

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

Gravimetric Calibration of Graduated Cylinders in Glass with Electronic W&I.

จัดทำโดย	ผู้อนุมัติ
<hr/> <p>(นายพิชิต สิรินทรโสภณ) หัวหน้าห้องปฏิบัติการ</p>	<hr/> <p>(นายจรินทร์ สุทธนารักษ์) ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด</p>
ผู้ทบทวน	วันที่มีผลบังคับใช้
คณะบริหารวิชาการ TM	31 ตุลาคม 2557
<hr/> <p>(นายสาธิต ชูสุวรรณ) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด</p>	จำนวนหน้ารวม
<hr/> <p>(นายชาติรี อารีวงศ์) ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานเครื่องชั่ง</p>	38 หน้า
<hr/> <p>(นางภัทราภรณ์ สุรสิทธิ์) ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมและพัฒนาชั่งตวงวัด</p>	ปรับปรุงครั้งที่
	2

 ชตว CBWM กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	2/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

1. ขอบเขตการสอบเทียบ

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) ทั้งแบบ “รับ (to contain)” และ “จ่าย (to deliver)” พิกัดกำลัง 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) ถึง 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร)

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 ที่จำเป็นเพื่อให้ระบบเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องตวงพร้อมสำหรับการสอบเทียบ
2. ทำการสอบเทียบเครื่องตวง
3. ทำรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ : มีหน้าที่ต่อไปนี้

1. ตรวจสอบสภาพเครื่องตวง ที่นำมาสอบเทียบ
2. ตรวจสอบผลการคำนวณ ตรวจสอบรายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง ตัดสินผลการสอบเทียบ

5. แบบมาตรา

- 5.1 ตุ่มชั้นความเที่ยงแบบมาตรา F1 (OIML R-111)

 ชตา CBWM ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	3/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

6. กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) ที่ทำการสอบเทียบ

สาขาการวัด	พารามิเตอร์/พิสัย/รายการ	ขีดความสามารถของการวัดและการสอบเทียบ (\pm)	มาตรฐาน/เทคนิคที่ใช้/วิธี/เครื่องมือที่ใช้
กระบอแก้วแบบ ชิดชั้นหมายเลขมาตรา (Graduated Cylinders)	20 - 50 cm ³	0.033 cm ³	<i>In-house method :</i> SOP-VOL-102 based on OIML R 43: 1981
	> 50 - 100 cm ³	0.050 cm ³	
	> 100 - 250 cm ³	0.08 cm ³	
	> 250 - 400 cm ³	0.10 cm ³	
	> 400 - 600 cm ³	0.12 cm ³	
	> 600 - 1,000 cm ³	0.15 cm ³	
	> 1,000 - 2,000 cm ³	0.20 cm ³	

พิกัดกำลัง 25, 50, 100, 250, 500, 1000 และ 2000 cc พิกัดละ 5 จุด

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 หรือ 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. ถังมือผ้า
- 8.9. หลอดหยด (Dropper)
- 8.10. ถังเก็บน้ำกลั่น



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	4/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

9. รายละเอียดวิธีปฏิบัติ

- 9.1. เตรียมสถานะของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามที่กำหนด
- 9.2. จัดเตรียมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้เหมาะสม และเพียงพอ
- 9.3. นำเครื่องตวงและตุ้มน้ำหนักแบบมาตรามาพักอยู่ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- 9.4. ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิน้ำกลั่นกับหลอดแก้วพักน้ำ
- 9.5. เปิดเครื่องชั่งแบบมาตราเพื่ออุ่นเครื่องชั่งอย่างน้อย 30 นาที พร้อมตรวจสอบเครื่องชั่งดังนี้
 - 9.5.1. ตรวจสอบระดับน้ำประจำเครื่องชั่งให้ระดับ
 - 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. มีขีดหมายมาตรา (resolution) อ่านได้ละเอียดเพียงพอและต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่ยอมรับได้ในการสอบเทียบ (1/3 MPE) หรือควรมีค่าขีดหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ

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

เมื่อ

W = น้ำหนักของปริมาตรทดสอบ (g)

MPE = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรที่ต้องการทดสอบ (%)

9.9. กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) กรณีสอบเทียบแบบ “รับ” / “to contain” / “In” (O₁ - O₂ - O₃ - O₄)

- 9.9.1. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₁
หมายเหตุ ต้องสวมถุงมือทุกครั้งที่สัมผัสกับเครื่องตวง และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ขณะสอบเทียบ
- 9.9.2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง โดยตุ้มน้ำหนัก (M_s) ต้องมีค่ามากกว่าน้ำหนักเครื่องตวงรวมกับน้ำหนักของน้ำภายในเครื่องตวงเล็กน้อย บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O₂ ยกตุ้มน้ำหนัก (M_s) ออกจากเครื่องชั่ง
- 9.9.3. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง วางเครื่องตวงเปล่าที่แห้งสนิทลงบนเครื่องชั่ง จำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ บันทึกเป็นค่า O₃ (ใช้เป็นค่าน้ำหนักเครื่องตวงเปล่า O₃ ในแต่ละรอบการสอบเทียบ)
- 9.9.4. เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดขีดหมายมาตราที่แสดงเล็กน้อย
- 9.9.5. จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ห้องน้ำแตะขีดขีดหมายมาตราพอดี อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำในหลอดแก้วพักน้ำ
หมายเหตุ ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงแห้ง ก่อนชั่ง



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	5/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

- 9.9.6. นำเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4
- 9.9.7. นำเครื่องตวง ออกจากเครื่องชั่ง จากนั้นดูดน้ำออกจากเครื่องตวงให้ระดับน้ำต่ำกว่าขีดชั้นหมาย มาตราประมาณ 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
- 9.9.9. เมื่อดำเนินการสอบเทียบแล้วเสร็จ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น
- 9.9.10. หากเครื่องตวง มีหลายขีดชั้นหมายมาตรา ให้กำหนดปริมาตรทดสอบ ณ ตำแหน่งต่างๆโดยเฉลี่ย หรือระยะห่างเท่าๆ กัน ตามความเหมาะสมอย่างน้อย 5 ตำแหน่งตามความจุของเครื่องตวง ให้เริ่มทำซ้ำขั้นตอน 9.9.4 – 9.9.9 โดยเริ่มจากขีดชั้นหมายมาตราแสดงพิกัดที่กำหนดไว้ต่ำสุดจนถึงขีดชั้นหมายแสดงพิกัดกำลังของเครื่องตวง จนครบปริมาตร
- 9.9.11. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปคำนวณ

9.10. กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) กรณีสอบเทียบแบบ “จ่าย” / “to deliver” / “Ex” ($O_1 - O_2 - O_4 - O_3$)

- 9.10.1. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O_1
หมายเหตุ ต้องสวมถุงมือทุกครั้งสัมผัสกับเครื่องตวง และตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ขณะสอบเทียบ
- 9.10.2. วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง โดยตุ้มน้ำหนัก (M_s) ต้องมีค่ามากกว่า น้ำหนักเครื่องตวงรวมกับน้ำหนักของน้ำภายในเครื่องตวงเล็กน้อย บันทึกค่าที่อ่านได้ เป็นค่า O_2 ยกตุ้มน้ำหนัก (M_s) ออกจากเครื่องชั่ง
- 9.10.3. เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดชั้นหมายมาตราที่แสดงเล็กน้อย
- 9.10.4. จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ท้องน้ำแตะขีดชั้นหมายมาตราพอดี อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำในหลอดแก้วพักน้ำ
หมายเหตุ ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงแห้ง ก่อนชั่ง
- 9.10.5. นำเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4
- 9.10.6. นำเครื่องตวงออกจากเครื่องชั่ง เทน้ำออกจากเครื่องตวง จนน้ำเริ่มกลายเป็นหยดให้จับเครื่องตวง อยู่ในแนวตั้งโดยให้ปากเครื่องตวงอยู่ด้านล่างและจับเวลาถ่ายน้ำ (drain time) 30 วินาที นำเครื่องตวงมาวางตั้งและเช็ดพื้นผิวด้านนอกของเครื่องตวงให้แห้ง
- 9.10.7. นำเครื่องตวงไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_3
- 9.10.8. ทำซ้ำขั้นตอน 9.10.1 -9.10.7 จนครบ 4 ครั้ง
- 9.10.9. เมื่อดำเนินการสอบเทียบแล้วเสร็จ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น
- 9.10.10. หากเครื่องตวง มีหลายขีดชั้นหมายมาตรา ให้กำหนดปริมาตรทดสอบ ณ ตำแหน่งต่างๆโดยเฉลี่ย หรือระยะห่างเท่าๆ กัน ตามความเหมาะสมอย่างน้อย 5 ตำแหน่งตามความจุของเครื่องตวง ให้เริ่มทำซ้ำขั้นตอน 9.10.4 – 9.10.9 โดยเริ่มจากขีดชั้นหมายมาตราแสดงพิกัดที่กำหนดไว้ต่ำสุดจนถึงขีดชั้นหมายแสดงพิกัดกำลังของเครื่องตวง จนครบปริมาตร
- 9.10.11. นำข้อมูลที่บันทึกในแบบฟอร์มไปคำนวณ



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	6/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

10. การคำนวณผลการสอบเทียบกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders)

10.1. การคำนวณหาค่าปริมาตรของเครื่องตวง ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกันในแต่ละครั้งของการสอบเทียบ มีรายละเอียดดังนี้

10.1.1. การคำนวณหาค่าปริมาตรของเครื่องตวง ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสอบเทียบที่สำคัญ คือ

- ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainties) ของตม้มน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบหรือสอบเทียบเครื่องชั่ง
- แรยยกตัวของอากาศ (Air Buoyancy)
- การแก้ไขค่าการขยายตัวของเครื่องตวง (Thermal Expansion Correction)

มาพิจารณาเพื่อทำการชั่งน้ำหนักของน้ำเปรียบเทียบกับตม้มน้ำหนักแบบมาตราด้วยเครื่องชั่งชนิดสองแขน 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 = มวลของตม้มน้ำหนักมาตรฐาน, Kg (g)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำขณะชั่ง, Kg/m³ (g/cm³)

ρ_s = ความหนาแน่นของตม้มน้ำหนักมาตรฐาน, Kg/m³ (g/cm³)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศขณะชั่ง, Kg/m³ (g/cm³)

V_w = ปริมาตรของน้ำขณะชั่ง, m³ (cm³)

V_s = ปริมาตรของตม้มน้ำหนักมาตรฐาน, 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

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

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

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

เนื่องจากปริมาตรน้ำที่อุณหภูมิสอบเทียบหาได้จากค่าน้ำหนักของน้ำหารด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมินั้น

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

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

คำนวณปริมาตรที่สภาวะขณะทำการสอบเทียบแต่ละครั้งของการสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์) พออนุโลมและเทียบเท่าเครื่องแบบ 2 แขน

 ชตว CBWM กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	7/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

หรือเครื่องชั่งที่มีตุ้มน้ำหนัก (Counter weights) การคำนวณปริมาตรในการสอบเทียบแต่ละครั้งจึงมีค่าเท่ากับ ($m_s = M_s$)

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

10.1.2. ความหนาแน่นของอากาศ¹ เนื่องจากสูตรหาความหนาแน่นของอากาศของ CIPM มีความถูกต้องสูงมากเกินไปและบ่อยครั้งพบว่าเกินความจำเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าประมาณด้วยสมการดังข้างล่างน่าจะเพียงพอ จึงใช้สมการ

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

เมื่อ

$$\rho_a = \text{ความหนาแน่นของอากาศ; kg/m}^3$$

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

h_r = ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (the relative air humidity); %

t = อุณหภูมิอากาศที่วัดได้ (the air temperature); °C

10.1.3. ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density)² คำนวณหาความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ได้ที่อุณหภูมิต่างๆได้จากสมการของ H. Wagenbreth และ W. Blanke , PTB โดยใช้สเกลอุณหภูมิ ITS-90 ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ (ρ) ที่ความดันบรรยากาศ (OIML R49-2: 2006(E), Annex F)

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

เมื่อ

$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำ} \quad \text{kg/m}^3$$

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

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

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

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

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

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

$$b = 1.6887236 \times 10^{-2} \quad \text{°C}^{-1}$$

$$t = \text{อุณหภูมิน้ำ, องศาเซลเซียส} \quad \text{°C}$$

10.1.4. ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา ได้จากใบรายงานผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนักรวมทั้งค่าแก้ไขและค่าความไม่แน่นอนการวัด (uncertainty)

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

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

 ชตา CBWM ระดับการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	8/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

10.1.5. เมื่อทราบค่า ตัวแปรต่างๆ ในสมการของการหาค่าปริมาตรที่สภาวะขณะทำการสอบเทียบแต่ละครั้งของกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) ในสมการ 10.1.1 แล้วจะได้ค่า V_{wt} ซึ่งเป็นค่าปริมาตรน้ำที่อุณหภูมิขณะชั่งซึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) ดังนั้นจำเป็นต้องทำการปรับค่าปริมาตร V_{wt} ไปยังค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง V_0 ด้วยตัวแปรแก้ไขค่าปริมาตร C_{ts} อันเนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) ดังนั้นจะได้ปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงและความดันอ้างอิง (ความดันบรรยากาศ) เท่ากับ

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

เมื่อ

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

C_{ts} = ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาตรสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกระทำต่อเครื่องตวง (the correction factor for the effect of temperature on steel)

γ = ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของเครื่องตวง ; / °C

t = อุณหภูมิของเหลวขณะชั่ง , °C

t_0 = อุณหภูมิอ้างอิงของเครื่องตวง (20), °C

ดังนั้น

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

ตาราง ค่าการขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องตวงขนาดเล็ก; / °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}

ในการสอบเทียบเครื่องตวงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบหาค่า V_{wt} เป็นจำนวนหลายครั้ง ยิ่งทำการสอบเทียบจำนวนครั้งยิ่งมากความแม่นยำถูกต้องยิ่งน่าเชื่อถือมาก ดังนั้นเมื่อหาค่าปริมาตรที่คำนวณได้ในแต่ละครั้ง ให้นำค่าดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ย \bar{V}_{wt} ก่อนนำไปปรับค่าเป็นปริมาตรที่สภาวะอ้างอิง หรือหากอุณหภูมิของน้ำที่ทำการชั่งมีการเปลี่ยนแปลง ก็สามารถทำการปรับค่าปริมาตรที่ชั่งน้ำหนักได้ไปยังปริมาตรอ้างอิงแต่ละครั้ง จากนั้นนำค่าปริมาตรอ้างอิงของแต่ละครั้ง มาเฉลี่ยหาค่าเป็นปริมาตรอ้างอิงเฉลี่ยของการสอบเทียบ



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	9/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

10.1.6. ในกรณีกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) หลังจากคำนวณหาปริมาตรอ้างอิงของแต่ละครั้งมาเฉลี่ยหาค่าเป็นปริมาตรอ้างอิงเฉลี่ยของการสอบเทียบ

10.2. การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าในการสอบเทียบ (Standard Uncertainty) โดยยึดเอาสมการการหาค่าปริมาตรอ้างอิงของกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) ในที่นี้สมมติให้อุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ 20 °C

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

ดังนั้นความไม่แน่นอนของการวัด จากสมการการหาค่าปริมาตรของกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) จึงมีค่าเท่ากับ

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

การรายงานค่าผลการสอบเทียบกระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) มีค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงด้วยค่าความไม่แน่นอน ที่ระดับความมั่นใจ 95%

$$V_0 \pm 2u_c \text{ มิลลิลิตร}$$

พิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

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

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

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

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

³ ในการทำ Partial diff. ใช้โปรแกรม MathCAD



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	10/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

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

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนของความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราจากวิธีการที่รัฐนิตวัสดุที่ใช้ทำตุ้มแบบมาตรา 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}	$\pm 150 \text{ kg m}^{-3}$
Nickel silver	8 600 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Brass	8 400 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Stainless steel	7 950 kg m^{-3}	$\pm 140 \text{ kg m}^{-3}$
Carbon steel	7 700 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Iron	7 800 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Cast iron (white)	7 700 kg m^{-3}	$\pm 400 \text{ kg m}^{-3}$
Cast iron (grey)	7 100 kg m^{-3}	$\pm 600 \text{ kg m}^{-3}$
Aluminum	2 700 kg m^{-3}	$\pm 130 \text{ kg m}^{-3}$

ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีใช้ในสำนักชั่งตวงวัด สำหรับการสอบเทียบจะมีทั้ง stainless steel และ Brass

- Stainless steel มี uncertainty เท่ากับ 140 kg m^{-3}
- Brass มี uncertainty เท่ากับ 170 kg m^{-3}

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Normal

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

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของน้ำขึ้นอยู่กับค่าความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิ น้ำ ดังนั้น

$$u_{\rho_w} = c_{\rho_w(t_w)} \cdot u_{t_w} \text{ g/cm}^3$$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	11/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

$$c_{pw(tw)} = \frac{\partial \rho_w}{\partial t} = \frac{(16.952577 - 1.598102510^{-2} \times t_w - 1.387252710^{-4} \times t_w^2 + 4.233840410^{-7} \times t_w^3 - 1.405150310^{-9} \times t_w^4)}{(1 + 1.688723610^{-2} \times t_w)} - 1.688723610^{-2} \cdot \frac{(999.83952 + 16.952577 \times t_w - 7.990512710^{-3} \times t_w^2 - 4.624175710^{-5} \times t_w^3 + 1.058460110^{-7} \times t_w^4 - 2.810300610^{-10} \times t_w^5)}{(1 + 1.6887236 \cdot 10^{-2} \times t_w)^2}$$

kg/m³ 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_{pa}

- มี Sensitivity coefficient

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนค่าความหนาแน่นของอากาศ เนื่องจากสมการที่ใช้หาค่าความหนาแน่นของอากาศเกี่ยวข้องกับการวัดค่าความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นในการประเมินค่าความไม่แน่นอนจึงต้องทำการประเมินย่อยลงไปอีกระดับหนึ่งจากสมการ

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

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

ประเมินอิทธิพลที่มีผลต่อการวัดค่าความหนาแน่นของอากาศด้วยกัน 4 สาเหตุ

10.2.4.1. ค่าความไม่แน่นอนจากการสมการที่เลือกใช้

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

ค่าความไม่แน่นอนจากการใช้สมการภายใต้สภาวะเงื่อนไขสิ่งแวดล้อม

- $900 \text{ mbar} \leq p \leq 1100 \text{ mbar}$
- $10 \text{ }^\circ\text{C} \leq t \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- $h_r \leq 80\%$

ผลต่างสัมพัทธ์ของค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ด้วยสมการข้างบนเทียบกับค่าความหนาแน่นที่คำนวณตามคำแนะนำ CIPM จะมีค่าเท่ากับ

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

ดังนั้นเราจึงให้ค่าความไม่แน่นอนของการใช้สมการดังกล่าว เท่ากับ

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	12/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

10.2.4.2. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความกดดันอากาศ

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

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

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. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิ

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

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

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

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

10.2.4.4. ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

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

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	13/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

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

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

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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	14/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

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

- 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

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

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

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

- ประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องชั่ง

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

- 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)

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

เมื่อ

ΔI_s คือ ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงที่เครื่องชั่งแสดงเนื่องจากค้อนน้ำหนักทดสอบ (mg)

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

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

$u(m_s)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของ m_s



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	15/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

m_s คือ ค่าน้ำหนักของตุ้มทดสอบความรู้อีก

$u(\Delta I_S)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องที่แสดงเมื่อวางตุ้มน้ำหนักทดสอบความรู้อีก 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 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความเป็นแม่เหล็กของตุ้มน้ำหนักแบบมาตราที่มีค่าน้อยมาก 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



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	16/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

- 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

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

- เมื่อมีการใช้หลายตุ้มน้ำหนัก นำค่า uncertainty ของตุ้มแต่ละลูกจากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้ (กรณีที่ 2)

$$u_{sDrift} = U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sn} \quad \text{g}$$

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

- มี Probability distribution เป็นลักษณะ Rectangular



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	17/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

Budget Uncertainty (Cylinder 1,000 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	$\pm 0.002767 \text{ g}$ $u_s = U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sn}$ $= 0.002767 \text{ g}$	Normal	2	$c_s = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s} = \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_s - P_a}{P_s(P_w - P_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= 0.619894 \text{ cm}^3/\text{g}$	0.000858
u_{ps}	Standard uncertainty of density of the standard mass	0.14 g/cm ³	Normal	2	$c_{ps} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_s}$ $= (O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_a}{P_s^2(P_w - P_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= 0.018731 \text{ (cm}^3\text{)}^2/\text{g}$	0.001311
u_{pw}	Standard uncertainty of density of the water	$u_{pw'} = c_{pw}(t_w) \cdot u_{t_w'}$ $u_{t_w'} = 0.068196 \text{ }^\circ\text{C}$ (ตาราง 1) $c_{pw}(t_w) = -0.246483534 \text{ kg/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$ $u_{pw} = -0.016809 \text{ kg/m}^3$ $= -0.000016809 \text{ g/cm}^3$	Normal	1	$c_{pw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_w}$ $= -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_s - P_a}{P_s(P_w - P_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ $= -1001.9348 \text{ (cm}^3\text{)}^2/\text{g}$	-0.016842
u_{pa}	Standard uncertainty of density of the air	$u_{pa} = 0.000015623 \text{ g/cm}^3$ (ตาราง 2)	Normal	1	$c_{pa} = \frac{\partial V_{20}}{\partial \rho_a}$ $= (O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_s - P_w}{P_s(P_w - P_a)^2} \right) (1 - \gamma(t_w - 20))$ $= 876.377546 \text{ (cm}^3\text{)}^2/\text{g}$	0.013692
u_{tw}	Standard uncertainty of temperature of the water	$u_{tw} = 0.068196 \text{ }^\circ\text{C}$ (ตาราง 1)	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{tw} = \frac{\partial V_{20}}{\partial t_w}$ $= -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_s - P_a}{P_s(P_w - P_a)} \right) (\gamma)$ $= -0.009981$	-0.000393
u_γ	Standard uncertainty of cubical thermal expansion of the material of the measure	$u_\gamma = 0.5 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_\gamma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \gamma}$ $= -(O_4 - O_3) \left(\frac{M_s}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{P_s - P_a}{P_s(P_w - P_a)} \right) (t_w - 20)$ $= -4012.246966 \text{ cm}^3\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	-0.011582
u_σ	Standard uncertainty from the measurement	$u_R = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.0114442 \text{ cm}^3$	Normal	1	$c_\sigma = \frac{\partial V_{20}}{\partial \sigma} = 1$	0.0114442



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	18/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

Symbol	Source of uncertainty	Value $\pm g, \pm g/cm^3, \pm ^\circ C, \pm ^\circ C^{-1}$	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c)	Standard Uncertainty (u) (cm^3)
u_{ba}	Standard uncertainty of balance	u_{ba} = 0.010282 (ตาราง 6)	Normal	1	$c_{ba} = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s (\rho_w - \rho_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ = 0.619894	0.006374
u_{s Drift}	Drift (Weights Standard)	$u_{s, Drift} = U_{s1} + U_{s2} + \dots + U_{sn}$ = 0.002767 g	Rectangular	$\sqrt{3}$	$c_{s, Drift} = \frac{\partial V_{20}}{\partial M_s}$ $= \left(\frac{O_4 - O_3}{O_2 - O_1} \right) \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s (\rho_w - \rho_a)} \right) [1 - \gamma(t_w - 20)]$ = 0.619894 cm^3/g	0.00099
u	Combine standard uncertainty		Normal			0.02794
U	Expand uncertainty		Normal (k=2)			0.05588



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	19/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

(ตาราง 1) Standard uncertainty of temperature of the water ($^{\circ}\text{C}$) ; u_{tw}

Symbol	Source of uncertainty	Value \pm $^{\circ}\text{C}$	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) ($^{\circ}\text{C}$)
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	$u_{tw3} = \frac{t_w^+ - t_w^-}{2\sqrt{3}} = 0.057735$
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 \pm	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient (c_i)	Standard Uncertainty (u_i) (kg/m^3)
u_F	Equation of air density	$u_F = 2 \times 10^{-4} \cdot \rho_a = 0.000237 \text{ kg}/\text{m}^3$	Normal	1	1	$= 0.000237$
u_p	Atmospheric pressure	$u_p = \sqrt{u_{p1}^2 + u_{p2}^2 + u_{p3}^2}$ $= 11.555806 \text{ hPa}$	Normal	1	$c_{pa(p)} = \frac{\partial \rho_a(p)}{\partial p} = \frac{0.34843}{(273.15 + t)}$	$= 0.013634295$
u_t	Atmospheric temperature	$u_t = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2}$ $= 1.745583 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Normal	1	$c_{pa(t)} = \frac{\partial \rho_a(t)}{\partial t} = \frac{-0.34848 \cdot p}{(273.15 + t)^2} - \left[\frac{e \cdot 0.0613 \cdot (-0.14182 + 0.0005523t)}{(273.15 + t)^2} \right]$ $= -0.004337$	$= -0.0075705$
u_h	Atmospheric humidity	$u_h = \sqrt{u_{h1}^2 + u_{h2}^2 + u_{h3}^2}$ $= 8.697174 \%$	Normal	1	$c_{pa(h)} = \frac{\partial \rho_a(h)}{\partial h} = \frac{-0.009024 e^{0.0612t}}{(273.15 + t)}$ $= -0.000119$	$= -0.0010349$
u_{pa}	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{pa} = \sqrt{(u_F)^2 + (u_p)^2 + (u_t)^2 + (u_h)^2}$ $= 0.015623 \text{ kg}/\text{m}^3$ $= 0.000015623 \text{ g}/\text{cm}^3$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	20/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

(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			$u_t = \sqrt{0.215^2 + 0.028868^2 + 1.732051^2} = 1.745583$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	21/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

(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	$= 0.0017010979$
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	$u_E = \frac{d_1 \times D}{d_2 \times \sqrt{3}} = 0.00972069$
u_{ba}	Combine standard uncertainty		Normal			$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2} + u_{\max}^2 = 0.010282$



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	22/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

10.3. การคำนวณหาความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability) ค่าความสามารถทำซ้ำได้ (Repeatability) ของเครื่องตวงขนาดเล็กแบบมาตราต้องมีความสามารถในการแสดงค่าซ้ำได้ไม่เกิน 0.02 % คัดจาก

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

เมื่อ

$(V_0)_{\max}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงขนาดเล็กค่ามากที่สุดในการสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

$(V_0)_{\min}$ = เป็นปริมาตรเครื่องตวงขนาดเล็กค่าน้อยที่สุดในการสอบเทียบที่สภาวะอ้างอิง

11. ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างการแสดงวิธีการคำนวณในที่นี้เป็นการสอบเทียบเครื่องตวง กระบอกตวง

- พิกัดกำลัง 1,000 มิลลิลิตร
- ทำด้วยวัสดุ แก้ว Borosilicate
- อุณหภูมิอ้างอิง 20 °C
- ลักษณะการใช้งาน แบบปรับ
- Drain time 30 วินาที
- ชีตชั้นหมายมาตราเล็กสุด 10 มิลลิลิตร

ในกระบอกตวงจะทำการสอบเทียบทั้งหมด 5 จุด ได้แก่ 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ml

- ดำเนินการสอบเทียบตามขั้นตอน การสอบเทียบแบบปรับในจุดแรกก่อนคือ 200 ml กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่อ่านได้ บันทึกเป็นค่า O_1 เท่ากับ 0
- วางตุ้มน้ำหนักแบบมาตราลงบนส่วนรับน้ำหนักเครื่องชั่ง บันทึกเป็นค่า O_2 โดยใช้ตุ้มน้ำหนักแบบมาตราทั้งหมด 5 ต้ม รวมกันแล้วเท่ากับ 812.00 กรัม นำค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้มและ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานสอบเทียบตุ้มน้ำหนักแบบมาตรา สรุปแล้วได้เท่ากับ

— ค่าน้ำหนักตุ้ม	812.00 กรัม
— ค่าแก้ไขน้ำหนักตุ้ม	0.001411 มิลลิกรัม
— ค่าความไม่แน่นอนน้ำหนักตุ้มรวม	0.001437 มิลลิกรัม
- กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง วางเครื่องตวงเปล่าที่แห้งสนิทพร้อมปิดฝา ลงบนเครื่องชั่ง จำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ บันทึกเป็นค่า O_3 (ใช้เป็นค่าน้ำหนักเครื่องตวงเปล่า O_3 ในแต่ละรอบการสอบเทียบ และใช้ค่านี้นในทุกๆจุดที่สอบเทียบ) เท่ากับ 613.90
- เติมน้ำลงในเครื่องตวงจนระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าจุดขีดชั้นหมายมาตราที่จะสอบเทียบ (จุดแรก 200 ml) เล็กน้อย
- ค่อยๆ เติมน้ำลงไปเพื่อให้ห้องน้ำและขีดชั้นหมายมาตราที่จะสอบเทียบพอดี บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 24 °C แต่ปรับแก้ไขค่าเครื่องวัดอุณหภูมิ SLW หมายเลข 8164 จะได้ค่าอุณหภูมิเท่ากับ 24.02 °C ซึ่งจะนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณ
- นำเครื่องตวง ที่มีน้ำอยู่ไปชั่งน้ำหนัก อ่านและบันทึกค่าน้ำหนักที่เป็นค่า O_4 เท่ากับ 811.88 กรัม



ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	23/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

7. บันทึกเวลา อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย $22.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $48.30\text{ }\%$ และความกดดันอากาศเฉลี่ย 1010.67 hPa เมื่อเริ่มและเสร็จสิ้นการสอบเทียบ (จุดแรกที่ทำกรสอบเทียบ)

8. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวง ที่อุณหภูมิอ้างอิง $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

8.1. น้ำหนักที่ชั่งได้

$$O_4 - O_3 = 197.98 \quad \text{กรัม}$$

$$O_2 - O_1 = 812 \quad \text{กรัม}$$

8.2. ข้อมูลตม้้น้ำหนักแบบมาตรา

$$M_s = 812.001 \quad \text{กรัม}$$

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

8.3. คำนวณหาค่าความหนาแน่นอากาศ

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

เมื่อ

$$t = 22.78\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_r = 48.30\text{ }\%$$

$$p = 1010.67\text{ hPa}$$

แทนค่า

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times (1010.67) - 0.009024 \times (48.30) \times e^{(0.0612 \times 22.78)}}{273.15 + (22.78)} = 0.001184\text{ g/cm}^3$$

8.4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิวัดได้ $t_w = 24.02\text{ }^{\circ}\text{C}$

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

$$\rho_w = 0.99729 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

8.5. คำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องตวง เมื่อใช้น้ำเป็นตัวกลางสอบเทียบที่อุณหภูมิวัดได้

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

$$V_{wt} = (197.98) \times \left(\frac{812.001}{812} \right) \times \left(1 - \frac{0.001184}{7.95} \right) \times \left(\frac{1}{0.99729 - 0.001184} \right) = 19872459\text{ cm}^3$$

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

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

$$V_0 = 1987166\text{ cm}^3$$

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

$$\bar{V}_0 = 19871259\text{ cm}^3$$

8.8. คำนวณหาค่า Repeatability .ในการสอบเทียบทั้ง 5 ครั้ง



ชตว
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	24/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

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

$$\text{Repeatability} = \frac{19872664 - 19869653}{19869653} \times 100 = 0.015 \%$$

- 8.9. คำนวณผลอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาดกระบอกตวง ที่ปริมาตร 200 ml มีอัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด 5 ml แต่เนื่องจากบนขีดขึ้นหมายมาตรกระบอกตวงที่จะวัดบอกปริมาตรจริงเท่ากับ 200.00 ml สำหรับปริมาตรที่สอบเทียบได้เท่ากับ 198.71259 ml
ผลต่าง $200.00 - 198.71259 = 1.28741$ ml ผ่าน

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

$$\text{Uncertainty} \leq \frac{MPE}{3} = \frac{5}{3} = 1.667 \text{ ml}$$

$$\text{Uncertainty} = 0.015 \text{ ml (mm}^3) < 1.667 \text{ ml}$$
 ผ่าน

10. ทำการสอบเทียบในจุดต่อไปอีกสี่จุดและคำนวณตามขั้นตอนข้อที่ 1- 9

ANS



ชตา
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	25/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

ชตา 101 การสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก (เครื่องแก้ว) Pyknometer และลูกชั่ง โดยวิธีชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก (Small-Volume Measuring Device Data)

ชชนิด	กระบอกแก้ว	Cylinder
หมายเลขเครื่อง	SD 1000	
พิกัดกำลัง	1000	
ขีดหมายมาตรา (d)	มด.	ถ้าเครื่องตวงเป็นขีดขีดหมายมาตราเดียว ให้ใส่ค่าขีดหมายมาตราเท่ากับ "d" หรือ "•"
ชั้นความเที่ยง	10	
วัสดุที่ใช้ทำ	Class A	
ส.ป.ส.การขยายตัวตามความร้อน	แก้ว Borosilicate	
อุณหภูมิอ้างอิง	0.00001	
หมายเลขชั่ง	20	องศาเซลเซียส

ข้อมูลตัวนำหนักแบบมาตรา :

หมายเลขเครื่อง	SS13131
ความหนาแน่น	7.95
ชั้นความเที่ยง (OIML R11)	F1
ชั้นความเที่ยง	3
หมายเลขเครื่อง	LA 6200S-OCE
พิกัดกำลัง	6200
ขีดหมายมาตราตรงรับรอง (e)	0.1
ชั้นความเที่ยง (OIML R76)	II
Balance Uncertainty (g)	0.010282

ข้อมูลเทอร์โมมิเตอร์ :

หมายเลข	8164
ชนิด	แท่งแก้ว
ช่วงการวัด	0-100
ขีดชั้นหมายมาตราต่ำสุด	0.1

ข้อมูลเทอร์โมมิเตอร์ :

จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
200	400	600	800	1000

เงื่อนไขสอบเทียบ :

สอบเทียบเครื่องตวง

ระยะเวลาถ่ายน้ำ

ตัวกลางสอบเทียบ

สภาวะห้องปฏิบัติการ :

อุณหภูมิห้อง (°C)

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

ความดันบรรยากาศ (kPa)

แบบรับ	วันที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	รวม (n.)
30		22.78	22.47	22.42	22.42	22.32	22.32	22.42	44.64	44.02	1010.32	1010.17
น้ำหนักสองครั้ง		48.30	45.67	42.78	1010.37	1010.47	1010.32	1010.32	1010.32	1010.32	1010.32	1010.17

จำนวนขีดชั้นหมายมาตราที่สอบเทียบ (5 จุด)

พิกัดกำลัง	1000 มด.
พิกัดกำลัง	200 มด.

พิกัดกำลัง	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
หน่วย	มด.	มด.	มด.	มด.	มด.
ค่าน้ำหนักที่แสดง	500.00	200.00	100.00	10.00	2.00
ค่าแก้ไขน้ำหนักชั่ง	0.7	0.37	0.2	0.095	0.046
ค่าน้ำหนักชั่งที่แก้ไขแล้ว (M _i)	500.0007	200.00037	100.0002	10.000095	2.000046
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	0.83	0.33	0.17	0.067	0.04

ผลการสอบเทียบ

ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4

หน่วย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
O ₁ เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
O ₂ น้ำหนักที่ชั่งแบบมาตรา (มากกว่า O ₁ เล็กน้อย)	812.0000	812.0000	812.0000	812.0000	812.0000
O ₃ น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000
O ₄ น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	811.8800	811.8900	811.8600	811.8800	811.8700
t _w อุณหภูมิน้ำ	24	24	24	24	24
อุณหภูมิน้ำหลังจากแก้ไขค่า	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02

บันทึกผลการห้องปฏิบัติการ 1/5

เริ่ม (Max)	เสร็จ (Min)
เวลา 13.05	15.55 น.
อุณหภูมิ 23	องศาเซลเซียส 22.7
ความชื้นสัมพัทธ์ 51.3	เปอร์เซ็นต์ 45
ความดันบรรยากาศ 1010.1	เฮกโตปาสคาล 1009.9



ชตา
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	26/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

2. ทดสอบที่ขีดขณมยมาตรชาติที่ 2		พิกัดกำลัง 1000 มล.									
ค่าน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้สอบเทียบ		400 มล.									
หน่วย	คิมที่ 1	คิมที่ 2	คิมที่ 3	คิมที่ 4	คิมที่ 5	คิมที่ 6	คิมที่ 7	คิมที่ 8	คิมที่ 9	คิมที่ 10	รวม (ก.)
ค่าน้ำหนักคิมที่แสดง	ก.	1,000.00	10.00	2.00							1,012.000
ค่าแก้ไขน้ำหนักคิม	มก.	1.5	0.095	0.046							0.001641
ค่าน้ำหนักคิมที่แก้ไขแล้ว (M _i)	ก.	1000.0015	10.000095	2.000046							1,012.0020
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก.	1.7	0.067	0.04							0.001807
ผลการสอบเทียบ											
ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4											
หน่วย	ทวอย	คิมที่ 1	คิมที่ 2	คิมที่ 3	คิมที่ 4	คิมที่ 5	บันทึกสภาวะห้องปฏิบัติการ 2/5				
O ₁	เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	ก.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	คิมที่ 5	เริ่ม (Max)	เสร็จ (Min)		
O ₂	น้ำหนักคิมแบบมาตรา (มากกว่า O ₄ เล็กน้อย)	ก.	1012.0000	1012.0000	1012.0000	1012.0000	0.0000	13.05	15.55	น.	
O ₃	น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	ก.	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	1012.0000	22.7	22.4	องศาเซลเซียส	
O ₄	น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	ก.	1010.9500	1010.9000	1010.9700	1010.9200	613.9000	45	46.2	เปอร์เซ็นต์	
t _w	อุณหภูมิน้ำ	องศาเซลเซียส	24	24	24	24	1010.9600	1009.9	1009.7	เฮกโตปาสกาล	
	อุณหภูมิน้ำหลังจากแก้ไขค่า	องศาเซลเซียส	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02				

3. ทดสอบที่ขีดขณมยมาตรชาติที่ 3		พิกัดกำลัง 1000 มล.									
ค่าน้ำหนักแบบมาตราที่ใช้สอบเทียบ		600 มล.									
หน่วย	คิมที่ 1	คิมที่ 2	คิมที่ 3	คิมที่ 4	คิมที่ 5	คิมที่ 6	คิมที่ 7	คิมที่ 8	คิมที่ 9	คิมที่ 10	รวม (ก.)
ค่าน้ำหนักคิมที่แสดง	ก.	1,000.00	200.00	10.00							1,210.000
ค่าแก้ไขน้ำหนักคิม	มก.	1.5	0.37	0.095							0.001965
ค่าน้ำหนักคิมที่แก้ไขแล้ว (M _i)	ก.	1000.0015	200.00037	10.000095							1,210.0020
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก.	1.7	0.33	0.067							0.002097
ผลการสอบเทียบ											
ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4											
หน่วย	ทวอย	คิมที่ 1	คิมที่ 2	คิมที่ 3	คิมที่ 4	คิมที่ 5	บันทึกสภาวะห้องปฏิบัติการ 3/5				
O ₁	เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	ก.	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	คิมที่ 5	เริ่ม (Max)	เสร็จ (Min)		
O ₂	น้ำหนักคิมแบบมาตรา (มากกว่า O ₄ เล็กน้อย)	ก.	1210.0000	1210.0000	1210.0000	1210.0000	0.0000	13.05	15.55	น.	
O ₃	น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	ก.	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	1210.0000	22.4	22.6	องศาเซลเซียส	
O ₄	น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	ก.	1209.1900	1209.2600	1209.2300	1209.1500	613.9000	46.2	39.4	เปอร์เซ็นต์	
t _w	อุณหภูมิน้ำ	องศาเซลเซียส	24	24	24	24	1209.2000	1009.7	1009.7	เฮกโตปาสกาล	
	อุณหภูมิน้ำหลังจากแก้ไขค่า	องศาเซลเซียส	24.02	23.98	24.02	24.02	24.02				



ชตว
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	27/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

4. ทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแบบมาตรที่ใช้สอบเทียบ		พิกัดกำลัง 1000 มล.									
		800 มล.									
หน่วย	ดรัมที่ 1	ดรัมที่ 2	ดรัมที่ 3	ดรัมที่ 4	ดรัมที่ 5	ดรัมที่ 6	ดรัมที่ 7	ดรัมที่ 8	ดรัมที่ 9	รวม (n.)	
ค่าน้ำหนักดรัมที่แสดง	ก. 1,000.00	200.00	200.00	10.00						1,410.000	
ค่าแก้ไขน้ำหนักดรัม	มก. 1.5	0.37	0.37	0.095						0.002335	
ค่าน้ำหนักดรัมที่แก้ไขแล้ว (M _i)	ก. 1000.0015	200.00037	200.00037	10.000095						1,410.0020	
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก. 1.7	0.33	0.33	0.067						0.002427	

ผลการสอบเทียบ		ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4									
หน่วย	ดรัมที่ 1	ดรัมที่ 2	ดรัมที่ 3	ดรัมที่ 4	ดรัมที่ 5	ดรัมที่ 6	ดรัมที่ 7	ดรัมที่ 8	ดรัมที่ 9	รวม (n.)	
O ₁ เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	ก. 0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
O ₂ น้ำหนักศูนย์แบบมาตรา (มากกว่า O ₁ เล็กน้อย)	ก. 1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	1410.0000	
O ₃ น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	ก. 613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	
O ₄ น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	ก. 1408.1100	1408.0800	1408.1300	1408.1300	1408.1500	1408.1800	1408.1800	1408.1800	1408.1800	1408.1800	
t _w อุณหภูมิ	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
อุณหภูมิที่หลังจากแก้ไขค่า	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	

5. ทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแบบมาตรที่ใช้สอบเทียบ		พิกัดกำลัง 1000 มล.									
		1,000 มล.									
หน่วย	ดรัมที่ 1	ดรัมที่ 2	ดรัมที่ 3	ดรัมที่ 4	ดรัมที่ 5	ดรัมที่ 6	ดรัมที่ 7	ดรัมที่ 8	ดรัมที่ 9	รวม (n.)	
ค่าน้ำหนักดรัมที่แสดง	ก. 1,000.00	500.00	100.00	10.00						1,610.000	
ค่าแก้ไขน้ำหนักดรัม	มก. 1.5	0.7	0.2	0.095						0.002495	
ค่าน้ำหนักดรัมที่แก้ไขแล้ว (M _i)	ก. 1000.0015	500.0007	100.0002	10.000095						1,610.0020	
ค่าความไม่แน่นอน (k=2)	มก. 1.7	0.83	0.17	0.067						0.002767	

ผลการสอบเทียบ		ขั้นตอน O1 - O2 - O3 - O4									
หน่วย	ดรัมที่ 1	ดรัมที่ 2	ดรัมที่ 3	ดรัมที่ 4	ดรัมที่ 5	ดรัมที่ 6	ดรัมที่ 7	ดรัมที่ 8	ดรัมที่ 9	รวม (n.)	
O ₁ เครื่องชั่งแสดงค่าน้ำหนักศูนย์ (Set Zero)	ก. 0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
O ₂ น้ำหนักศูนย์แบบมาตรา (มากกว่า O ₁ เล็กน้อย)	ก. 1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	1610.0000	
O ₃ น้ำหนักเครื่องแก้วเปล่า	ก. 613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	613.9000	
O ₄ น้ำหนักเครื่องแก้ว+น้ำ	ก. 1608.2200	1608.1800	1608.1700	1608.2300	1608.2300	1608.2000	1608.2000	1608.2000	1608.2000	1608.2000	
t _w อุณหภูมิ	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
อุณหภูมิที่หลังจากแก้ไขค่า	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	24.02	

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ



ชตา
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	28/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

คำนวณผลการสอบเทียบเครื่องชั่งขนาดเล็ก (เครื่องแก้ว) และลูกชั่งโดยวิธีชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ กระบอกแก้ว

*** ASTM E542-01(2012)

ผลการสอบเทียบทดสอบที่ดัชนีหมายเลขที่ 1 200 มล. พิกัดกำลัง 1,000 มล.

ครั้งที่	O ₄ - O ₃ ก.	M _s ก.	O ₂ - O ₁ ก.	P _s ก./ลบ.ชม.	P _a ก./ลบ.ชม.	t _w องศาเซลเซียส	P _w ก./ลบ.ชม.	V _{tw} ลบ.ชม.	V _o ลบ.ชม.	σ _w ml/m	d ชม.	h _o ชม.	M _i /O ₂ - O ₁ *** < 1.0000013
ครั้งที่ 1	197.98	812.001	812	7.95	0.001184	24.02	0.99729	198.72459	198.7166				1.000001232
ครั้งที่ 2	197.99	812.001	812	7.95	0.001184	24.02	0.99729	198.73463	198.72664				1.000001232
ครั้งที่ 3	197.96	812.001	812	7.95	0.001184	24.02	0.99729	198.70452	198.69653				1.000001232
ครั้งที่ 4	197.98	812.001	812	7.95	0.001184	24.02	0.99729	198.72459	198.7166				1.000001232
ครั้งที่ 5	197.97	812.001	812	7.95	0.001184	24.02	0.99729	198.71455	198.70656				1.000001232

V_{o,avg} : 198.71259 ลบ.ชม.

Standard Division: 0.01144 ลบ.ชม.

ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (%) : 0.01515 0.03011

เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ 0.02

ผลการตัดสิน : ผ่าน

ผลการสอบเทียบทดสอบที่ดัชนีหมายเลขที่ 2 400 มล. พิกัดกำลัง 1,000 มล.

ครั้งที่	O ₄ - O ₃ ก.	M _s ก.	O ₂ - O ₁ ก.	P _s ก./ลบ.ชม.	P _a ก./ลบ.ชม.	t _w องศาเซลเซียส	P _w ก./ลบ.ชม.	V _{tw} ลบ.ชม.	V _o ลบ.ชม.	h ชม.	V _{cap} ลบ.ชม.	h _o ชม.	M _i /O ₂ - O ₁ < 1.0000013
ครั้งที่ 1	397.05	1012.002	1012	7.95	0.001186	24.02	0.99729	398.54428	398.52826				1.000001976
ครั้งที่ 2	397	1012.002	1012	7.95	0.001186	24.02	0.99729	398.49409	398.47807				1.000001976
ครั้งที่ 3	397.07	1012.002	1012	7.95	0.001186	24.02	0.99729	398.56436	398.54834				1.000001976
ครั้งที่ 4	397.02	1012.002	1012	7.95	0.001186	24.02	0.99729	398.51417	398.49815				1.000001976
ครั้งที่ 5	397.06	1012.002	1012	7.95	0.001186	24.02	0.99729	398.55432	398.5383				1.000001976

0

V_{o,avg} : 398.51822 ลบ.ชม.

Standard Division: 0.02927 ลบ.ชม.

ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (%) : 0.01763 0.07027

เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ 0.02

ผลการตัดสิน : ผ่าน



ชตา
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	29/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

3. ผลการสอบเทียบทดสอบที่ขีดขั้วหมายมาตราชี้ที่ 3 600 มล. พิกัดกำลัง 1,000 มล.

ครั้งที่	O ₄ - O ₃ ก.	M ₃ ก.	O ₂ - O ₁ ก.	ρ _s ก./ลบ.จม.	ρ _a ก./ลบ.จม.	t _w องศาเซลเซียส	ρ _w ก./ลบ.จม.	V _{sw} ลบ.จม.	V _o ลบ.จม.	h จม.	V _{cup} ลบ.จม.	h _o จม.	M _j /O ₂ - O ₁ < 1.0000013
ครั้งที่ 1	595.29	1210.002	1210	7.95	0.001186	24.02	0.99729	597.53015	597.50613				1.000001653
ครั้งที่ 2	595.36	1210.002	1210	7.95	0.001186	23.98	0.9973	597.59442	597.57064				1.000001653
ครั้งที่ 3	595.33	1210.002	1210	7.95	0.001186	24.02	0.99729	597.57031	597.54629				1.000001653
ครั้งที่ 4	595.25	1210.002	1210	7.95	0.001186	24.02	0.99729	597.49	597.46598				1.000001653
ครั้งที่ 5	595.3	1210.002	1210	7.95	0.001186	24.02	0.99729	597.54019	597.51617				1.000001653

V_{o,avg} : 597.52104
Standard Division: 0.03992

ค่าความสามารถในการทำได้ (%) : 0.01752
เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ 0.02
ผลการตัดสิน : ผ่าน

4. ผลการสอบเทียบทดสอบที่ขีดขั้วหมายมาตราชี้ที่ 4 800 มล. พิกัดกำลัง 1,000 มล.

ครั้งที่	O ₄ - O ₃ ก.	M ₃ ก.	O ₂ - O ₁ ก.	ρ _s ก./ลบ.จม.	ρ _a ก./ลบ.จม.	t _w องศาเซลเซียส	ρ _w ก./ลบ.จม.	V _{sw} ลบ.จม.	V _o ลบ.จม.	h จม.	V _{cup} ลบ.จม.	h _o จม.	M _j /O ₂ - O ₁ < 1.0000013
ครั้งที่ 1	794.21	1410.002	1410	7.95	0.001186	24.02	0.99729	797.19853	797.16648				1.000001418
ครั้งที่ 2	794.18	1410.002	1410	7.95	0.001186	24.02	0.99729	797.16842	797.13637				1.000001418
ครั้งที่ 3	794.23	1410.002	1410	7.95	0.001186	24.02	0.99729	797.2186	797.18655				1.000001418
ครั้งที่ 4	794.25	1410.002	1410	7.95	0.001186	24.02	0.99729	797.23868	797.20663				1.000001418
ครั้งที่ 5	794.28	1410.002	1410	7.95	0.001186	24.02	0.99729	797.26879	797.23674				1.000001418

V_{o,avg} : 797.18655
Standard Division: 0.03822

ค่าความสามารถในการทำได้ (%) : 0.01259
เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ 0.02
ผลการตัดสิน : ผ่าน



ชตว
CBWM

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102

กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

ปรับปรุงครั้งที่	2
หน้า/จำนวนรวม	30/38
ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

5. ผลการสอบเทียบทดสอบที่ขึ้นหมายเลขที่ 5

	1,000	1,000	พิกัดกำลัง	1,000	มล.								
	$O_4 - O_3$	M_5	$O_2 - O_1$	P_5	P_6	องศาเซลเซียส	ρ_w	V_w	V_o	h	V_{Cap}	h_o	$M_1/O_2 - O_1$
	ก.	ก.	ก.	ก./ลบ.ชม.	ก./ลบ.ชม.	ก./ลบ.ชม.	ก./ลบ.ชม.	ลบ.ชม.	ลบ.ชม.	ชม.	ลบ.ชม.	ชม.	< 1.000013
ครั้งที่ 1	994.32	1610.002	1610	7.95	0.001186	24.02	0.99729	998.06135	998.02123				1.000001242
ครั้งที่ 2	994.28	1610.002	1610	7.95	0.001186	24.02	0.99729	998.0212	997.98108				1.000001242
ครั้งที่ 3	994.27	1610.002	1610	7.95	0.001186	24.02	0.99729	998.01116	997.97104				1.000001242
ครั้งที่ 4	994.33	1610.002	1610	7.95	0.001186	24.02	0.99729	998.07138	998.03126				1.000001242
ครั้งที่ 5	994.3	1610.002	1610	7.95	0.001186	24.02	0.99729	998.04127	998.00115				1.000001242
								$V_{o,avg}$	998.00115	ลบ.ชม.			
					0			Standard Division:	0.02559	ลบ.ชม.			

ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (%) : 0.00603
 เกณฑ์ตัดสิน (%) ≤ : 0.02
 ผลการตัดสิน : ผ่าน

 ชตว CBWM ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	31/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

12. เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบความเที่ยง

12.1. กระบอกตวง หรือกระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) กับ 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) ตามกฎกระทรวง พระราชบัญญัติมาตราชั่งตวงวัด พ.ศ. 2542

12.1.1. อัตราเพื่อเหลือเพื่อขาดสำหรับกระบอตวงมีชั้นหมายมาตราเดียว

พิกัดกำลัง	อัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด	
	สำหรับจ่าย	สำหรับรับ
ไม่เกิน 30 มิลลิลิตร		0.06 มิลลิลิตร
มากกว่า 30 มิลลิลิตร ไม่เกิน 50 มิลลิลิตร		0.1 มิลลิลิตร
มากกว่า 50 มิลลิลิตร ไม่เกิน 100 มิลลิลิตร	0.4 มิลลิลิตร	0.2 มิลลิลิตร
มากกว่า 100 มิลลิลิตร ไม่เกิน 250 มิลลิลิตร	1 มิลลิลิตร	0.5 มิลลิลิตร
มากกว่า 250 มิลลิลิตร ไม่เกิน 400 มิลลิลิตร	2 มิลลิลิตร	1.0 มิลลิลิตร
มากกว่า 400 มิลลิลิตร ไม่เกิน 600 มิลลิลิตร	3 มิลลิลิตร	1.5 มิลลิลิตร
มากกว่า 600 มิลลิลิตร ไม่เกิน 1000 มิลลิลิตร	5 มิลลิลิตร	2.5 มิลลิลิตร
มากกว่า 1000 มิลลิลิตร ไม่เกิน 1500 มิลลิลิตร	8 มิลลิลิตร	4.0 มิลลิลิตร
มากกว่า 1500 มิลลิลิตร ไม่เกิน 2000 มิลลิลิตร	10 มิลลิลิตร	5.0 มิลลิลิตร

12.1.2. อัตราเพื่อเหลือเพื่อขาดสำหรับกระบอตวงหรือกระบอแก้ว (Graduated Cylinders) มีหลายชั้น
 หมายความว่า

เครื่องตวง	อัตราเพื่อเหลือเพื่อขาด
พิกัดกำลังไม่เกิน 2000 มิลลิลิตร	
สำหรับจ่าย	เท่ากับปริมาตรของขีดชั้นหมายมาตราเล็กที่สุด
สำหรับรับ	เท่ากับกึ่งหนึ่งของปริมาตรของขีดชั้นหมายมาตราเล็กที่สุด

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

 ชตา CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	32/38
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557


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

สรุป กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) ต้องให้ผลการสอบเทียบครบทั้ง 5 เจ็อนไซจึงถือว่าผ่าน การสอบเทียบ อย่างไรก็ตามให้พิจารณาตามความเหมาะสมและการนำไปใช้ของเครื่องตวงขนาดเล็กนั้นๆ ด้วย โดยดูลยพินิจและการตัดสินใจของหัวหน้าห้องปฏิบัติการ

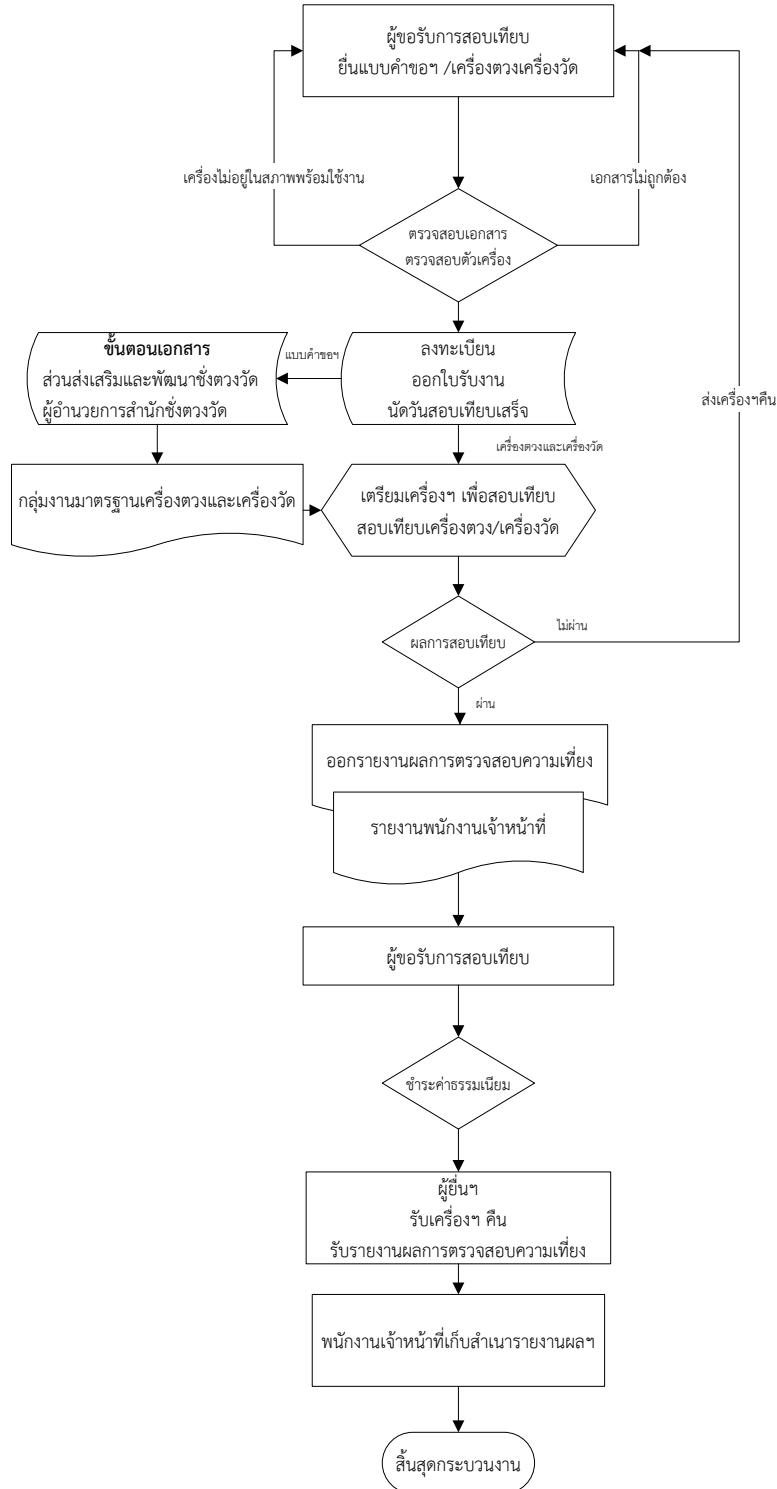
13. แบบฟอร์ม สำหรับการปฏิบัติงานสอบเทียบเครื่องตวงขนาดเล็ก

13.1. แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ

WS-VOL-1010

 ชตว CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่ 2 หน้า/จำนวนรวม 33/38 ผู้ทบทวน คณะบริหารวิชาการ ผู้อนุมัติ ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด วันที่มีผลบังคับใช้ 31 ตุลาคม 2557
--	--	---

14. ผังแสดงทางเดินงานและเอกสาร



 ชตา CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	34/38
		ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	31 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 LA, 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 ต้มน้ำหนักแบบมาตราพิกัดกำลัง 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 กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	35/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 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. **M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 1**, UKAS (United Kingdom Accreditation Service), December 2007
4. **OIML R 4; Edition 1972(E)** : Volumetric Flask (one mark) in Glass
5. **OIML R 43; Edition 1981(E)** : Standard Graduated Flasks for Verification Officers
6. **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
7. **คู่มือการเลือกวัสดุ (Material Selecting Quick Reference)** , บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2533
8. **การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ และเมตตา เนียมเปรม, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์**
9. **นานาสาระชั่งตวงวัด, จรินทร์ สุทธนารักษ์ และ สาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์**
10. **การตรวจสอบต้นแบบเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ (Pattern Approval of Nonautomatic Weighting Instruments), วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, จรินทร์ สุทธนารักษ์, โสภณ โอภาสภิตติ และสาธิต ชูสุวรรณ, สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์**

 ชตา CBWM	ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
		หน้า/จำนวนรวม	36/38
		ผู้ทบทวน	คณะกรรมการวิชาการ
		ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
		วันที่มีผลบังคับใช้	31 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-102 กระบอกแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	37/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)



สำนักงานกลางชั่งตวงวัด CENTRAL BUREAU OF WEIGHTS & MEASURES

สำนักชั่งตวงวัด

กรมการค้ำภายใน กระทรวงพาณิชย์

รายงานผลการตรวจสอบความเที่ยง (Calibration Report)

1/1

เลขที่รายงาน Report No.	1245(V)-57	ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก (Small Volume Measuring Device Data)	
วันที่สอบเทียบ Calibration Date	13 ธันวาคม 2556 13 December 2013	ประเภทเครื่องตวง Type	กระบอกแก้ว Cylinder
สถานที่สอบเทียบ Calibration Place	สำนักชั่งตวงวัด CBWM, Nonthaburi, TH	พิกัดกำลังเครื่องตวง Capacity	1000 มล. ml
เจ้าของเครื่องตวง Owner	สำนักชั่งตวงวัด CBWM, Nonthaburi, TH 44/100 ถ. นนทบุรี 1 ต. บางกระสอ อ. เมือง จ.นนทบุรี 11000	ชั้นความเที่ยง Class	10 มล. ml
เลขลำดับประจำเครื่อง CBWM Official No.	SD 1000	วัสดุที่ใช้ทำ Fabricated Material	แก้ว Boronsilicate
	สภาวะแวดล้อม (Environment)	ส.ป.ส.ขยายตัวความความร้อน Thermal Expansion Coefficient	0.00001 °C ⁻¹
อุณหภูมิ Temperature	25 ± 3 °C	อุณหภูมิอ้างอิง Reference Temperature	20 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ Relative Humidity	50 ± 15 %RH	ประเภทการใช้งาน Measure Constructed	แบบรับ To Contain
ความดันบรรยากาศ Atmosphere Pressure	1010 ± 20 hPa	ระยะเวลาถ่ายน้ำ Drainage Time	30 วินาที Second
		ตัวกลางสอบเทียบ Calibration Media	น้ำกลั่นสองครั้ง Double-Distilled Water

วิธีการสอบเทียบ (Calibration Procedure)

ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ เลขที่ SOP-VOL-102 : กระบอกแก้ว พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก
Based on Standard Operating Procedure No. SOP-VOL-102 : Gravimetric Calibration of Graduated Cylinders in Glass with Electronic W&I.

แบบมาตรฐานอ้างอิงและเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ (Reference Standards and Instruments Used in Calibration)

ค้อนน้ำหนักแบบมาตรา Standard Mass	เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Weighing Instrument	เครื่องวัดอุณหภูมิ Temperature Device
หมายเลข No.	หมายเลข No.	หมายเลข No.
SS13131	LA 6200S-OCE	8164
ความหนาแน่น Density	พิกัดกำลัง Max.	ช่วงการวัด Measurement range
7.95 g/cm ³	6,200.00 กรัม	0-100 เซลเซียส °C
ชั้นความเที่ยง Class	ชั้นความเที่ยง e.	ขีดขึ้นหามาตราค่าสุด Resolution
F1	0.1000 กรัม	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)	200	400	600	800	1,000
ปริมาตรแก้ไข 20 °C Corrected Volume @ 20 °C	(มล.) (ml)	-1.29	-1.48	-2.48	-2.81	-2.00
ความสามารถในการทำซ้ำได้ Repeatability	(%)	0.015	0.018	0.018	0.013	0.006
ความไม่แน่นอนของการวัด Measurement Uncertainty	(มล.) (ml)	0.15				

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

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
นายพิชญ บูนดิษฐ์
Mr. Phitsanu Boondit

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

 ชตา CBWM ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-102 กระบอแก้ว (Graduated Cylinders) พิกัดกำลัง 25 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)	ปรับปรุงครั้งที่	2
	หน้า/จำนวนรวม	38/38
	ผู้ทบทวน	คณะบริหารวิชาการ
	ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้	31 ตุลาคม 2557

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

