)*	100
ปริมาตรสอบเทียบได้ ที่ 20 °C *Calibrated Volume @ 20 °C*	(มล.) *(ml)*	100.019
ความสามารถในการทำซ้ำได้ *Repeatability*	(%)	0.004
ความไม่แน่นอนของการวัด *Measurement Uncertainty*	(มล.) *(ml)*	0.0067

ปริมาตรแก้ไขของพิคะโนมิเตอร์แก้ว ที่อุณหภูมิใช้งาน (t)
Correction Volume of Glass Pyknometer at Working Temperature

$V_t = 100.019 [1 + 0.0000477 (t - 20)]$

t คือ อุณหภูมิใช้งาน Working Temperature (°C)

ค่าความไม่แน่นอนของการวัด *(Measurement Uncertainty)*

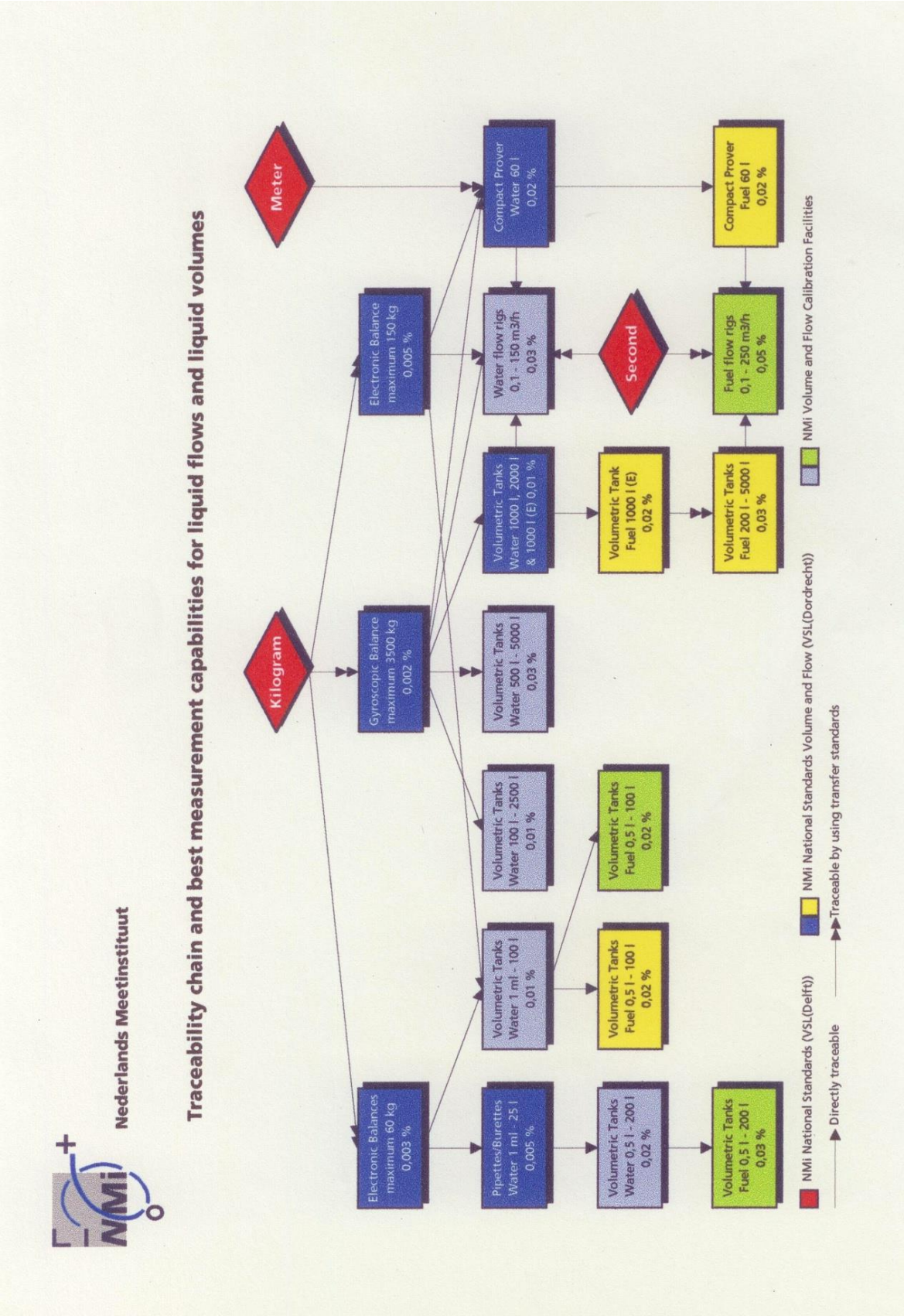
ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่รายงานอยู่บนพื้นฐานของความไม่แน่นอนมาตรฐานคูณด้วยตัวประกอบครอบคลุม k = 2, ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

The reported uncertainty of measurement is based on a standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor k = 2, provinding confidence level approximately 95%.

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง
Person in Charge
นายพิษณุ บุญดิษฐ
Mr. Phitsanu Boondit

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ
Head of Laboratory
นายพิชิต สิรินทรโสภณ
Mr. Pichit Sirintarasophon
4 พฤศจิกายน 2557

SAMPLE

44/100 หมู่ 1 ถ.นนทบุรี 1 ต.บางกระสอ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 44/100 Moo 1 Nonthaburi 1 Rd., Bangkraso, Muang, Nonthaburi 11000
TEL. (662) 547-4343, (662) 547-4345 FAX. (662) 547-4342, (662) 547-4346 E-mail cbwm@cbwmthai.org http://www.cbwmthai.org

2. Traceability chain and best measurement capabilities for liquid flows and liquid volumes, NMI , Netherland