

# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

Calibration of Sphere Pyknometer by Gravimetric Method

จัดทำโดย  กลุ่มมาตรฐานเครื่องตวงและเครื่องวัด	ผู้อนุมัติ  _____  (นายจรินทร์ สุทธนารักษ์) ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
	วันที่มีผลบังคับใช้                      X   xxxxxx   xxxx
	จำนวนหน้ารวม                              26            หน้า
	ปรับปรุงครั้งที่



## ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	2/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

### 1. ขอบเขตการสอบเทียบ

สำหรับสอบเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ซึ่งใช้งานกับของไหลชนิด Newtonian fluid, สะอาด, เป็นของไหลที่มีสถานะเดียว (Single – Phase Fluid) และเป็นของไหลที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 0.3 g/cc ที่สภาวะทำงานด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 15.6 °C และ Saturation Pressure ด้วยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)

### 2. วัตถุประสงค์

- 2.1. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนการปฏิบัติในการสอบเทียบ
- 2.2. เพื่อใช้เป็นวิธีการและขั้นตอนในการคำนวณผลการสอบเทียบ
- 2.3. เพื่อให้เกณฑ์การพิจารณาตัดสินผลการสอบเทียบสอดคล้องและครบถ้วนตามมาตรฐานสากล
- 2.4. เพื่อให้การรายงานผลการสอบเทียบเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน เนื้อหาสาระครบถ้วนเหมือนกันทั่วประเทศ
- 2.5. เพื่อให้สามารถสอบย้อนกลับถึงแบบมาตราชั้นหนึ่ง 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

ตมน้ำหนักแบบมาตรา ชั้นความเที่ยง F1 (OIML R-111)



## ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่

หน้า/จำนวนรวม 3/26

ผู้ทบทวน

ผู้อนุมัติ

ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด

วันที่มีผลบังคับใช้

x xxxxxx xxxx

### 6. เครื่องตวงชนิดพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ที่ทำการสอบเทียบ

สาขาการวัด	พารามิเตอร์/พิสัย/ รายการ	ขีดความสามารถของการวัด และการสอบเทียบ ( $\pm$ )	มาตรฐาน/เทคนิคที่ใช้/วิธี/ เครื่องมือที่ใช้
พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer)	1000 ml	0.033 ml	In-house method : SOP-VOL-109 based on API MPMS Chapter 14.6 Second Edition 1991(E)

### 7. สภาพแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

การปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการฯ เป็นระบบปรับอากาศแบบ Split-Type Air Condition System

- สภาพอุณหภูมิ  $25 \pm 3.0$  °C
- ความชื้นสัมพัทธ์  $60 \pm 20$  %
- ความดันบรรยากาศ ( $1010 \pm 20$ ) hPa (1 mBar = 1 hPa = 100 Pa)
- อุณหภูมิของน้ำตัวกลางสอบเทียบ ( $25 \pm 3$ ) °C อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน  $\pm 0.5$  °C ตลอดช่วงการสอบเทียบ

### 8. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 8.1. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบมาตรา (Electronic Balance) ชั้นความเที่ยง II (OIML-R 76) ,  $e \leq 0.01g$
- 8.2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความละเอียด  $0.1^{\circ}C$ , 0.1%
- 8.3. เครื่องวัดความกดตันบรรยากาศ ความละเอียด 0.1 mBar (0.001 kPa หรือ 0.00145038 psi)
- 8.4. เครื่องวัดอุณหภูมิของเหลวภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ความละเอียด  $0.1^{\circ}C$
- 8.5. เครื่องวัดความดันและสุญญากาศ (Compound Gauge) -15 ถึง +750 psi ภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ความละเอียด 1 psi
- 8.6. Vacuum Pump สามารถดูดอากาศภายในให้เหลือน้อยกว่า 98.205 kPa (29.0 นิ้วของปรอท หรือ 736.6 mmHg หรือ 97% Vacuum), อัตราการไหลอย่างน้อย 90 l/min, accuracy 0.1  $\mu$ mHg
- 8.7. Pressure Pump สร้างแรงดันได้ 750 psi อัตราการไหลอย่างน้อย 90 l/min
- 8.8. Acetone
- 8.9. Nitrogen
- 8.10. น้ำกลั่น
- 8.11. นาฬิกาจับเวลา
- 8.12. ถุงมือผ้า

### 9. รายละเอียดวิธีปฏิบัติ

- 9.1. เตรียมสถานะของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามที่กำหนด
- 9.2. จัดเตรียมตุ้มน้ำหนักแบบมาตราให้เหมาะสม และเพียงพอ

- 9.3. นำพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมและตุ้มน้ำหนักแบบมาตรฐานมาพักอยู่ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

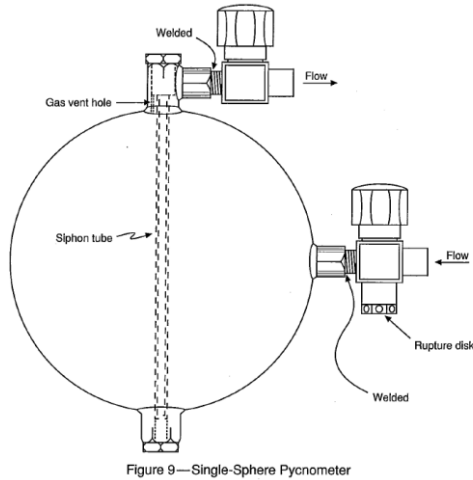


Figure 9—Single-Sphere Pycnometer

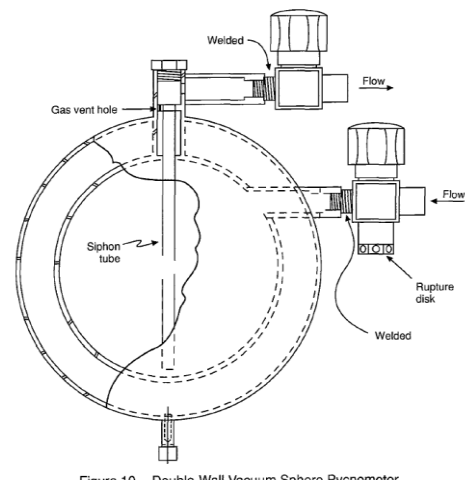
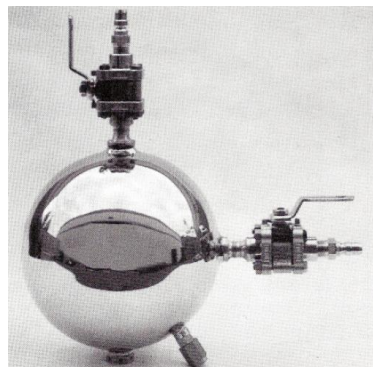


Figure 10—Double-Wall Vacuum Sphere Pycnometer



- 9.4. ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิน้ำกลั่น กับหลอดแก้วพักน้ำ
- 9.5. เปิดเครื่องชั่งแบบมาตรฐานเพื่ออุ่นเครื่องชั่งอย่างน้อย 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. ต้องมีพิคกำลังสูงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักที่ทำการชั่งทุกขั้นตอน
  - 9.8.2. มีชั้นหมายมาตรา (resolution) อ่านได้ละเอียดเพียงพอและต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่ยอมรับได้ในการสอบเทียบ (1/3 MPE) หรือควรมีค่าชั้นหมายมาตราตรวจรับรอง (e) เท่ากับ

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

(1)



## ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่

หน้า/จำนวนรวม 5/26

ผู้ทบทวน

ผู้อนุมัติ

ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด

วันที่มีผลบังคับใช้

x xxxxxx xxxx

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักของปริมาตรทดสอบ (g)

$MPE$  = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรที่ต้องการทดสอบ (%)

9.9. ก่อนเริ่มดำเนินการสอบเทียบ ให้ทำการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ลงในแบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ เป็นต้น

9.10. ทำความสะอาดพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม โดยเจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยงต้องสวมถุงมือผ้าตลอดเวลา

9.10.1. ทำความสะอาดภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมด้วยน้ำกลั่น แล้วล้างออกด้วย Acetone เพื่อชำระล้างสิ่งสกปรกค้างอยู่ใน เป่าให้แห้งด้วยก๊าซ Nitrogen

9.10.2. เติมน้ำกลั่นเข้าพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นล้างออกด้วย Acetone เพื่อชำระล้างน้ำกลั่นอาจตกค้างอยู่ใน เป่าให้แห้งด้วยก๊าซ Nitrogen

9.10.3. ปิดวาล์วด้านทางออกพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม จากนั้นดูดอากาศออกจากภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมด้วย Vacuum Pump ประมาณ 10 นาที แล้วปิดวาล์วทางเข้า ซึ่งในขณะนั้นภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมมีสภาพสุญญากาศไม่เต็มที่

9.10.4. ทำความสะอาดภายนอกพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมด้วยน้ำกลั่น แล้วล้างออกด้วย Acetone และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซ Nitrogen

9.11. ขั้นตอนการตรวจสอบและหาค่าน้ำหนักพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมภายในเป็นสุญญากาศ ( $W_0$ ) และค่าน้ำหนักพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมมีอากาศภายใน ( $W_a$ )

9.11.1. เปิดวาล์วทั้ง Inlet และ Outlet เพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ทำการชั่งน้ำหนักเฉพาะตัวพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมอย่างน้อย 4 ครั้ง ( $W_a$ )

9.11.2. ติดตั้งอุปกรณ์ต่อพร้อมเข้ากับพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม จากนั้นตรวจสอบการรั่วซึมวาล์วและอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor) โดย

9.11.2.1. ดูดอากาศภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ต่อพร้อมออกประมาณ 10 นาที และ/หรือ

9.11.2.2. เติมน้ำเข้าไปให้เต็ม และเพิ่มความดันเข้าไปในระบบ 100 psia ตรวจสอบการรั่วซึมทั้งตัวพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor) ถ้าหากพบการรั่วซึมให้ดำเนินการแก้ไข

9.11.3. ทำความสะอาดทั้งภายในและภายนอกพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมด้วยน้ำกลั่น แล้วล้างออกด้วย Acetone และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซ Nitrogen

9.11.4. เปิดวาล์วทั้ง Inlet และ Outlet เพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor) ( $W_a + W_{Adaptor}$ ) อย่างน้อย 4 ครั้ง จากนั้นหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ต่อพร้อม ( $W_{Adaptor}$ )

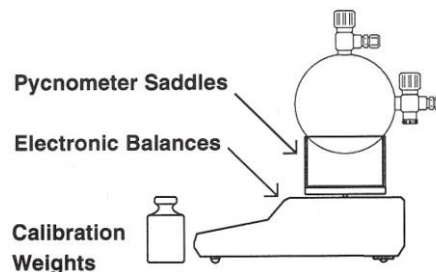
$$\text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ต่อพร้อม } (W_{Adaptor}) = (W_a + W_{Adaptor}) - W_a \quad (2)$$

เมื่อ  $W_a$  = น้ำหนักพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมมีอากาศภายใน

$W_0$  = น้ำหนักพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมภายในเป็นสุญญากาศ

$W_{Adaptor}$  = น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ต่อพร้อม

- 9.11.5. ให้ปิดวาล์วด้าน Outlet และเปิดวาล์วด้าน Inlet เพื่อทำการดูดอากาศภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมด้วย Vacuum Pump อย่างน้อย 29.0 นิ้วของปรอท (736.6 mmHg) หรือ 97% Vacuum เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นทำการปิดวาล์วด้านทางเข้า
- 9.11.6. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง และทำการชั่งน้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะที่ภายในเป็นสุญญากาศ บันทึกค่าเป็น  $W_0 + W_{Adaptor}$  ให้ละเอียดอย่างน้อย 0.01 กรัม
- 9.11.7. ยกพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมออกจากเครื่องชั่ง เปิดวาล์วทั้ง Inlet และ Outlet เพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที
- 9.11.8. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง และทำการชั่งน้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีอากาศภายใน บันทึกค่าเป็น  $W_a + W_{Adaptor}$  ยกพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมออกจากเครื่องชั่ง
- 9.11.9. ทำซ้ำตามข้อ 9.11.5 ถึงข้อ 9.11.8 ไม่น้อยกว่า 4 รอบ



- 9.11.10. คำนวณหาค่า  $W_0$  และ  $W_a$  โดยลบด้วยน้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อรวม ( $W_{Adaptor}$ ) จากสมการ (2)

$$W_0 = (W_0 + W_{Adaptor}) - \text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อรวม } (W_{Adaptor}) \quad (3)$$

$$W_a = (W_a + W_{Adaptor}) - \text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อรวม } (W_{Adaptor}) \quad (4)$$

- 9.11.11. ทำการคำนวณหาความสามารถในการทำซ้ำได้ (repeatability)  $W_0$  และ  $W_a$  ที่ได้จากชั่งน้ำหนักทั้ง 4 ครั้ง ต้องไม่เกิน 0.02%

$$\text{Repeatability}_{W_0} = \frac{W_{0\max} - W_{0\min}}{W_{0\min}} \times 100 \leq 0.02\% \quad (5)$$

$$\text{Repeatability}_{W_a} = \frac{W_{a\max} - W_{a\min}}{W_{a\min}} \times 100 \leq 0.02\% \quad (6)$$

- 9.11.12. กรณีค่าผลต่างเกิน 0.02% ให้ตรวจสอบและทำความสะอาดใหม่ แล้วปฏิบัติตามข้อ 9.10, 9.11.1 ถึงข้อ 9.11.11 อีกครั้ง ถ้าหากผลต่างของ  $W_0$  และ  $W_a$  ยังเกิน 0.02% ให้เจ้าของเครื่องและเจ้าหน้าที่สอบเทียบร่วมกันตรวจสอบและพิจารณาตามความเหมาะสม

- 9.12. ขั้นตอนการตรวจสอบและหาค่าน้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีน้ำกลั่นอยู่ภายใน ( $W_f$ )

- 9.12.1. ติดตั้งพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมเข้าระบบพร้อมสอบเทียบ

- 9.12.2. เติมน้ำเข้าไปให้เต็ม และเพิ่มความดันเข้าไปในระบบ 100 psia ตรวจสอบการรั่วซึมของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ที่ต่อรวม (Adaptor) ถ้าหากพบการรั่วซึมให้ดำเนินการแก้ไข

- 9.12.3. ลดความดันภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมให้เท่าความดันบรรยากาศ

- 9.12.4. ป้อนน้ำกลั่นเข้าพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมในขณะที่เปิดวาล์วด้าน Outlet พร้อมต่อท่อระบายให้จมอยู่ในน้ำกลั่น ตรวจสอบจนไม่พบฟองอากาศออกมาจากปลายท่อดังกล่าวจึงปิดวาล์ว

- 9.12.5. ป้อนอัดน้ำกลั่นเข้าพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมและปรับความดันภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมจนได้ค่าความดันที่ต้องการแล้วปิดวาล์วด้าน Inlet ตรวจสอบการรั่วซึม หากพบว่าภายหลังจากปิดวาล์วแล้วความดันเพิ่มสูงขึ้นให้เปิดวาล์ว Inlet แล้วค่อยๆ ปรับจนได้ค่าความดันทดสอบคงที่แล้วปิดวาล์ว Inlet ทั้งนี้ความดันทดสอบภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม อย่างน้อยต้องทดสอบที่
- ความดันเท่ากับหรือน้อยกว่า 100 psia (5.8 barg)
  - ความดันที่ใช้งานสูงสุด (operating pressure) หรือสูงกว่าความดันใช้งานปกติ (normal operating pressure) แต่ค่าความดันทั้ง 2 ค่าต้องต่ำกว่าค่าความดันที่เซ็ทค่าไว้ของ rupture disk ประจำพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม
  - ความดันประมาณตรงกลางระหว่างค่าความดันทั้ง 2 ค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น
- 9.12.6. บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำกลั่นภายในชุดปั้มน้ำกลั่นที่ใช้ และความดันภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม
- 9.12.7. ถอดพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมออกจากท่อ (ควรเป็นท่อ Stainless Steel ชนิด seamless และสามารถทนแรงดันทดสอบสูงสุดได้) และเครื่องมืออุปกรณ์ระบบสอบเทียบพร้อมทำความสะอาดบริเวณท่อทางออกวาล์ว Outlet และท่อทางเข้าวาล์ว Inlet ซึ่งอาจมีน้ำกลั่นค้างอยู่และ/หรือ บริเวณที่มีสิ่งตกค้างอยู่ภายนอกพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม โดยการล้างด้วย Acetone และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซ Nitrogen ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบความเที่ยงต้องสวมถุงมือผ้าตลอดเวลาและห้ามสัมผัสพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมโดยตรงด้วยมือเปล่า ควรจับบริเวณวาล์วของพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม
- 9.12.8. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง และทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีน้ำกลั่นอยู่ภายใน เป็น  $W_f + W_{\text{Adaptor}}$
- 9.12.9. บันทึกค่าอุณหภูมิห้อง, ความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความกดดันบรรยากาศของสภาวะแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการ
- 9.12.10. นำพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมไปติดตั้งเข้าระบบปั้มน้ำ เปิดวาล์วด้าน Inlet แล้วเปิดวาล์วด้าน Outlet พร้อมสอบเทียบใหม่ครั้งต่อไป
- 9.12.11. ทำซ้ำตามข้อ 9.12.4 ถึงข้อ 9.12.10 ด้วยค่าความดันเดิมอย่างน้อย 2 ครั้งในแต่ละค่าความดันทดสอบซึ่งจะได้ค่าน้ำหนัก  $W_f$  ประจำค่าความดันทดสอบนั้นๆ ทั้งนี้ต้องให้ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (repeatability)  $W_f + W_{\text{Adaptor}}$  ที่ได้จากชั่งน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดกันต้องไม่เกิน 0.02%
- 9.12.12. ทำซ้ำตามข้อ 9.12.4 ถึงข้อ 9.12.11 โดยทำการปรับความดันภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 3 ระดับความดัน คือ ความดันเท่ากับหรือน้อยกว่า 100 psia, ความดันที่ใช้งานสูงสุด (operating pressure) หรือสูงกว่าความดันใช้งานปกติ (normal operating pressure) แต่ค่าความดันทั้ง 2 ค่าต้องต่ำกว่าค่าความดันที่เซ็ทค่าไว้ของ rupture disk ประจำพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม และความดันช่วงระหว่างค่าความดันทั้ง 2 ค่าที่กล่าวมา จะได้ น้ำหนัก  $W_f$  ในแต่ละค่าความดันทดสอบ



# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	8/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

## 10. การคำนวณหาค่าปริมาตรของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (PV<sub>p</sub>)

10.1. การคำนวณหาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง (t<sub>0</sub>) และความดันทดสอบ (P) (PV<sub>0p</sub>) จากสมการ

$$PV_{0p} = \frac{PV_{tp}}{C_{tsP}} \tag{7}$$

- เมื่อ
- PV<sub>0p</sub> = ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิอ้างอิงและความดันทดสอบ (cm<sup>3</sup>)
  - PV<sub>tp</sub> = ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิทดสอบและความดันทดสอบ (cm<sup>3</sup>)
  - C<sub>tsP</sub> = ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกะทำต่อโลหะพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Shere Pyknometer)

ให้สภาวะอ้างอิง (datum condition) ของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมทรงกลม คือ

- t<sub>0</sub> = อุณหภูมิอ้างอิงของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม มีค่าเท่ากับ 15.0 °C เนื่องจากการนำไปใช้หาค่า Density สำหรับของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมนั้นส่วนใหญ่เป็นค่า Density @ 15 °C แต่ใน API MPMS Chapter 14.6 เลือกใช้ค่า 0 °F
- P<sub>0</sub> = ความดันบรรยากาศอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 14.6959 Psi (a) หรือ 101.325 kPa (a) แต่ใน SOP นี้ เราจำเป็นต้องใช้หน่วย Psi (a) เพราะสูตรการคำนวณเป็นไปตาม API MPMS Chapter 14.6

10.2. คำนวณหาตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกะทำต่อโลหะพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (C<sub>tsP</sub>) จากสมการ

$$C_{tsP} = [1 + \gamma_P(t_w - t_0)] \tag{8}$$

- เมื่อ
- t<sub>w</sub> = อุณหภูมิของน้ำกลั่นขณะทดสอบ (°C)
  - t<sub>0</sub> = อุณหภูมิอ้างอิงของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม มีค่าเท่ากับ 15.0 °C (°C)
  - γ<sub>P</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของ (Coefficient of Cubical Expansion per °C) ของโลหะที่ใช้ทำภาชนะบรรจุของเหลว (1/°C)

ตาราง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของวัสดุ (Coefficient of Cubical Expansion per °C) ของโลหะที่ใช้ทำภาชนะบรรจุของเหลว

วัสดุ	Coefficient of Cubical Expansion	
	/ °C	/ °F
Mild or Low Carbon Steel	0.0000335	0.0000186
Austenitic Stainless Steel 304	0.00005184	0.0000288
Austenitic Stainless Steel 316	0.0000477	0.0000265
17-4 Stainless Steel	0.0000324	0.0000018
	0.0000216	0.000012



10.3. คำนวณหาปริมาตรพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิและความดันทดสอบใดๆ ( $PV_{tp}$ ) ได้จากสมการ

$$PV_{tp} = \frac{M_w}{\rho_{wtp}} \quad (9)$$

เมื่อ  $PV_{tp}$  = ปริมาตรพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิและความดันใดๆ ( $\text{cm}^3$ )

$M_w$  = น้ำหนักน้ำกลั่นภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม (g)

$\rho_{wtp}$  = ความหนาแน่นของน้ำกลั่นภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่ง ณ อุณหภูมิและความดันใดๆ ( $\text{g/cm}^3$ )

10.3.1. น้ำหนักของน้ำกลั่นที่อยู่ภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิและความดันทดสอบใดๆ ( $M$ )

$$M_w = (W_f - W_o)C_{BW} \quad (10)$$

เมื่อ  $M_w$  = น้ำหนักน้ำกลั่นในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม (g)

$W_f$  = น้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีน้ำกลั่นอยู่ภายใน (g)

$W_o$  = น้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมภายในเป็นสุญญากาศ (g)

$C_{BW}$  = ค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่งน้ำหนัก (Correction for air buoyancy on weighings)

10.3.2. คำนวณหาค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่งน้ำหนัก  $C_{BW}$

$$C_{BW} = \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{wfr}}\right) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{wfr}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{wfr}}\right)} \quad (11)$$

เมื่อ  $C_{BW}$  = ค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่ง

$\rho_a$  = ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{wfr}$  = ค่าความหนาแน่นของตม้้น้ำหนักอ้างอิงที่ใช้สอบเทียบตม้้น้ำหนักที่ใช้งานจริงสำหรับการทดสอบเครื่องชั่ง ได้จากใบรายงานผลการสอบเทียบตม้้น้ำหนักที่อุณหภูมิ 20 °C ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{wfr}$  = ค่าความหนาแน่นของตม้้น้ำหนักที่ใช้งานจริงสำหรับทดสอบเครื่องชั่ง ได้จากใบรายงานผลการสอบเทียบตม้้น้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 20 °C ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{Ftp}$  = ค่าความหนาแน่นของน้ำกลั่นที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิทดสอบและความดันทดสอบ (กรณีใช้น้ำกลั่นในการทดสอบ ดังนั้น  $\rho_{Ftp} = \rho_{wtp}$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )

คำนวณหาค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่งน้ำหนัก แบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ประเด็น คือ

- สำหรับการสอบเทียบพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมภายในห้องปฏิบัติการ การคำนวณหาน้ำหนักของน้ำกลั่นที่อยู่ภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิและความดันทดสอบใดๆ ( $M_w$ ) เป็นการเทียบกับน้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมภายในเป็นสุญญากาศ ( $W_o$ ) ดังนั้นค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่งน้ำหนัก มีค่า

$$M_W = (W_f - W_o)(C_{BW})$$

$$C_{BW} = \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right)} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{Wf}}\right) \quad (12)$$

- สำหรับการสอบเทียบพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม การคำนวณน้ำหนักของน้ำกลั่นที่อยู่ภายในพิกะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิและความดันทดสอบใดๆ ( $M_W$ ) เป็นการเทียบกับน้ำหนักพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีอากาศอยู่ภายใน ( $W_a$ ) ดังนั้นค่าแก้ไขค่าเนื่องแรงลอยตัวกระทำต่อของพิกะโนมิเตอร์ทรงกลมขณะชั่งน้ำหนัก มีค่า

$$M_W = (W_f - W_a)(C_{BW})$$

$$C_{BW} = \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{Wf}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{Wtp}}\right)} \quad (13)$$

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 <sup>-3</sup>	± 150 kg m <sup>-3</sup>
Nickel silver	8 600 kg m <sup>-3</sup>	± 170 kg m <sup>-3</sup>
Brass	8 400 kg m <sup>-3</sup>	± 170 kg m <sup>-3</sup>
Stainless steel	7 950 kg m <sup>-3</sup>	± 140 kg m <sup>-3</sup>
Carbon steel	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Iron	7 800 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Cast iron (white)	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 400 kg m <sup>-3</sup>
Cast iron (grey)	7 100 kg m <sup>-3</sup>	± 600 kg m <sup>-3</sup>
Aluminum	2 700 kg m <sup>-3</sup>	± 130 kg m <sup>-3</sup>

10.3.3. ความหนาแน่นของอากาศ (Air Density :  $\rho_a$ ) ขณะทำการสอบเทียบ เนื่องจากสูตรหาความหนาแน่นของอากาศของ CIPM มีความถูกต้องสูงมากเกินไปและบ่อยครั้งพบว่าเกินความจำเป็น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าประมาณด้วย สมการดังข้างล่างน่าจะเพียงพอ จึงใช้สมการ

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times p - 0.009024 \times h_r \times e^{(0.0612t)}}{273.15 + t} \quad (14)$$

- เมื่อ
- $\rho_a$  = ความหนาแน่นของอากาศ (g/cm<sup>3</sup>)
  - $p$  = ความกดดันอากาศ (the air pressure) (hPa)
  - $h_r$  = ความชื้นอากาศสัมพัทธ์ (the relative air humidity) (%)
  - $t$  = อุณหภูมิอากาศที่วัดได้ (the air temperature) (°C)

10.3.4. ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density) ภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมขณะซึ่ง ณ อุณหภูมิและความดันใดๆ คำนวณหาความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิตดสอบและความดันทดสอบ ( $\rho_{wt}$ ) ได้จากสมการ

$$\rho_{wt} = \frac{P_{wt}}{[1 - (\bar{K}_{tp}(P - P_0))]} \quad (15)$$

เมื่อ  $\rho_{wt}$  = ความหนาแน่นของน้ำกลั่นภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมขณะซึ่ง ณ อุณหภูมิและความดันใดๆ (g/cm<sup>3</sup>)

$P_{wt}$  = ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิตดสอบและความดันบรรยากาศ (standard atmospheric) จากสมการ (17) (g/cm<sup>3</sup>)

$\bar{K}_{tp}$  = Average isothermal compressibility of water at P and  $t_w$ . จากสมการ (18) (1/psia)

P = ความดันสัมบูรณ์ขณะทดสอบภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม หรือความดันที่กระทำต่อน้ำกลั่นภายในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม (psia)

$P_0$  = ความดันสัมบูรณ์บรรยากาศอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 14.6959 Psi (a) (psia)

10.3.5. ความหนาแน่นของน้ำ (Water Density) คำนวณหาความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ และความดันบรรยากาศ (standard atmospheric) ได้จากสมการของ H. Wagenbreth และ W. Blanke , PTB โดยใช้สเกลอุณหภูมิ ITS-90 ค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ( $\rho$ ) ที่ความดันบรรยากาศ

$$\rho_{wt} = \frac{\sum_{n=0}^5 a_n \times t_w^n}{1 + bt_w} \quad \text{kg/m}^3 \quad (16)$$

เมื่อ  $\rho_{wt}$  = ความหนาแน่นของน้ำ ความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิตดสอบและความดันบรรยากาศ (standard atmospheric) kg/m<sup>3</sup>

$a_0$  = 9.9983952 × 10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup>

$a_1$  = 1.6952577 × 10 °C<sup>-1</sup> kg/m<sup>3</sup>

$a_2$  = -7.9905127 × 10<sup>-3</sup> °C<sup>-1</sup> kg/m<sup>3</sup>

$a_3$  = -4.624175 × 10<sup>-5</sup> °C<sup>-1</sup> kg/m<sup>3</sup>

$a_4$  = 1.0584601 × 10<sup>-7</sup> °C<sup>-1</sup> kg/m<sup>3</sup>

$a_5$  = -2.8103006 × 10<sup>-10</sup> °C<sup>-1</sup> kg/m<sup>3</sup>

b = 1.6887236 × 10<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>

$t_w$  = อุณหภูมิ น้ำ, องศาเซลเซียส °C

10.3.6. คำนวณหา Average isothermal compressibility of water at  $P_f$  and  $t_w$ ;  $\bar{K}_{tp}$  ได้จากสมการ

$$\bar{K}_{tp} = K_t \left\{ 1.00033 - \frac{(0.217656 \times 10^{-4})(P + P_0)}{2} + (0.8546265 \times 10^{-9}) \left( \frac{(P + P_0)}{2} \right)^2 \right\} \quad 1/\text{psia} \quad (17)$$

เมื่อ  $K_t$  = Isothermal compressibility of water at 14.6959 psia and  $t_w$ , in degrees Celsius. (1/psia) โดยคำนวณได้จากสมการ



# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pycnometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	12/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

$$K_t = \frac{[50.88496 + (6.163813 \times 10^{-1})t_w + (1.459187 \times 10^{-3})t_w^2 + (20.08438 \times 10^{-6})t_w^3 - (58.47727 \times 10^{-9})t_w^4 + (410.411 \times 10^{-12})t_w^5]}{\{[1 + (19.67348 \times 10^{-3})(t_w)](4.50377 \times 10^6)\}} \quad (1/\text{psia}) \quad (18)$$

P = ความดันสัมบูรณ์ขณะทดสอบภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมหรือความดันที่กระทำต่อน้ำกลั่นภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (psia)

P<sub>0</sub> = ความดันสัมบูรณ์บรรยากาศอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 14.6959 psia (psia)

t<sub>w</sub> = อุณหภูมิ น้ำกลั่นภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม °C

10.4. การคำนวณหาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง (t<sub>0</sub>); 15.0 °C และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง (P<sub>0</sub>); 14.6959 psia หรือที่เรียกว่า “Pycnometer Base Volume; (PBV)” ได้ภายหลังคำนวณหาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง (t<sub>0</sub>) และความดันสัมบูรณ์ทดสอบเทียบ (P); (PV<sub>0p</sub>) ได้จากสมการ (7)

$$\begin{aligned} PV_{0p} &= \frac{PV_{tp}}{C_{tsP}} \\ &= \frac{M_w}{\rho_{Wtp} \times [1 + \gamma_P(t_w - t_0)]} \\ &= \frac{(W_f - W_o)(C_{BW})}{\rho_{Wtp} \times [1 + \gamma_P(t_w - t_0)]} \\ &= \frac{(W_f - W_o)}{\rho_{Wtp} \times [1 + \gamma_P(t_w - t_0)]} \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wr}}\right) \left(1 - \frac{P_a}{\rho_{Wf}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right)} \\ &= \frac{(W_f - W_o) \times [1 - (\bar{K}_{tp}(P - P_0))]}{\rho_{Wt} \times [1 + \gamma_P(t_w - t_0)]} \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wr}}\right) \left(1 - \frac{P_a}{\rho_{Wf}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right)} \quad (19) \end{aligned}$$

จากนั้นเขียนกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความดันสัมบูรณ์ทดสอบ (P) เป็นแกน X กับปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง (t<sub>0</sub>) และความดันสัมบูรณ์ทดสอบเทียบ (P) (PV<sub>0p</sub>) เป็นแกน Y หรือใช้วิธี Least-squares method เพื่อหาค่า PBV และ E<sub>p</sub> ซึ่งมีควรรความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงหากพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมยังคงมีขีดความสามารถตามที่ได้รับการออกแบบไว้ เราจะได้

$$PV_{0p} = [PBV + E_p(P - P_0)] \quad (20)$$

เมื่อ PBV = ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง (t<sub>0</sub>) และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง (P<sub>0</sub>) cm<sup>3</sup>

E<sub>p</sub> = Coefficient of expansion due to internal pressure on pycnometer (cm<sup>3</sup>/psia)

P = ความดันสัมบูรณ์ขณะทดสอบภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (psia)

P<sub>0</sub> = ความดันสัมบูรณ์อ้างอิงของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม; 14.6959 psia (psia)



# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pycnometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	13/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

- ค่าจุดตัดแกน Y จะมีค่าเท่ากับปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ); 15.0 °C และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง ( $P_0$ ); 14.6959 Psi (a) หรือค่า PBV
- ค่าความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ  $E_p$  Coefficient of expansion due to internal pressure on pycnometer

อย่างไรก็ตามเนื่องจากเราจำเป็นต้องใช้หน่วยวัดอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตรที่เกี่ยวข้องกับพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pycnometer) เป็นหน่วยเมตริก หรือ SI Unit ดังนั้นในการหาค่า PBV และ  $E_p$  เราจึงต้องเขียนกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความดันสัมบูรณ์ทดสอบ (P) เป็นแกน X โดยแปลงค่า Psi(a) ให้มีค่าเป็น kPa (a) กับปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันสัมบูรณ์ทดสอบเทียบ (P) ( $PV_{0p}$ ) เป็นแกน Y ซึ่งยังมีหน่วยเป็น  $cm^3$  หรือใช้วิธี Least-squares method เพื่อหาค่า PBV และ  $E_p$  เราจึงสามารถหาค่า PBV ได้ 2 ค่าที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่างกันคือ

- PBV @ 14.6959 Psi(a) ได้จากสมการ (20) นั่นคือเมื่อ P เท่ากับ  $P_0$  เทอมที่ 2 ในสมการขวามือมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าแกน Y จึงเท่ากับ PBV @ 14.6959 Psi(a) หรือก็คือ PBV @ 0 Psi(g) หรือ PBV ที่ความดันบรรยากาศนั่นเอง

- PBV @ 0 Psi(a) เมื่อได้ค่า PBV @ 14.6959 Psi(a) นั่นคือเราหาค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ (20) จากนั้นก็แทนค่า P เท่ากับ 0 kPa (a) เราก็จะได้ PBV @ 0 Psi(a)

10.5. สำหรับการรายงานผลการสอบเทียบปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิใดๆ (t) และความดันสัมบูรณ์ใดๆ (P); ( $PV_{tp}$ ) หาได้ภายหลังคำนวณหาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันสัมบูรณ์ทดสอบ (P); ( $PV_{0p}$ ) ได้จากสมการ

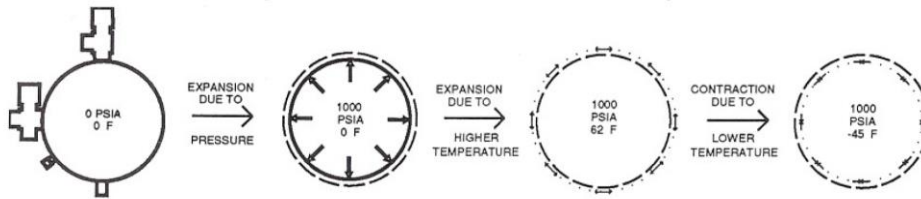
$$PV_{0p} = \frac{PV_{tp}}{C_{tsP}}$$

ดังนั้น

$$PV_{tp} = PV_{0p} \times C_{tsP} = [PBV + E_p(P - P_0)][1 + \gamma_P(t_w - t_0)] \tag{21}$$

- เมื่อ  $PV_{tp}$  = ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิใดๆ และความดันสัมบูรณ์ใดๆ  $cm^3$   
 PBV = ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง ( $P_0$ )  $cm^3$   
 $E_p$  = Coefficient of expansion due to internal pressure on pycnometer ( $cm^3/psia$ )  
 P = ความดันขณะทดสอบภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (psia)  
 $P_0$  = ความดันสัมบูรณ์อ้างอิงของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม; 14.6959 psia (psia)  
 $t_w$  = อุณหภูมิของน้ำกลั่นขณะทดสอบ ( $^{\circ}C$ )  
 $t_0$  = อุณหภูมิอ้างอิงของพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม เช่น 15.0 °C หรือ 0 °F ( $^{\circ}C$ )  
 $\gamma_P$  = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามปริมาตรลูกบาศก์ของ (Coefficient of Cubical Expansion per  $^{\circ}C$ ) ของโลหะที่ใช้ทำภาชนะบรรจุของเหลว ( $1/^{\circ}C$ )

### The Pycnometer Certification Equation



$$\text{Pyc Volume} = [ \text{Pyc Base Volume} + ( \text{Psia} * \text{Press. Coeff.} ) ] * [ 1 + ( \text{°F} * \text{Temp. Coeff.} ) ]$$

#### หมายเหตุ

- 1 atm = 1.01325 bar = 101.325 kPa = 1.01325 10<sup>5</sup> Pa = 14.6959 psi (lb<sub>f</sub>/in<sup>2</sup>) = 760 mmHg = 10.33 mH<sub>2</sub>O = 760 torr = 29.92 inHg = 1013 mbar = 1.0332 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> = 33.90 ftH<sub>2</sub>O
- 1 bar = 0.98692 atm = 14.5037744 psi (lb<sub>f</sub>/in<sup>2</sup>) = 750.06198 mmHg = 29.5287 inHg
- 1 psi = 6.89476 kPa = 0.0689476 bar



# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	15/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

## 11. ตัวอย่างการคำนวณและรายงานผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างการแสดงวิธีการคำนวณในที่นี้เป็นการสอบเทียบเครื่องตวงชนิดพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมพิกัดกำลัง 1000 มิลลิลิตร

### ข้อมูลเครื่องตวง

- พิกัดกำลัง 1000 มิลลิลิตร
- หมายเลขประจำเครื่อง 555
- วัสดุ Stainless Steel 304
- ผู้ผลิต Arcco-Anubis
- รุ่น Thermo
- อุณหภูมิอ้างอิง -17.8 °C หรือ 0 °F
- ความดันสัมบูรณ์อ้างอิง 14.6959 psia

### ตม้้น้ำหนักแบบมาตรา Class F1

- ค่าความหนาแน่นของตม้้น้ำหนักที่ใช้งานจริงสำหรับทดสอบเครื่องชั่งได้จากใบรายงานผลที่อุณหภูมิ 20 °C ( $\rho_{wT}$ ) เท่ากับ 7.84 g/cm<sup>3</sup>
- ค่าความหนาแน่นของตม้้น้ำหนักอ้างอิงที่ใช้สอบเทียบตม้้น้ำหนักที่ใช้งานจริงสำหรับทดสอบเครื่องชั่งได้จากใบรายงานผล ที่อุณหภูมิ 20 °C ( $\rho_{wT}$ ) เท่ากับ 8.00 g/cm<sup>3</sup>

11.1. ดำเนินการสอบเทียบตามขั้นตอน กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor) 4 ครั้ง บันทึกเป็นค่า ( $W_a + W_{Adaptor}$ ) เท่ากับ 1,386.43 g, 1,386.45 g, 1,386.44 g และ 1,386.44 g

11.2. ทำการถอดอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor) กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม 4 ครั้ง บันทึกเป็นค่า ( $W_a$ ) เท่ากับ 1,366.44 g, 1,366.45 g, 1,366.43 g และ 1,366.44 g

11.3. หาน้ำหนักอุปกรณ์ต่อพร้อม (Adaptor)

$$\text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ต่อพร้อม } (W_{Adaptor}) = (W_a + W_{Adaptor}) - W_a$$

$W_a + W_{Adaptor}$ (g)	$W_a$ (g)	$(W_a + W_{Adaptor}) - W_a$ (g)
1,386.43	1,366.44	19.99
1,386.45	1,366.45	20.00
1,386.44	1,366.43	20.01
1,386.44	1,366.44	20.00
	เฉลี่ย	20.00

$$\text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ต่อพร้อม } (W_{Adaptor}) = 20.00 \text{ g}$$

- 11.4. ทำการดูอากาศภายในตัวพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมออก กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมและอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม (Adaptor) 4 ครั้ง บันทึกเป็นค่า ( $W_0 + W_{\text{Adaptor}}$ ) เท่ากับ 1,385.31 g, 1,385.29 g, 1,385.28 g และ 1,385.28 g
- 11.5. ทำการเปิดวาล์วเพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปภายในตัวพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลม กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีอากาศอยู่ภายในและอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม (Adaptor) 4 ครั้ง บันทึกเป็นค่า ( $W_a + W_{\text{Adaptor}}$ ) เท่ากับ 1,386.45 g, 1,386.46 g, 1,386.43 g และ 1,386.42 g
- 11.6. คำนวณหาค่า  $W_0$  และ  $W_a$  โดยลบด้วยน้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม ( $W_{\text{Adaptor}}$ )

$$W_0 = (W_0 + W_{\text{Adaptor}}) - \text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม } (W_{\text{Adaptor}})$$

$$W_a = (W_a + W_{\text{Adaptor}}) - \text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม } (W_{\text{Adaptor}})$$

แทนค่า

$W_0 + W_{\text{Adaptor}}$ (g)	$W_{\text{Adaptor}}$ (g)	$W_0$ (g)
1,385.31	20.00	1365.31
1,385.29	20.00	1365.29
1,385.28	20.00	1365.28
1,385.28	20.00	1365.25
	เฉลี่ย	1365.29

$$W_0 = 1,385.29 - 20.00 = 1,365.29 \text{ g}$$

และ  $W_a = 1,386.44 - 20.00 = 1,366.44 \text{ g}$

- 11.7. หาค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ (repeatability)  $W_0$  และ  $W_a$  ที่ได้จากชั่งน้ำหนักทั้ง 4 ครั้งต้องไม่เกิน 0.02%

$$\text{Repeatability}_{W_0} = \frac{W_{0\text{max}} - W_{0\text{min}}}{W_{0\text{min}}} \times 100 \leq 0.02\%$$

$$\text{Repeatability}_{W_a} = \frac{W_{a\text{max}} - W_{a\text{min}}}{W_{a\text{min}}} \times 100 \leq 0.02\%$$

แทนค่า

$$\text{Repeatability}_{W_0} = \frac{1365.31 - 1365.28}{1365.28} \times 100 = 0.0022\% \leq 0.02\%$$

$$\text{Repeatability}_{W_a} = \frac{1366.46 - 1366.42}{1366.42} \times 100 = 0.0029\% \leq 0.02\%$$

- 11.8. เติมน้ำเข้าไปในพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมและอัดความดันจนได้ค่าที่ต้องการแล้วปิดวาล์ว บันทึกค่าความดัน เท่ากับ 50 psia และ อุณหภูมิ น้ำ เท่ากับ 24.5°C
- 11.9. กดปุ่มตั้งศูนย์ (Zero) เครื่องชั่ง ทำการชั่งน้ำหนักทั้งตัวพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมขณะมีน้ำอยู่ภายในและอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม (Adaptor) บันทึกเป็นค่า ( $W_f + W_{\text{Adaptor}}$ ) เท่ากับ 2,380.30 g
- 11.10. คำนวณหาค่า  $W_f$  โดยลบด้วยน้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม ( $W_{\text{Adaptor}}$ )

$$W_f = (W_f + W_{\text{Adaptor}}) - \text{น้ำหนักเฉลี่ยอุปกรณ์ที่ต่อพร้อม } (W_{\text{Adaptor}})$$

แทนค่า





ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	17/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

$$W_f = 2,380.30 - 20.00 = 2,360.30 \text{ g}$$

11.11. บันทึกสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 24.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 50.5% และความกดดันอากาศเฉลี่ย 1,009.50 hPa ของห้องปฏิบัติการ

11.12. หาคำนวนหาค่าความหนาแน่นอากาศ

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

แทนค่า

$$\rho_a = \frac{0.34848 \times (1009.50) - 0.009024 \times (50.5) \times e^{(0.0612 \times 24.5)}}{273.15 + (24.5)} = 0.0011750 \text{ g/cm}^3$$

11.13. คำนวนหาค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิวัดได้  $t_w = 24.5 \text{ }^\circ\text{C}$

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

$$\rho_{wt} = 0.9971704 \text{ g/cm}^3$$

11.14. หาค่า  $K_t$

$$K_t = \frac{[50.88496 + (6.163813 \times 10^{-1})t_w + (1.459187 \times 10^{-3})t_w^2 + (20.08438 \times 10^{-6})t_w^3 - (58.47727 \times 10^{-9})t_w^4 + (410.411 \times 10^{-12})t_w^5]}{\{[1 + (19.67348 \times 10^{-3})t_w](14.50377 \times 10^6)\}}$$

แทนค่า  $t_w$  เท่ากับ 24.5 °C

$$K_t = 7.562 \times 10^{-7}$$

11.15. หาค่า  $\bar{K}_{tp}$

$$\bar{K}_{tp} = K_t \left\{ 1.00033 - \frac{(0.217656 \times 10^{-4})(P + P_0)}{2} + (0.8546265 \times 10^{-9}) \left( \frac{P + P_0}{2} \right)^2 \right\}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} K_t &= 7.562 \times 10^{-7} \\ P &= 50 \text{ psia} \\ P_0 &= 14.6959 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{K}_{tp} &= 7.562 \times 10^{-7} \left\{ 1.00033 - \frac{(0.217656 \times 10^{-4})(50 + 14.6959)}{2} + (0.8546265 \times 10^{-9}) \left( \frac{50 + 14.6959}{2} \right)^2 \right\} \\ &= 7.559 \times 10^{-7} \text{ 1/psia} \end{aligned}$$

11.16. หาค่า  $\rho_{wtp}$

$$\rho_{wtp} = \frac{\rho_{wt}}{[1 - (\bar{K}_{tp}(P - P_0))]}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } \rho_{wt} &= 0.9971704 \text{ g/cm}^3 \\ \bar{K}_{tp} &= 7.559 \times 10^{-7} \text{ 1/psia} \\ P &= 50 \text{ psia} \\ P_0 &= 14.6959 \text{ psia} \end{aligned}$$

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	18/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

$$\rho_{Wtp} = \frac{0.9971704}{[1 - (7.559 \times 10^{-7} \times (50 - 14.6959))]}$$

$$= 0.9971970 \quad \text{g/cm}^3$$

11.17. หาค่า  $C_{BW}$

$$C_{BW} = \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wr}}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{\rho_{Wf}}\right)} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{Wf}}\right)$$

แทนค่า

$$\rho_{Wr} = 8.00 \quad \text{g/cm}^3$$

$$\rho_{Wf} = 7.84 \quad \text{g/cm}^3$$

$$\rho_a = 0.0011750 \quad \text{g/cm}^3$$

$$C_{BW} = \frac{\left(1 - \frac{0.0012}{8.00}\right)}{\left(1 - \frac{0.0012}{7.84}\right)} \left(1 - \frac{0.0011750}{7.84}\right)$$

$$= 0.9998532$$

11.18. หาค่าน้ำหนักของน้ำที่อยู่ภายในพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ( $M_W$ )

$$M_W = (W_f - W_o) C_{BW}$$

แทนค่า

$$W_f = 2,360.30 \quad \text{g}$$

$$W_o = 1,365.29 \quad \text{g}$$

$$C_{BW} = 0.9998532$$

$$M_W = (2360.30 - 1365.29) 0.9998532$$

$$= 995.16 \quad \text{g}$$

11.19. หาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิทดสอบและความดันทดสอบ ( $PV_{tp}$ )

$$PV_{tp} = \frac{M_W}{\rho_{Wtp}}$$

แทนค่า

$$M_W = 995.16 \quad \text{g}$$

$$\rho_{Wtp} = 0.9971970 \quad \text{g/cm}^3$$

$$PV_{tp} = \frac{995.16}{0.9971970}$$

$$= 997.96 \quad \text{cm}^3$$

11.20. หาค่าตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกระทำต่อโลหะพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ( $C_{tsP}$ )

$$C_{tsP} = [1 + \gamma_P(t_w - t_0)]$$

แทนค่า

$$t_w = 24.5 \quad \text{°C}$$

$$t_0 = -17.8 \quad \text{°C}$$

$$\gamma_P = 0.00005184 \quad (1/\text{°C})$$

$$C_{tsP} = [1 + 0.00005184 \times (24.5 - (-17.8))]$$

$$= 1.0021928$$



ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	19/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

11.21. หาค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิอ้างอิงและความดันทดสอบ ( $PV_{0p}$ )

$$PV_{0p} = \frac{PV_{tp}}{C_{tsp}}$$

แทนค่า  $PV_{tp} = 997.96 \text{ cm}^3$

$C_{tsp} = 1.0021928$

$$PV_{0p} = \frac{997.96}{1.0021928}$$

$$= 995.78 \text{ cm}^3$$

11.22. เมื่อทำการสอบเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมครบทั้ง 5 ความดันที่ต้องการ

ทดสอบที่ความดัน		ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม ณ อุณหภูมิอ้างอิงและความดันทดสอบ ( $PV_{0p}$ ) ( $\text{cm}^3$ )
(psia)	(kPa.ab)	
50	344.738	995.78
200	1,378.952	995.95
800	5,515.808	996.82
1,000	6,894.760	997.24
1,500	1,0342.140	998.95

\*\*\* 1 psi = 6.89476 kPa

นำค่าปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความดันสมบูรณ์ทดสอบ (P) เป็นแกน X กับปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันสมบูรณ์ทดสอบเทียบ (P) ( $PV_{0p}$ ) เป็นแกน Y หรือใช้วิธี Least-squares method เราจะได้

จาก  $PV_{0p} = [PBV + E_P(P - P_0)]$  เมื่อจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้ว่า

$$y = a_0 + a_1x \tag{23}$$

เมื่อ  $y =$  ปริมาตรพิคะโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิใดๆ ( $t$ ) และความดันใดๆ (P) ( $PV_{tp}$ )

$x =$  ความดันทดสอบ (P)

โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์  $a_0$  และ  $a_1$  หาได้จากการแก้สมการ 2 สมการดังข้างล่าง

$$\begin{aligned} \sum y_i &= a_0 n + a_1 \sum x_i \\ \sum (x_i y_i) &= a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 \end{aligned} \tag{24}$$

i=	1	2	3	4	5	
$\sum y_i$	995.78	995.95	996.82	997.24	998.95	<b>4,984.74</b>
$\sum x_i$	50	200	800	1,000	1,500	<b>3,550</b>
$\sum x_i^2$	2,500	40,000	640,000	1,000,000	2,250,000	<b>3,932,500</b>
$\sum (x_i y_i)$	49,789	199,190	797,456	997,240	1,498,425	<b>3,542,100</b>



# ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	20/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned} 4,984.74 &= a_0 \times 5 + a_1 \times 3,550 \\ 3,542,100 &= a_0 \times 3,550 + a_1 \times 3,932,500 \end{aligned}$$

ทำการหา Determination (DET)

$$D_0 = \begin{vmatrix} 5 & 3550 \\ 3550 & 3932500 \end{vmatrix} = (3932500 \times 5) - (3550 \times 3550) = 7060000$$

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} 4984.74 & 3550 \\ 3542100 & 3932500 \end{vmatrix}}{D_0} = \frac{7028035050.00}{7060000} = 995.4723867$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} 5 & 4984.74 \\ 3550 & 3542100 \end{vmatrix}}{D_0} = \frac{14673}{7060000} = 0.002078328$$

$$y = 995.4723 + 0.002078328x$$

เพื่อตรวจสอบว่าการ Fitted Curve ด้วยสมการดังกล่าวเหมาะสมกับข้อมูลจริงหรือไม่เราต้องทำการตรวจสอบผลของ Linear Regression ด้วยสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า "Correlation Coefficient"

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \tag{25}$$

เมื่อ  $\bar{x}, \bar{y}$  ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $x_i$  และ  $y_i$   
 $S_x, S_y$  ค่า Standard Deviation ของตัวอย่าง

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{26}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \tag{27}$$

n จำนวนตัวอย่าง

ค่า R จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 หรือ+1 และ R ที่ติดใกล้ค่า -1 หรือ+1 ค่า R ซึ่งยังมีค่าเข้าใกล้ 1.0000 มากเท่าไรแสดงว่าสมการที่ทำได้มานั้นมีลักษณะเข้าใกล้กราฟที่ได้จากการสอบเทียบจริงเท่านั้น

i=	1	2	3	4	5	
$\bar{y}$	995.78	995.95	996.82	997.24	998.95	<b>996.948</b>
$\bar{x}$	50	200	800	1,000	1,500	<b>710</b>
$\frac{y_i - \bar{y}}{S_y}$	-0.918384881	-0.7847158	-0.100645	0.2295962	1.5741494	
$\frac{x_i - \bar{x}}{S_x}$	-1.110852976	-0.8583864	0.15148	0.4881021	1.3296574	
$\left( \frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right)$	1.020190578	0.673589	-0.01525	0.112066	2.093079	<b>3.883680043</b>

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 594.138$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = 1.271798$$

ดังนั้น

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) = \frac{1}{5-1} (3.8836800) = 0.97092$$

$$R^2 = 0.942685$$

เราได้สมการเส้นตรง คือ

$$y = 995.4723 + 0.002078328x$$

จากนั้นจัดสมการเป็น

$$\begin{aligned} PV_{0p} &= [PBV + E_p(P - P_0)] \\ &= 995.4723 + 0.002078328(P - P_0) \end{aligned}$$

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่าเป็นความสัมพันธ์สมการเส้นตรง จะได้ว่า PBV คือ

- ค่าจุดตัดแกน Y จะมีค่าเท่ากับปริมาตรพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) ที่  $-17.8^\circ\text{C}$  และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง ( $P_0$ ) ที่ 14.6959 psia (PBV) เท่ากับ  $995.4723 \text{ cm}^3$
- ค่าความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ  $E_p$  Coefficient of expansion due to internal pressure on pycnometer เท่ากับ 0.002078328 1/psia
- ค่าสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า “Correlation Coefficient” ( $R^2$ ) จากการ Fitted Curve ด้วยวิธี the Least Square เพื่อหาสมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์และปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงนี้ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.9400

การรายงานผลการสอบเทียบปริมาตรพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิใดๆ ( $t$ ) และความดันใดๆ ( $P$ ) ( $PV_{tp}$ ) หาได้ภายหลังคำนวณหาค่าปริมาตรพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันทดสอบ ( $P$ ) ( $PV_{0p}$ ) จากนั้นทำการแก้ไขค่าด้วยสมการ

$$\begin{aligned} PV_{tp} &= PV_{0p} \times C_{isP} \\ &= [PBV + E_p(P - P_0)][1 + \gamma_p(t_w - t_0)] \end{aligned}$$

เมื่อ PBV = ปริมาตรพิเศษโนมิเตอร์ทรงกลมที่สภาวะอุณหภูมิอ้างอิง ( $t_0$ ) และความดันสัมบูรณ์อ้างอิง ( $P_0$ )

จะได้ว่า

$$PV_{tp} = [995.4723 + 0.002078328(P - P_0)][1 + 0.00005184(t_w - t_0)]$$

#### หมายเหตุ

เมื่อนำ Pyknometer ไปใช้งานภาคสนาม ก่อนใช้งานควรทำการตรวจสอบ Pyknometer ทุกครั้งก่อนใช้ (Field Verification of Pyknometer Certification) เพื่อให้แน่ใจว่าค่า PBV และ  $W_0$  ที่ทำได้จากการทดสอบในภาคสนามไม่ Drift เกินไปจากค่าที่ปรากฏในใบรายงานผลการสอบเทียบเกินกว่า 0.02% หากพบว่ามีความต่างไปเกิน 0.02% ให้ส่งทำการสอบเทียบใหม่ ก่อนใช้งานครั้งต่อไป

12. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)



สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

CENTRAL BUREAU OF WEIGHTS & MEASURES

รายงานผลการสอบเทียบ (Calibration Report)

เลขที่รายงาน  
Report No. 0001V-62  
วันที่สอบเทียบ  
Calibration Date 5 มกราคม 2562  
5 January 2019  
สถานที่สอบเทียบ  
Calibration Place สำนักชั่งตวงวัด  
CBWM, Nonthaburi, TH

เจ้าของเครื่องตวง  
Owner สำนักชั่งตวงวัด  
CBWM, Nonthaburi, TH  
เลขลำดับประจำเครื่อง  
CBWM Official No. 702-0001-62

สภาวะแวดล้อม (Environment)  
อุณหภูมิ  
Temperature 25 ± 2 °C  
ความชื้นสัมพัทธ์  
Relative Humidity 50 ± 10 %RH  
ความดันบรรยากาศ  
Atmosphere Pressure 1015 ± 10 hPa

ข้อมูลเครื่องตวงขนาดเล็ก (Small Volume Measuring Device Data)

ประเภทเครื่องตวง  
Type Sphere Pycnometer  
พิกัดกำลังเครื่องตวง  
Capacity 1,000 มล.  
ผู้ผลิต  
Manufacturer Arcco-Anubis  
รุ่น  
Type Thermos  
หมายเลขลำดับการผลิต  
Serial No. 5555  
วัสดุที่ใช้ทำ  
Fabricated Material Stainless Steel 316  
ส.ป.ขยายตัวตามความร้อน  
Thermal Expansion Coefficient 0.0000477 °C<sup>-1</sup>  
อุณหภูมิอ้างอิง  
Reference Temperature 15 °C  
ความดันอ้างอิง  
Reference Pressure 101.325 kPa (abs.)  
ตัวกลางสอบเทียบ  
Calibration Media น้ำกลั่นสองครั้ง  
Double-Distilled Water

วิธีการสอบเทียบ (Calibration Procedure)

สอบเทียบพิคโนมิเตอร์โดยวิธีชั่งน้ำหนักอ้างอิงตามวิธีการในเอกสาร API Chapter 14 Section 6 Second Edition, April 1991  
Base on the water weight method described in API Chapter 14 Section 6 Second Edition, April 1991.

แบบมาตรฐานอ้างอิงและเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ (Reference Standards and Instruments Used in Calibration)

คําน้ำหนักแบบมาตรฐาน Standard Mass	แบบมาตรฐานหมายเลข Working Standard No.	เลขที่ใบรายงาน Certificate No.	พิกัดกำลัง Capacity (g, °C, Psi)	ขีดขั้้นหมายมาตราค่าสุด Resolution (Class, g, °C, Psi)
เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Weighing Instrument	SS13131	C02151086	1 mg - 5kg	F1
เครื่องวัดอุณหภูมิ Temperature Device	LA 6200S-OCE	C01162208	6200	0.1
เครื่องวัดความดัน Pressure Device	7C-16815	151826	-40-204	0.01
	8630626356	18P596	0-1000	0.01

ผลการสอบเทียบ (Calibration Result)

ความดันสัมบูรณ์ทดสอบ Under Absolute Pressure ; kPa(a)	ปริมาตรพิคโนมิเตอร์ที่อุณหภูมิอ้างอิง 15 °C Prover Volume at Ref. Temperature @15 °C ; ml	ความสามารถในการทำซ้ำได้ Repeatability; %
1. 483.27	983.27	0.012
2. 690.58	983.28	0.010
3. 897.63	983.31	0.004
4. 1,104.45	983.30	0.003
5. 1,311.27	983.33	0.008
6. 1,518.08	983.32	0.006
7. 1,724.87	983.34	0.007
8. 1,931.66	983.35	0.003
9. 2,138.46	983.36	0.005
10. 2,345.17	983.37	0.005

น้ำหนักพิคโนมิเตอร์บรรจุอากาศไม่รวมข้อต่อ เท่ากับ 1908.63 g.

น้ำหนักพิคโนมิเตอร์บรรจุอากาศไม่รวมข้อต่อ เท่ากับ 1906.73 g.

Weight of Air Filled Pycnometer without Adaptor is 1908.63 g.

Weight of Vacuum Pycnometer without Adaptor is 1906.73 g.

ปริมาตรแก้ไขของพิคโนมิเตอร์ (Correction Volume)

$$PV_{tp} = [ 983.256^* + (0.000049 \times (P - 101.325)) ]^{**} \times [ 1 + 0.0000477 \times (T - 15) ] \quad \text{ml}$$

เมื่ออุณหภูมิใช้งาน (T) องศาเซลเซียส และความดันสัมบูรณ์ใช้งาน (P) kPa (a)

Operating Temperature (T) in Celsius and Operating Absolute Pressure (P) in kPa (a).

(\* Pycnometer Base Volume (PBV) at 15 °C and absolute pressure 101.325 kPa(a) by using the least squares method (\*\*).

เจ้าหน้าที่สอบเทียบ  
Person in Charge  
นายพิชญ บุญดิษฐ์  
Mr. Phitsanu Boondit

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ  
Head of Laboratory  
นายสาธิต ชูสุวรรณ  
Mr. Satit Chusurwan



## ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่

หน้า/จำนวนรวม 23/26

ผู้ทบทวน

ผู้อนุมัติ

ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด

วันที่มีผลบังคับใช้

x xxxxxx xxxx

### 13. เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบความเที่ยง

- 13.1. การสอบเทียบเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ต้องมีผลการสอบเทียบไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด  $\pm 0.1\%$  ของพิกัดกำลังเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม
- 13.2. ความสามารถในการทำซ้ำได้ (Repeatability) ไม่เกิน 0.02%
- 13.3. ค่าผลผิด (Error) คือผลต่างค่าปริมาณที่วัดได้เทียบกับค่าปริมาณของแบบมาตรฐานไม่เกิน 2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด หรือหากค่าผลผิดมีค่าเกิน 2/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด แต่ต้องเป็นไปตามข้อ 13.1
- 13.4. ค่าสัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า “Correlation Coefficient” ( $R^2$ ) จากการ Fitted Curve ด้วยวิธี the Least Square เพื่อหาสมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์และปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงนี้ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.9400
- 13.5. ผลรวมสัมบูรณ์ของค่าความไม่แน่นอนของการวัด และค่าผลผิด (Error) ไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ข้อ 13.1

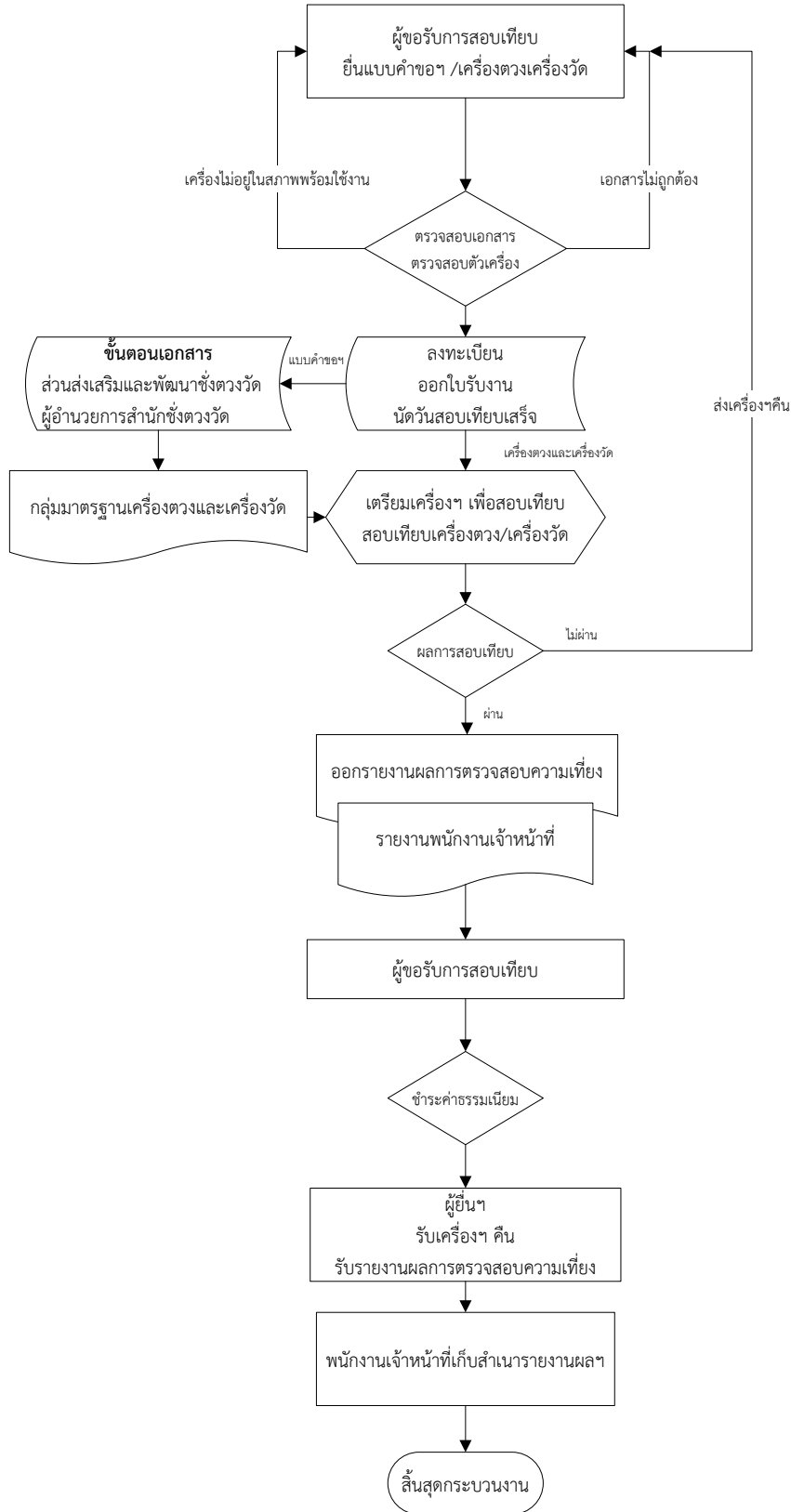
สรุป เครื่องตวงต้องให้ผลการสอบเทียบครบทั้ง 4 เงื่อนไขจึงถือว่าผ่านการสอบเทียบ อย่างไรก็ตาม ให้พิจารณาตามความเหมาะสมและการนำไปใช้ของเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) นั้นๆ ด้วย โดยดุลยพินิจและการตัดสินใจของหัวหน้าห้องปฏิบัติการ

### 14. แบบฟอร์ม สำหรับการปฏิบัติงานสอบเทียบพิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกผลการสอบเทียบ

WS-VOL-1091

15. ผังแสดงทางเดินงานและเอกสาร







**ชตว**  
**CBWM**

## ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการใช้ชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่	
หน้า/จำนวนรวม	25/26
ผู้ทบทวน	
ผู้อนุมัติ	ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด
วันที่มีผลบังคับใช้	x xxxxxx xxxx

### 16. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

- 16.1. OPT-VOL-004 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermoprobe รุ่น TP-7
- 16.2. OPT-VOL-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 16.3. OPT-LEN-003 คู่มือการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)
- 16.4. OPT-LEN-005 คู่มือการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Humidity and Temperature Transmitter)



**ชตว**  
**CBWM**

**ขั้นตอนการปฏิบัติงานสอบเทียบ SOP-VOL-109**

พิคะโนมิเตอร์ทรงกลม (Sphere Pyknometer) ด้วยการชั่งน้ำหนัก

ปรับปรุงครั้งที่

หน้า/จำนวนรวม 26/26

ผู้ทบทวน

ผู้อนุมัติ

ผู้อำนวยการสำนักชั่งตวงวัด

วันที่มีผลบังคับใช้

x xxxxxx xxxx

**เอกสารอ้างอิงในการประกอบจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน**

1. API Manual of Petroleum Measurement Standard, Chapter 14 - Natural Gas Fluids Measurement, Section 6 Continuous Density Measurement, SECOND EDITION, APRIL 1991
2. M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement Edition 1, UKAS (United Kingdom Accreditation Service), December 2007
3. การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร (ฉบับปรับปรุง) จรินทร์ สุทธานารักษ์, สาธิต ชูสุวรรณ สำนักงานกลางชั่งตวงวัด, กระทรวงพาณิชย์