

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ

ขวดแก้วก้านโป่ง (Volumetric Flask) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

Gravimetric Calibration of Volumetric Flask in Glass with Electronic W&I.

จัดทำโดย	_____	ผู้อนุมัติ	_____
	(นายพิชิต สิริมิตรโสภณ) หัวหน้าห้องปฏิบัติการ		(นายจรินทร์ สุทธนารักษ์) ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ TM		

	(นายสาธิต ชูสุวรรณ) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด	วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

	(นายชาติรี อารีวงศ์) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องชั่ง	จำนวนหน้ารวม	32 หน้า

	(นางภัทราภรณ์ สุรสิทธิ์) ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมและพัฒนาชั่งตวงวัด	ปรับปรุงครั้งที่	2



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	2/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

1. ขอบเขตการสอบเทียบ

ขวดแก้วกัณโโป่ง หรือพลาสติก (Flasks) ทั้งแบบ “รับ (to contain)” และ “จ่าย (to deliver)” แบบขีดขึ้นหมาย
มาตราเดียว (Volumetric Flask with Single Gauge Mark) พิกัดกำลัง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
ถึง 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) ตาม OIML R4;1972

2. วัตถุประสงค์

- 2.1. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนการปฏิบัติในการสอบเทียบ
- 2.2. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนในการคำนวณผลการสอบเทียบ
- 2.3. เพื่อให้เกณฑ์การพิจารณาตัดสินผลการสอบเทียบสอดคล้องและครบถ้วนตามมาตรฐานสากล
- 2.4. เพื่อให้การรายงานผลการสอบเทียบเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน เนื้อหาสาระครบถ้วนเหมือนกันทั่วประเทศ
- 2.5. เพื่อให้สามารถสอบย้อนกลับไปถึงแบบมาตราชั้นหนึ่ง ตามพระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของสำนักชั่งตวงวัด

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

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. จัดเตรียมเครื่องมืออื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อให้ระบบเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องตวง พร้อมสำหรับการสอบเทียบ
2. ทำการสอบเทียบเครื่องตวง
3. ทำรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบสภาพเครื่องตวง ที่นำมาสอบเทียบ
2. ตรวจสอบผลการคำนวณ ตรวจสอบรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง ตัดสินผลการสอบเทียบ

5. แบบมาตรา

5.1 ตุ่มน้ำหนักแบบมาตรา ชั้นความเที่ยง F1 (OIML R-111)

 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101 ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	3/32
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

6. ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) ที่ทำการสอบเทียบ

สาขาการวัด	พารามิเตอร์/พิสัย/ รายการ	ขีดความสามารถของการวัด และการสอบเทียบ (\pm)	มาตรฐาน/เทคนิคที่ใช้/วิธี/ เครื่องมือที่ใช้
ขวดแก้วก้นโป่งแบบขีดขึ้นหมาย มาตราเดียว (Volumetric flask with single gauge mark)	50 cm ³	0.017 cm ³	<i>In-house method :</i> SOP-VOL-101 based on OIML R 43: 1981
	100 cm ³	0.027 cm ³	
	200 cm ³	0.033 cm ³	
	250 cm ³	0.040 cm ³	
	500 cm ³	0.067 cm ³	
	1,000 cm ³	0.100 cm ³	

7. สภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

การปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการเป็นระบบปรับอากาศแบบ Precision Air Condition System

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

8. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 8.1. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบมาตรา (Electronic Balance) ชั้นความเที่ยง I และ II (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. หลอดหยด (Dropper)
- 8.10. ถังเก็บน้ำกลั่น

9. รายละเอียดวิธีปฏิบัติ

- 9.1. เตรียมสภาวะของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามที่กำหนด
- 9.2. จัดเตรียมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้เหมาะสม และเพียงพอ
- 9.3. นำเครื่องตวงและตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามาพักอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	4/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

- 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. มีชั้นความละเอียด (resolution) อ่านได้ละเอียดเพียงพอและต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่ยอมรับได้ในการสอบเทียบ (1/3 MPE) หรือควรมีค่าชั้นความละเอียดตรวจรับรอง (e) เท่ากับ

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

เมื่อ

W = น้ำหนักของปริมาตรทดสอบ (g)

MPE = อัตราเมื่อเหลือเมื่อขาดของปริมาตรที่ต้องการทดสอบ (%)

- 9.9. **กรณีสอบเทียบแบบ “รับ” / “to contain” / “In” (O₁ - O₂ - O₃ - O₄)**
 - 9.9.1. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₁
หมายเหตุ ต้องสวมถุงมือทุกครั้งสัมผัสกับเครื่องตวง และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ขณะสอบเทียบ
 - 9.9.2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง โดยตุ้มน้ำหนัก (M_s) ต้องมีค่ามากกว่าน้ำหนักเครื่องตวงรวมกับน้ำหนักของน้ำภายในเครื่องตวงเล็กน้อย บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₂ ยกตุ้มน้ำหนัก (M_s) ออกจากเครื่องชั่ง
 - 9.9.3. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง วางเครื่องตวง (ขวดแก้วกันโปง) เปลาที่แห้งสนิทพร้อมปิดฝา (ถ้ามี) ลงบนเครื่องชั่ง จำนวน 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นหาค่าเฉลี่ยที่ได้ บันทึกเป็นค่า O₃ (ใช้เป็นค่าน้ำหนักเครื่องตวงเปล่า O₃ ในแต่ละรอบการสอบเทียบ)
 - 9.9.4. เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดชั้นความมาตราที่แสดงเล็กน้อย
 - 9.9.5. จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ห้องน้ำแตะขีดชั้นความมาตราพิกัดกำลังพอดี อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำในหลอดแก้วพักน้ำ
หมายเหตุ ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงแห้ง ก่อนชั่ง
 - 9.9.6. ปิดฝา(ถ้ามี) เครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O₄
 - 9.9.7. นำเครื่องตวง ออกจากเครื่องชั่ง จากนั้นดูดน้ำออกจากเครื่องตวงให้ระดับน้ำต่ำกว่าขีดชั้นความมาตราประมาณ 1 เซนติเมตร ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที
 - 9.9.8. ทำซ้ำขั้นตอนข้อ 9.9.1 ถึง 9.9.2 และขั้นตอน 9.9.5 ถึง 9.9.7 จนครบ 4 ครั้ง



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	5/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

- 9.9.9. เมื่อดำเนินการสอบเทียบแล้วเสร็จ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น
- 9.9.10. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปคำนวณ
- 9.10. **กรณีสอบเทียบแบบ “จ่าย” / “to deliver” / “Ex” (O₁ - O₂ - O₄ - O₃)**
- 9.10.1. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₁
หมายเหตุ ต้องสวมถุงมือทุกครั้งสัมผัสกับเครื่องตวง และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ขณะสอบเทียบ
- 9.10.2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง โดยตุ้มน้ำหนัก (M_s) ต้องมีค่ามากกว่าน้ำหนักเครื่องตวงรวมกับน้ำหนักของน้ำภายในเครื่องตวงเล็กน้อย บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₂ ยกตุ้มน้ำหนัก (M_s) ออกจากเครื่องชั่ง
- 9.10.3. เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดขึ้นหมายมาตราที่แสดงเล็กน้อย
- 9.10.4. จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ท้องน้ำแตะขีดขึ้นหมายมาตราพิกัดกำลังพอดี อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำในหลอดแก้วพักน้ำ
หมายเหตุ ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงแห้ง ก่อนชั่ง
- 9.10.5. ปิดฝา(ถ้ามี) เครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O₄
- 9.10.6. นำเครื่องตวงออกจากเครื่องชั่ง เทน้ำออกจากเครื่องตวง จนน้ำเริ่มกลายเป็นหยดให้จับเครื่องตวง อยู่ในแนวตั้งโดยให้ปากเครื่องตวงอยู่ด้านล่างและจับเวลาถ่ายน้ำ (drain time) 30 วินาที นำเครื่องตวงมาวางตั้งและเช็ดพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงให้แห้ง
- 9.10.7. นำเครื่องตวงไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O₃
- 9.10.8. ทำซ้ำขั้นตอน 9.10.1 -9.10.7 จนครบ 4 ครั้ง
- 9.10.9. เมื่อดำเนินการสอบเทียบแล้วเสร็จ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น
- 9.10.10. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปคำนวณ

10. การคำนวณผลการสอบเทียบเครื่องตวง

- 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

$$F_w = F_s$$

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	6/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

- เมื่อ m_w = มวลของน้ำ Kg (g)
 m_s = มวลของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Kg (g)
 ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำขณะชั่ง Kg/m³ (g/cm³)
 ρ_s = ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา Kg/m³ (g/cm³)
 ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศขณะชั่ง Kg/m³ (g/cm³)
 V_w = ปริมาตรของน้ำขณะชั่ง m³ (cm³)
 V_s = ปริมาตรของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา m³ (cm³)

ตัดค่า g ออกจะได้

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

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

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

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

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

เนื่องจากปริมาตรน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบหาได้จากค่าน้ำหนักของน้ำหารด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบ

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

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

คำนวณปริมาตรที่สภาวะขณะทำการสอบเทียบแต่ละครั้งของการสอบเทียบเครื่องตวงด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์) พออนุโลมและเทียบเท่าเครื่องแบบ 2 แขนหรือเครื่องชั่งที่มีตุ้มน้ำหนัก (Counter weights) การคำนวณปริมาตรในการสอบเทียบแต่ละครั้งจึงมีค่าเท่ากับ ($m_s = M_s$)

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

ซึ่งเทอม $\frac{M_s}{O_2 - O_1}$ เป็นค่าแก้ไขการแสดงผลเครื่องชั่งเนื่องจากค่าความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักที่อาจแตกต่างจากค่าความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักอ้างอิงของผู้ผลิตเครื่องชั่ง (the apparent mass conversion factor)

10.1.2. ความหนาแน่นของอากาศ¹ เนื่องจากสูตรหาความหนาแน่นของอากาศของ CIPM มีความถูกต้องสูงมากเกินไปและบ่อยครั้งพบว่าเกินความจำเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าประมาณด้วยสมการดังข้างล่างน่าจะเพียงพอ จึงใช้สมการ

¹ “นานาสาระชั่งตวงวัด” จรินทร์, สาธิต สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, หน้า 135-141



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	7/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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

เมื่อ ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ; kg/m^3

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

h_r = ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (the relative air humidity); %

t = อุณหภูมิอากาศที่วัดได้ (the air temperature); $^{\circ}\text{C}$

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

$$\rho_w = \frac{\sum_{n=0}^5 a_n \times t_w^n}{1 + b t_w} \quad \text{kg/m}^3$$

เมื่อ ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ kg/m^3

a_0 = 9.9983952×10^2 kg/m^3

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

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

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

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

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

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

t = อุณหภูมิน้ำ, องศาเซลเซียส $^{\circ}\text{C}$

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 ด้วยตัวแปรแก้ไขค่าปริมาตร 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} = ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาตรสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิก่อผลต่อเครื่องตวง (the correction factor for the effect of temperature on steel)

γ = ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวง / $^{\circ}\text{C}$

² “นานาสาระชั่งตวงวัด” จรินทร์, สาธิต สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, หน้า 209-218



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	8/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

$$t = \text{อุณหภูมิของเหลวขณะชั่ง } ^\circ\text{C}$$

$$t_0 = \text{อุณหภูมิอ้างอิงของเครื่องตวง } (20) ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

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

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 ของแต่ละครั้งมาเฉลี่ยหาค่าเป็น ปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิงเฉลี่ยของการสอบเทียบ

10.2. การคำนวณหาความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าในการสอบเทียบ (Standard Uncertainty)

โดยยึดเอาสมการการหาค่าปริมาตรเครื่องตวง ณ สภาวะอ้างอิงของเครื่องตวง ในที่นี้สมมุติให้อุณหภูมิ อ้างอิงเท่ากับ 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

$$u_c = \sqrt{c_s^2 \cdot u_s^2 + c_{\rho_s}^2 \cdot u_{\rho_s}^2 + c_{\rho_w}^2 \cdot u_{\rho_w}^2 + c_{\rho_a}^2 \cdot u_{\rho_a}^2 + c_{M_s}^2 \cdot u_{M_s}^2 + c_{\gamma}^2 \cdot u_{\gamma}^2 + c_{\sigma}^2 \cdot u_{\sigma}^2 + c_{b_a}^2 \cdot u_{b_a}^2 + c_{s\text{ Drift}}^2 \cdot u_{s\text{ Drift}}^2}$$

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

$$V_0 \pm 2u_c \text{ มิลลิลิตร}$$

พิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

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

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

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	9/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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

- มี Sensitivity coefficient³

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

- เมื่อมีการใช้หลายตุ้มน้ำหนัก นำค่า uncertainty ของตุ้มแต่ละลูกจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้

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

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_{ρ_s}

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนของความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจากวิธีการที่รัฐนิเวศฯ ใช้ทำตุ้มแบบมาตรา 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

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้ในสำนักชั่งตวงวัด สำหรับการสอบเทียบจะมีทั้ง stainless steel มี uncertainty เท่ากับ 140 kg m⁻³

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

³ ในการทำ Partial diff. ใช้โปรแกรม MathCAD



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	10/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

10.2.3. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบ โดยสมการของ H.Wagenbreth และ W. Blanke , PTB (Standard uncertainty of density of the water (g cm^{-3})) ; u_{pw}

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิ น้ำ ดังนั้น

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

$$c_{pw(tw)} = \frac{\partial \rho_w}{\partial t} = \frac{(16.952577 - 1.598102510^{-2} \times t_w - 1.387252710^{-4} \times t_w^2 + 4.233840410^{-7} \times t_w^3 - 1.405150310^{-9} \times t_w^4)}{(1 + 1.688723610^{-2} \times t_w)} - 1.6887236.10^{-2} \cdot \frac{(999.83952 + 16.952577 \times t_w - 7.9905127.10^{-3} \times t_w^2 - 4.6241757.10^{-5} \times t_w^3 + 1.0584601.10^{-7} \times t_w^4 - 2.8103006.10^{-10} \times t_w^5)}{(1 + 1.6887236.10^{-2} \times t_w)^2}$$

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

โดย u_{tw} ได้จากหัวข้อ 10.2.5 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ (Standard uncertainty of temperature of the water ($^{\circ}\text{C}$))

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

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

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของอากาศ เนื่องจากสมการที่ใช้หาค่าความหนาแน่นของอากาศเกี่ยวข้องกับการวัดค่าความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นในการประเมินค่าความไม่แน่นอนจึงต้องทำการประเมินย่อยลงไปอีกระดับหนึ่งจากสมการ

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

ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนที่ประเมินจากสมการจึงมีค่า

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

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

10.2.4.1. ค่าความไม่แน่นอนจากการสมการที่เลือกใช้

$$c_{pa(Eq.)} = 1$$

ค่าความไม่แน่นอนจากการใช้สมการภายใต้สภาวะเงื่อนไขสิ่งแวดล้อม

- $900 \text{ mbar} \leq p \leq 1100 \text{ mbar}$
- $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	11/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

- $h_r \leq 80\%$

ผลต่างสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ด้วยสมการข้างบนเทียบกับค่าความหนาแน่นที่คำนวณตามคำแนะนำ CIPM จะมีค่าเท่ากับ

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

ดังนั้นเราจึงให้ค่าความไม่แน่นอนของการใช้สมการดังกล่าว เท่ากับ

$$u_F = 2 \times 10^{-4} \cdot \rho_a$$

10.2.4.2. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความกดดันอากาศ

$$c_{p_a(p)} = \frac{\partial p_a(p)}{\partial p} = \frac{0.34843}{(273.15 + t)}$$

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

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. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิอากาศ

$$c_{p_a(t)} = \frac{\partial p_a(t)}{\partial t} = \frac{(-0.34848 p) - [h \cdot e^{0.0612t} \cdot (0.14182 + 0.0005523t)]}{(273.15 + t)^2}$$

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

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 ($25 \pm 3^\circ\text{C}$)

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	12/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

10.2.4.4. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

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

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

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 ($50 \pm 15\%$)

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

10.2.5. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ (Standard uncertainty of temperature of the water ($^{\circ}\text{C}$)) ; u_{tw}

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัดอุณหภูมิของน้ำในการสอบเทียบ

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

- 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 ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	13/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

10.2.6. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลือกใช้ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของเครื่องตวง (Standard uncertainty of coefficient of cubical thermal expansion of the material of the measure ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)); u_{γ}

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าที่เลือกใช้

$$u_{\gamma} = 0.5 \times 10^{-7} \quad ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

- 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

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

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

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องชั่ง

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

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการเครื่องชั่งด้วยกัน 4 สาเหตุ

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

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

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	14/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

เมื่อ

ΔI_s คือ ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงที่เครื่องชั่งแสดงเนื่องจากตุ้มน้ำหนักทดสอบ (mg)

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

Δm_c คือ ค่าน้ำหนักที่แตกต่างเฉลี่ยระหว่างแบบมาตรฐานกับตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ (mg) กำหนดให้เท่ากับค่า 2 ใน 3 เท่าของ MPE ของตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ

$u(m_s)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของ m_s

m_s คือ ค่าน้ำหนักของตุ้มทดสอบความรูสึก

$u(\Delta I_s)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องที่แสดงเมื่อวางตุ้มน้ำหนักทดสอบความรูสึก 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 ค่าน้ำหนักของแบบมาตรฐานและค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักสอบเทียบ 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 ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางถึงมุมของภาตรับน้ำหนัก

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	15/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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 เท่ากับ ค่าของปีล่าสุด - ค่าของปีก่อนหน้า (จากใบรายงานผลของแบบมาตรา scale calibrator) และ divisor = $\sqrt{3}$

- มี Sensitivity coefficient

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

- เมื่อมีการใช้หลายตุ้มน้ำหนัก นำค่า uncertainty ของตุ้มแต่ละลูกจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้ (กรณีที่ 2)

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

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

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Rectangular

Budget Uncertainty (Flask 100 CC)

Symbol	Source of uncertainty	Value	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c _i)	Standard Uncertainty (u _i) (cm ³)
u_s	Calibration of Standard Mass	$\pm g, \pm g/cm^3, \pm ^\circ C, \pm ^\circ C^{-1}$ $u_s = U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sR}$ $= 0.00035 \text{ g}$	Normal	2	$c_s = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_s - p_a}{p_s(p_w - p_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= 0.648987 \text{ cm}^3/g$	0.000113573
u_{ps}	Standard uncertainty of density of the standard mass	0.14 g/cm ³	Normal	2	$c_{ps} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_s} = \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_a}{\rho_s^2(p_w - p_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= 0.001847 \text{ (cm}^3\text{)}^2/g$	0.00012929
u_{pw}	Standard uncertainty of density of the water	$u_{pw} = c_{pw}(t_w) \cdot u_{t_w}$ $u_{t_w} = 0.068196 \text{ }^\circ C$ (ตาราง 1) $c_{pw}(t_w) = -0.262525222 \text{ kg/m}^3\text{ }^\circ C$ $u_{pw} = 0.017903 \text{ kg/m}^3$ $= 0.000017903 \text{ g/cm}^3$	Normal	1	$c_{pw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w} = -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_s - p_a}{\rho_s(p_w - p_a)^2} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= -100.376748 \text{ (cm}^3\text{)}^2/g$	-0.001797045
u_{pa}	Standard uncertainty of density of the air	$u_{pa} = 0.000015514 \text{ g/cm}^3$ (ตาราง 2)	Normal	1	$c_{pa} = \frac{\partial V_{20}}{\partial p_a} = (O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_s - p_w}{p_s(p_w - p_a)^2} \right) (1 - \gamma(t_w - 20))$ $= 87.803338 \text{ (cm}^3\text{)}^2/g$	0.001362181
u_{tw}	Standard uncertainty of temperature of the water	$u_{tw} = 0.068196 \text{ }^\circ C$ (ตาราง 1)	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{tw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w} = -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_s - p_a}{p_s(p_w - p_a)} \right) (\gamma)$ $= -0.000999$	-0.000039333
u_γ	Standard uncertainty of coefficient of cubical thermal expansion of the material of the measure	$u_\gamma = 0.5 \times 10^{-7} \text{ }^\circ C^{-1}$	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_\gamma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \gamma} = -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{p_s - p_a}{p_s(p_w - p_a)} \right) (t_w - 20)$ $= -571.711947 \text{ cm}^3 / ^\circ C^{-1}$	-0.00165039
u_σ	Standard uncertainty from the measurement	$u_R = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.000639515 \text{ cm}^3$	Normal	1	$c_\sigma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \sigma} = 1$	0.000639515



ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101

ขวดแก้วแก๊ส (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	16/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	17/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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}' = 0.000038 (ตาราง 6)	Normal	1	$c_{ba} = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ = 0.648987	0.000025
u_{sDrift}	Drift (Weights Standard)	$u_{s\ Drift} = U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sn}$ = 0.00035 g	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{s\ Drift} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \Delta M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s(\rho_w - \rho_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ = 0.648987 cm ³ /g	0.000131142
u	Combine standard uncertainty		Normal			0.00287
U	Expand uncertainty		Normal (k=2)			0.00574



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	18/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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

Symbol	Source of uncertainty	Value ± °C	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c)	Standard Uncertainty (u) (°C)
u_{tw1}	Water Temperature: 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	$u_{tw3} = \frac{t^+ - t^-}{2\sqrt{3}} = 0.057735$
u_{tw}	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{tw} = \sqrt{0.022^2 + 0.028868^2 + 0.057735^2} = 0.0668196$

(ตาราง 2) Standard uncertainty of density of the air

Symbol	Source of uncertainty	Value ±	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c)	Standard Uncertainty (u) (kg/m ³)
u_F	Equation of air density	$u_F = 2 \times 10^{-4} \cdot p_a = 0.000234 \text{ kg/m}^3$	Normal	1	1	= 0.000234
u_p	Atmospheric pressure	$u_p = \sqrt{u_{p1}^2 + u_{p2}^2 + u_{p3}^2}$ = 11.555806 hPa (ตาราง 3)	Normal	1	$c_{pa(p)} = \frac{\partial \rho_a(p)}{\partial p} = \frac{0.34843}{(273.15+t)}$ $c_{pa(t)} = \frac{\partial \rho_a(t)}{\partial t} = \frac{(-0.34848 \cdot p) - [h \cdot e^{0.0612t} \cdot (0.14182 + 0.0005523t)]}{(273.15+t)^2}$ = -0.004333	= 0.013485625
u_t	Atmospheric temperature	$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2}$ = 1.745583 °C (ตาราง 4)	Normal	1		= -0.007563611
u_h	Atmospheric humidity	$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$ = 8.697174 % (ตาราง 5)	Normal	1	$c_{pa(h)} = \frac{\partial \rho_a(h)}{\partial h} = \frac{-0.009024 \cdot e^{0.0612t}}{(273.15+t)}$ = -0.000144	= -0.001252393
u_{pa}	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{pa} = \sqrt{u_{pa(p)}^2 + u_{pa(t)}^2 + u_{pa(h)}^2} = 0.015514 \text{ kg/m}^3$ = 0.000015514 g/cm ³



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	19/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

(ตาราง 3) Standard uncertainty of atmospheric pressure; u_p

Symbol	Source of uncertainty	Value ± hPa	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c)	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)	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	$u_s = \sqrt{(\Delta m_c)^2 \left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right)}$	Normal	1	1	$= 0.0000044667$
u_d	Balance resolution	$d = 0.0001$	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) = 0.00002887$
u_E	Eccentric loading	$\frac{d_1 \times D}{d_2}$	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$u_E = \frac{d_1 \times D}{2 \times \sqrt{3} \times d_2} = 0.00002397$
u_{ba}	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{im}^2} = 0.000038$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	21/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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

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

เมื่อ

$(V_0)_{\max}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงค่ามากที่สุดใน การสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

$(V_0)_{\min}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงค่าน้อยที่สุดใน การสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

11. ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างการแสดงวิธีการคำนวณในที่นี้เป็นการสอบเทียบเครื่องตวง ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks)

- พิกัดกำลัง 100 มิลลิลิตร
- ทำด้วยวัสดุ แก้ว Boronsilicate
- อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C
- ลักษณะการใช้งาน แบบปรับ
- Drain time 30 วินาที

- ดำเนินการสอบเทียบตามขั้นตอน การสอบเทียบแบบปรับ กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่อ่านได้ บันทึกเป็นค่า O_1 เท่ากับ 0
- วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง บันทึกเป็นค่า O_2 โดยใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทั้งหมด 5 ต้ม รวมกันแล้วเท่ากับ 153.5 กรัม นำค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้มและ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานสอบเทียบตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา สรุปแล้วได้เท่ากับ

— ค่าน้ำหนักตุ้ม	153.5 กรัม
— ค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้ม	0.00039 มิลลิลิตร
— ค่าความไม่แน่นอนน้ำหนักตุ้มรวม	0.00037 มิลลิลิตร
- กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง วางเครื่องตวงเปล่าที่แห้งสนิทพร้อมปิดฝา ลงบนเครื่องชั่ง จำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ บันทึกเป็นค่า O_3 (ใช้เป็นค่าน้ำหนักเครื่องตวงเปล่า O_3 ในแต่ละรอบการสอบเทียบ) เท่ากับ 53.6695
- เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดขึ้นหมายมาตราที่แสดงเล็กน้อย
- ค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ท้องน้ำแตะขีดขึ้นหมายมาตราพิกัดกำลังพอดี บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25.1 °C แต่ปรับแก้ไขค่าเครื่องวัดอุณหภูมิ SLW หมายเลข 8164 จะได้ค่าอุณหภูมิเท่ากับ 25.12 °C ซึ่งจะนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณ
- ปิดฝาเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4 เท่ากับ 153.2154 กรัม
- บันทึกเวลา อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 25.65 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 50.65 % และความกดดันอากาศเฉลี่ย 1006.5 hPa เมื่อเริ่มและเสร็จสิ้นการสอบเทียบ
- คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวง ที่อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	22/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

8.1. น้ำหนักที่ชั่งได้

$$O_4 - O_3 = 99.5459 \quad \text{กรัม}$$

$$O_2 - O_1 = 153.5004 \quad \text{กรัม}$$

8.2. ข้อมูลตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา

$$M_s = 153.5 \quad \text{กรัม}$$

$$\rho_s = 7.95 \quad \text{กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

8.3. คำนวณหาค่าความหนาแน่นอากาศ

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

เมื่อ

$$t = 25.65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_r = 50.65 \text{ \%}$$

$$p = 1006.5 \text{ hPa}$$

แทนค่า

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times (1006.5) - 0.009024 \times (50.65) \times e^{(0.0612 \times 25.65)}}{273.15 + (25.65)} = 0.001168 \text{ g/cm}^3$$

8.4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิวัดได้ $t_w = 25.12 \text{ } ^\circ\text{C}$

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

$$\rho_w = 0.997012 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

8.5. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวง เมื่อนำน้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบที่อุณหภูมิวัดได้

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

$$V_{wt} = (99.5459) \times \left(\frac{153.5}{153.5004} \right) \times \left(1 - \frac{0.001168}{7.95} \right) \times \left(\frac{1}{0.997012 - 0.001168} \right) = 99.94127 \text{ cm}^3$$

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

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

$$V_0 = 99.94127 \text{ cm}^3$$

8.7. ทำการคำนวณซ้ำกันในการสอบเทียบทั้ง 5 รอบ จากนั้นนำค่าปริมาตรเครื่องตวง ที่อุณหภูมิอ้างอิง $t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ มาหาค่าเฉลี่ยในการรายงานผลการสอบเทียบ

$$\bar{V}_0 = 99.94361 \text{ cm}^3$$

8.8. คำนวณค่า Repeatability ในการสอบเทียบทั้ง 5 ครั้ง

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

$$\text{Repeatability} = \frac{99.94583 - 99.94127}{99.94127} \times 100 = 0.0046 \text{ \%}$$

 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101 ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	23/32
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

8.9. จำนวนผลอัตราเมื่อเหลือเมื่อขาดขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) ที่ปริมาตร 100 ml มีอัตราเมื่อเหลือเมื่อขาด 0.1 ml

แต่เนื่องจากบนขวดแก้วก้นโป่งบอกรูปร่างที่แท้จริงเท่ากับ 100.00 ml สำหรับปริมาตรที่สอบเทียบได้เท่ากับ 99.94361 ml
 ผลต่าง $100.00 - 99.94361 = 0.05639$ ml ผ่าน

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

$$Uncertainty \leq \frac{MPE}{3} = \frac{0.1}{3} = 0.033 \text{ ml}$$

$$Uncertainty = 0.027 \text{ ml (mm}^3\text{)} < 0.033 \text{ ml} \quad \text{ผ่าน}$$

ANS



ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101

ขวดแก้วแก๊ส (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	24/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

ชดว 101 การสอบเทียบเครื่องชั่งขนาดเล็ก (เครื่องแก้ว) Pyknometer และลูกชั่ง โดยวิธีชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลเครื่องชั่งขนาดเล็ก (Small-Volume Measuring Device Data)

ชนิด	Flask
หมายเลขเครื่อง	VF 100
พิกัดกำลัง	100
ชื่อแบบมาตรา (d)	mm.
ชื่อความเที่ยง	mm.
วัสดุที่ใช้ทำ	Class A แก้ว Borosilicate
ส.ป.สมการขยายตัวตามความร้อน	0.00001
อุณหภูมิอ้างอิง	20 องศาเซลเซียส
หมายเลขซีด	องศาเซลเซียส

เชื่อมโซบเทียบ :
สอบเทียบเครื่องชั่ง
ระยะเวลาถ่ายโอน
ตัวกลางสอบเทียบ
ผลการปฏิบัติงานการ :
อุณหภูมิห้อง (°C) 25.59
ความชื้นสัมพัทธ์ (%) 50.87
ความดันบรรยากาศ (hPa) 1007.16

ชื่อผู้สอบเทียบ :
สอบเทียบเครื่องชั่ง
ระยะเวลาถ่ายโอน
ตัวกลางสอบเทียบ
ผลการปฏิบัติงานการ :
อุณหภูมิห้อง (°C) 25.59
ความชื้นสัมพัทธ์ (%) 50.87
ความดันบรรยากาศ (hPa) 1007.16

ชื่อผู้ชั่ง : 1
CPA 2245
220 g.
0.0001 g.
0.000038

ชื่อของเครื่องมือชั่ง :
หมายเลขเครื่อง :
พิกัดกำลัง :
ชื่อแบบมาตรา (d) :
ชื่อความเที่ยง (OML R76) :
Balance Uncertainty (g) :
8164
แก้ว
0-100
องศาเซลเซียส
องศาเซลเซียส

ชื่อของเครื่องมือชั่ง :
หมายเลข :
ชนิด :
ช่วงการวัด :
ขีดจำกัดความแม่นยำสูงสุด :
100
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5

จำนวนขีดขิ้นหมายเลขมาตราที่สอบเทียบ (5 จุด)

จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
100	100	100	100	100

1. ผลสอบเทียบที่ขึ้นหมายเลขมาตราที่ 1
ดูที่น้ำหนักแบบมาตราที่ใช้สอบเทียบ

หน่วย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	รวม (ก.)
ค่าน้ำหนักดูที่แสดง	ก.	100.00	50.00	1.00	0.50						153.500
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	มก.	0.2	0.09	0.046	0.026						0.00039
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก.	0.17	0.1	0.04	0.033	0.500026					153.5000
ผลการสอบเทียบ	ข้อมูล O1 - O2 - O3 - O4										
O ₁	หน่วย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5					
O ₂	ก.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000					
O ₃	ก.	153.5004	153.5004	153.5005	153.5004	153.5004					
O ₄	ก.	53.6695	53.6695	53.6695	53.6695	53.6695					
O ₅	ก.	153.2154	153.2191	153.2200	153.2165	153.2177					
O ₆	อุณหภูมิ	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1					
O ₇	อุณหภูมิที่ชั่งน้ำหนัก	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12					

บันทึกผลการปฏิบัติงานการ 1/5

เวลา	เริ่ม (Max)	เสร็จ (Min)
อุณหภูมิ	9.25	11.35
ความชื้นสัมพัทธ์	25.9	25.4
ความดันบรรยากาศ	51.8	49.5
ความดันบรรยากาศ	1006.6	1006.6

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ



ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101

ขวดแก้วกันโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	25/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

*** ASTM E542-01(2012)

ครั้งที่	$O_2 - O_3$ ก.	M_L ก.	$O_2 - O_1$ ก.	P_2 ก./ลบ.ชม.	P_0 ก./ลบ.ชม.	t_w องศาเซลเซียส	P_w ก./ลบ.ชม.	V_{in} ลบ.ชม.	V_o ลบ.ชม.	σ_{th} mN/m	d ชม.	h_o ชม.	$M_1/O_2 - O_1$ *** < 1.000013
ครั้งที่ 1	99.5459	153.5	153.5004	7.95	0.001168	25.12	0.997012	99.94639	99.94127				0.999997394
ครั้งที่ 2	99.5496	153.5	153.5004	7.95	0.001168	25.12	0.997012	99.95011	99.94499				0.999997394
ครั้งที่ 3	99.5505	153.5	153.5005	7.95	0.001168	25.12	0.997012	99.95095	99.94583				0.999996743
ครั้งที่ 4	99.547	153.5	153.5004	7.95	0.001168	25.12	0.997012	99.9475	99.94238				0.999997394
ครั้งที่ 5	99.5482	153.5	153.5004	7.95	0.001168	25.12	0.997012	99.9487	99.94358				0.999997394
Standard Divisions:													
$V_{o,avg}$:										ลบ.ชม.		0.00456	
ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (%) :										ลบ.ชม.		0.00456	
เกณฑ์ตัดสิน (%) \leq :												0.02	
ผลการตัดสิน :												ผ่าน	



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	26/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

12. เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบความเที่ยง

12.1. ขวดแก้วกัณโป่งแบบขีดชั้นหมายมาตราเดียว (Volumetric flask with single gauge mark) พิกัดกำลัง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) ถึง 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) ตาม OIML R 4; 1972 ต้องมีผลการสอบเทียบไม่เกินอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด ดังต่อไปนี้

พิกัดกำลัง ความจุ (ml or cm ³)	อัตราเพื่อเหลือเพื่อขาดที่ยอมให้ได้สูงสุด (± ml or cm ³)	
	Class A	Class B
50	0.06	0.12
100	0.10	0.20
200	0.15	0.30
250	0.15	0.30
500	0.25	0.50
1000	0.40	0.80

- 12.2. ความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability) ไม่เกิน 0.02%
- 12.3. ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ไม่เกิน 1/3 เท่าของอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด หรือ หากค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่าเกินกว่าที่กำหนดแต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.5
- 12.4. ค่าผลผิด (Error) คือผลต่างค่าปริมาณที่วัดได้เทียบกับค่าปริมาณของแบบมาตราไม่เกิน 2/3 เท่าของอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด หรือหากค่าผลผิดมีค่าเกิน 2/3 เท่าของอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด แต่ต้องเป็นไปตามข้อ 12.5
- 12.5. ผลรวมสัมบูรณ์ของค่าความไม่แน่นอนของการวัด และค่าผลผิด (Error) ไม่เกินอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด ตามที่กำหนดไว้ใน กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2546 และ/หรือ OIML R 4; 1972

สรุป เครื่องตวง ต้องให้ผลการสอบเทียบครบทั้ง 5 เงื่อนไขจึงถือว่าผ่านการสอบเทียบ อย่างไรก็ตาม ให้พิจารณาตามความเหมาะสมและการนำไปใช้ของเครื่องตวงนั้นๆ ด้วย โดยดูคลยพินิจและการตัดสินใจของหัวหน้าห้องปฏิบัติการ

13. แบบฟอร์ม สำหรับการปฏิบัติงานสอบเทียบเครื่องตวง

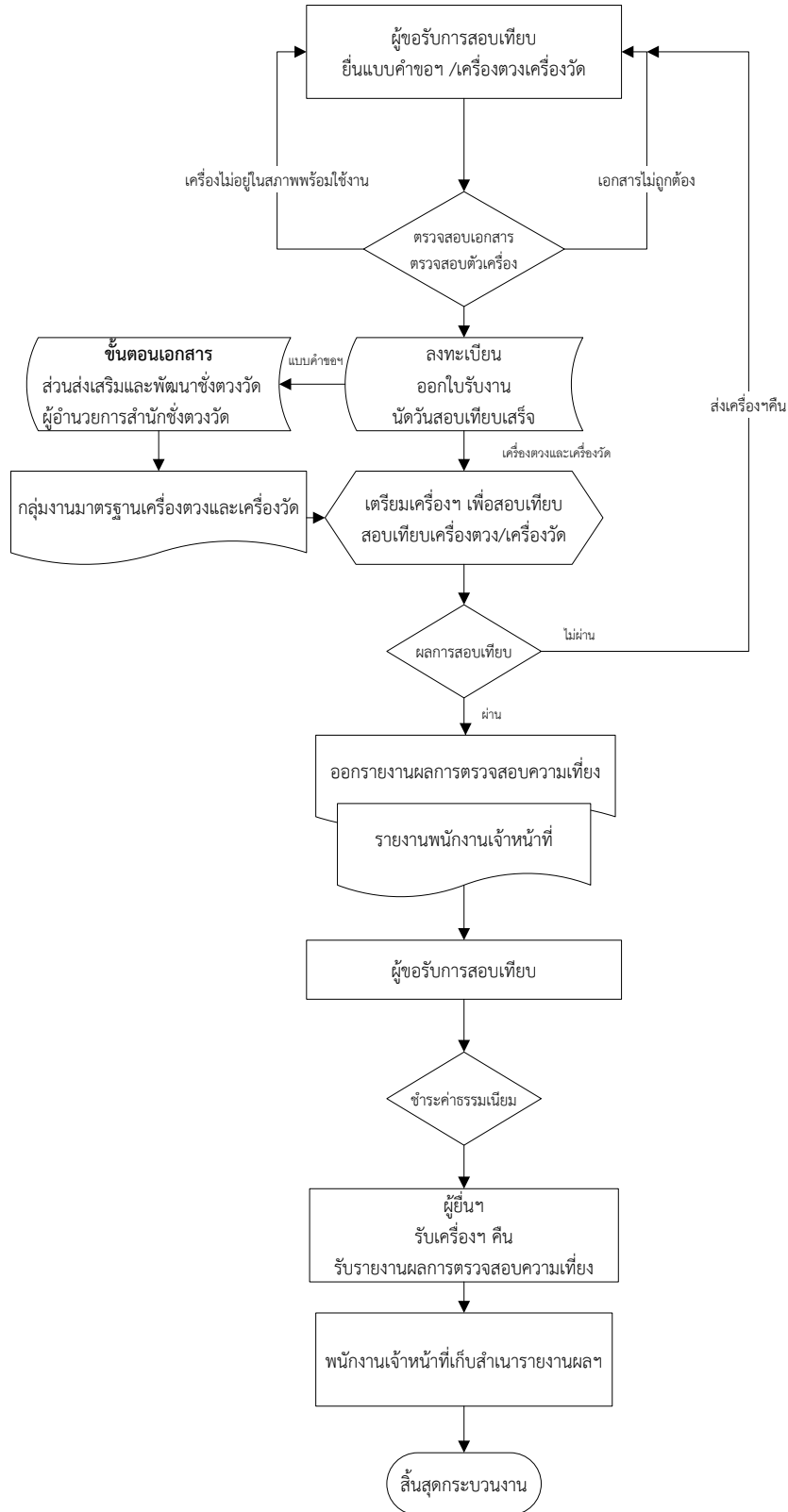
แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ

WS-VOL-1010



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	27/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

14. ผังแสดงทางเดินงานและเอกสาร



 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101 ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	28/32
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

15. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

- 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, 34001S-OCE
- 15.3. OPT-VOL-004 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermoprobe รุ่น TP-7
- 15.4. OPT-VOL-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 15.5. OPT-VOL-006 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่อมน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลัง 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)

 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101 ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	29/32
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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. **ASTM E542-01 (Reapprovaed 2012)** : Standard Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus
4. **M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 1**, UKAS (United Kingdom Accreditation Service), December 2007
5. **OIML R 4; Edition 1972(E)** : Volumetric Flask (one mark) in Glass
6. **OIML R 43; Edition 1981(E)** : Standard Graduated Flasks for Verification Officers
7. **OIML R 111, Edition 2004(E)** : Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃ ,Part 1: Metrological and technical requirements
8. **คู่มือการเลือกวัสดุ (Material Selecting Quick Reference)** , บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2533
9. **การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร, วีระศักดิ์ วิสุทธารธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ และเมตตา เนียมเปรม,** สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์
10. **นานาสาระชั่งตวงวัด, จรินทร์ สุทธารักษ์ และ สาธิต ชูสุวรรณ,** สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์
11. **การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighting Instruments), วีระศักดิ์ วิสุทธารธรรม, จรินทร์ สุทธารักษ์, โสภณ โอภาสภิตติ และสาธิต ชูสุวรรณ,** สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์

 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101 ขวดแก้วก้นโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการใช้ชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	30/32
		ผู้ทบทวน	คณะกรรมการวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

เอกสารแนบ

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



ชตว
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-101

ขวดแก้วกันโป่ง (Flasks) พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	31/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)



สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

CENTRAL BUREAU OF WEIGHTS & MEASURES

สำนักชั่งตวงวัด

กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

รายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง (Calibration Report)

1/1

เลขที่รายงาน	1242(V)-57
Report No.	
วันที่สอบเทียบ	11 ธันวาคม 2556
Calibration Date	11 December 2013
สถานที่สอบเทียบ	สำนักชั่งตวงวัด
Calibration Place	CBWM, Nonthaburi, TH
เจ้าของเครื่องตวง	สำนักชั่งตวงวัด
Owner	CBWM, Nonthaburi, TH 44/100 ถนนพหลโยธิน 1 ต.บางกระสอ อ. เมือง จ.นนทบุรี 11000
เลขลำดับประจำเครื่อง	VF 100
CBWM Official No.	

ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก (Small Volume Measuring Device Data)

ประเภทเครื่องตวง	พลาสติก	
Type	Flask	
พิกัดกำลังเครื่องตวง	100	มล.
Capacity		ml
ชั้นความเที่ยง	-	มล.
Scale Interval (d)		ml
ชั้นความเที่ยง	Class A	
Class		
วัสดุที่ใช้ทำ	แก้ว Boronsilicate	
Fabricated Material		
ส.ป.ส.ขยายตัวตามความร้อน	0.00001	°C ⁻¹
Thermal Expansion Coefficient		
อุณหภูมิอ้างอิง	20	°C
Reference Temperature		
ประเภทการใช้งาน	แบบรับ	
Measure Constructed	To Contain	
ระยะเวลาถ่ายน้ำ	30	วินาที
Drainage Time		Second
ตัวกลางสอบเทียบ	น้ำกลั่นสองครั้ง	
Calibration Media	Double-Distilled Water	

สภาวะแวดล้อม (Environment)

อุณหภูมิ	25 ± 3	°C
Temperature		
ความชื้นสัมพัทธ์	50 ± 15	%RH
Relative Humidity		
ความดันบรรยากาศ	1010 ± 20	hPa
Atmosphere Pressure		

วิธีการสอบเทียบ (Calibration Procedure)

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ เลขที่ SOP-VOL-101 : ขวดแก้วกันโป่ง พิกัดกำลัง 50 มิลลิลิตร ถึง 1,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก
Based on Standard Operating Procedure No. SOP-VOL-101 : Gravimetric Calibration of Volumetric Flask in Glass with Electronic W&L.

แบบมาตรฐานอ้างอิงและเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ (Reference Standards and Instruments Used in Calibration)

คัมหนักแบบมาตรฐาน	เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	เครื่องวัดอุณหภูมิ
Standard Mass	Electronic Weighing Instrument	Temperature Device
หมายเลข	หมายเลข	หมายเลข
No.	No.	No.
SS13131	CPA 2245	8164
ความหนาแน่น	พิกัดกำลัง	ช่วงการวัด
Density	Max.	Measurement range
7.95 g/cm ³	220.00 กรัม	0-100 เซลเซียส
Class	ชั้นความเที่ยง	ความละเอียด
F1	e.	Resolution
	0.0001 กรัม	0.1 เซลเซียส

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

ผลการสอบเทียบ (Calibration Result)

พิกัดกำลัง / ปริมาตรแสดง	(มล.)	100
Capacity / Scale Mark	(ml)	
ปริมาตรแก้ไข 20 °C	(มล.)	-0.06
Corrected Volume @ 20 °C	(ml)	
ความสามารถในการทำซ้ำได้	(%)	0.005
Repeatability		
ความไม่แน่นอนของการวัด	(มล.)	0.027
Measurement Uncertainty	(ml)	

$$\text{Volume of Flask} = \text{Capacity / Scale Mark} + \text{Corrected Volume @ 20 °C}$$

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, providing confidence level approximately 95%.

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยง
Person in Charge
นายพิชิต บุญดิษฐ์
Mr. Phitsanu Boondit

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ
Head of Laboratory
นายพิชิต สิรินทรโสภณ
Mr. Pichit Sirintarasophon
27 ตุลาคม 2557

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	32/32
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	30 ตุลาคม 2557

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

