

UPDATE M

สมท. สาร ปีที่ 26 ฉบับที่ 2 เดือนเมษายน - มิถุนายน ปี 2564



Image by rawpixel.com

หน้า

2

แสดงความยินดีกับ 3 บุคลากรผู้ได้รับรางวัล APMP Awards 2020

3

การเฝ้าระวังความสามารถของห้องปฏิบัติการ โดยวิธีเปรียบเทียบผลการวัดความดันระหว่างห้องปฏิบัติการ

38

กำหนดการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2563

Image by rawpixel.com



สวัสดีค่ะ ท่านสมาชิกสมาคมฯและท่านผู้อ่านทุกท่าน

ก่อนอื่นต้องขอแสดงความยินดีกับผู้อำนวยการสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติและพนักงานทั้ง 2 ท่านที่ได้รับรางวัล Technical Activity Award จาก APMP (Asia Pacific Metrology Programme) รายละเอียดอยู่ในฉบับนี้ค่ะ จะเห็นได้ว่านักมาตรวิทยาของไทยไม่ได้เป็นรองใครในภูมิภาค ดังนั้นจงมั่นใจในผลการวัดของประเทศไทยค่ะ

กิจกรรมการเปรียบเทียบผลการวัดที่สมาคมฯ ดำเนินการอยู่ เป็นส่วนสำคัญที่สนับสนุนขีดความสามารถของเราค่ะ จึงอยากขอเชิญชวนให้เข้าร่วมนะค่ะ อีกประการหนึ่ง สมาคมฯกำหนดการจัดประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2563 ผ่านระบบ zoom ในวันที่ 11 สิงหาคม 2564 นี้
ขอเรียนเชิญทุกท่านด้วยค่ะ

สุดท้ายนี้ ขอให้ทุกท่านระมัดระวังตัวอย่างเคร่งครัดเพื่อจะได้ปลอดภัยจากโควิด-19 ไปด้วยกันทุกคนค่ะ

พบกันใหม่ฉบับหน้า

ดร. ลักขมี ปลั่งแสงมาศ

นายกสมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย

บรรณาธิการ

ดร.ลักขมี ปลั่งแสงมาศ

นายเชื้อมศักดิ์กร สิ้นชัยศรี

ดร.ปนัดดา ชิลวา



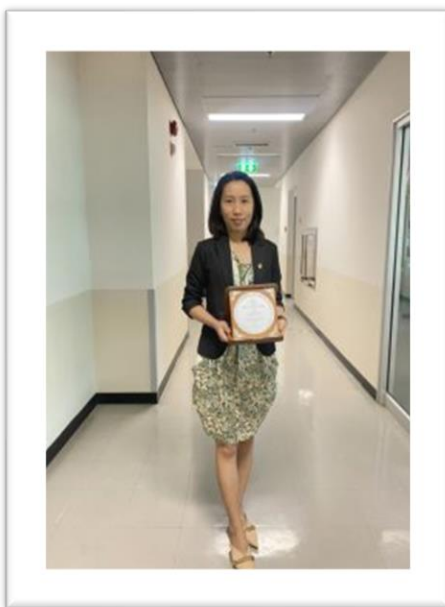
มว.ขอแสดงความยินดีกับ 3 บุคลากรผู้ได้รับรางวัล APMP Awards 2020 จาก Asia Pacific Metrology Programme (APMP) โดยมีนางอัจฉรา เจริญสุข ผู้อำนวยการมว. ได้รับรางวัล APMP Technical Activity Award, EEFG Chair ดร.จรียา บัวเจริญ หัวหน้าฝ่ายมาตรวิทยามิติ ได้รับรางวัล APMP Technical Activity Award, TCL Chair และ ดร.กิตติยา เขียร์แมน นักมาตรวิทยาชำนาญการพิเศษ กลุ่มงานวิเคราะห์อินทรีย์เคมีฝ่ายมาตรวิทยาเคมีและชีวภาพ ได้รับรางวัล APMP Young Metrologist Prize DEN for Developing Economies.

ในนามของพนักงาน มว. ขอแสดงความยินดีกับทั้ง 3 ท่านที่มีส่วนสร้างชื่อเสียงทำให้สถาบันได้รับการยอมรับบนเวทีมาตรวิทยาระหว่างประเทศ และด้วยศักยภาพดังกล่าวจะเป็นเครื่องพิสูจน์ถึงความสามารถทางการวัดของประเทศที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล



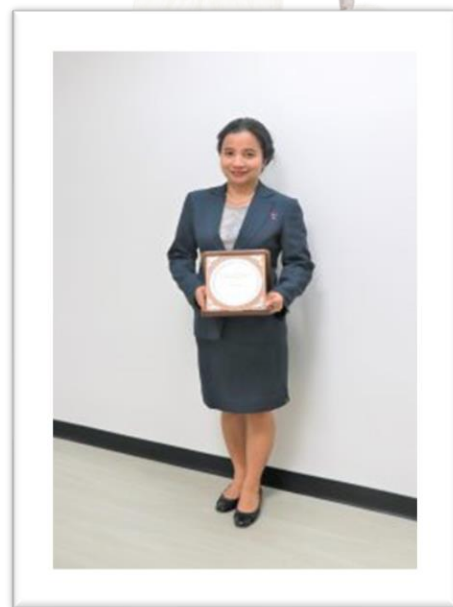
นางอัจฉรา เจริญสุข
ผู้อำนวยการมว.
ได้รับรางวัล

APMP Technical Activity Award,
EEFG Chair



ดร.จรียา บัวเจริญ
หัวหน้าฝ่ายมาตรวิทยามิติ
ได้รับรางวัล

APMP Technical Activity Award,
TCL Chair



ดร.กิตติยา เขียร์แมน
นักมาตรวิทยาชำนาญการพิเศษ
กลุ่มงานวิเคราะห์อินทรีย์เคมี
ฝ่ายมาตรวิทยาเคมีและชีวภาพ
ได้รับรางวัล

APMP Young Metrologist Prize DEN for
Developing

การเฝ้าระวังความสามารถของห้องปฏิบัติการ
โดยวิธีเปรียบเทียบผลการวัดความดันระหว่างห้องปฏิบัติการ
Monitoring the performance of the laboratory by comparing
the pressure measurement results between laboratories

รองศาสตราจารย์ ชัชวาล พรพัฒน์กุล*

อาจารย์ กิตติเดช พาน้อย**

*กรรมการสมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย

**ประธานกรรมการผู้จัดการ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด

คำนำ

เครื่องวัดความดันเป็นเครื่องวัดที่มีความสำคัญตัวแปรหนึ่งในงานอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เครื่องวัดความดันจะต้องเป็นไปตามคุณลักษณะที่กำหนดตามมาตรฐานการสอบเทียบ ในที่นี้จะใช้แนวทางมาตรฐานตาม DKD-R 6-1: 2014 เนื่องจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ มอก. 17025-2561 (ISO/IEC 17025:2017) โดยข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2561 ซึ่งมีประเด็นที่สำคัญคือเรื่อง

ก. การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ (Inter-laboratory comparison)

เป็นการจัดการ การดำเนินการและการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบสิ่งเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน โดยห้องปฏิบัติการสองแห่งหรือมากกว่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

(ISO/IEC 17043:2010. ข้อ 3.4)

ข. การเปรียบเทียบผลภายในห้องปฏิบัติการ (Intra-laboratory comparison)

เป็นการจัดการ การดำเนินการและการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบสิ่งเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน ภายในห้องปฏิบัติการเดียวกัน ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ค. การทดสอบความชำนาญ (Proficiency testing)

เป็นการประเมินความสามารถของผู้เข้าร่วมเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าโดยวิธีการ

เปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ (ประยุกต์จาก ISO/IEC 17043:2010. ข้อ 3.7 โดยตัด “หมายเหตุ” ออก)

ง. การทวนสอบ (Verification)

เป็นการจัดหาหลักฐานยืนยันว่า สิ่งนั้น (given item) เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะ เช่น การยืนยันว่าค่าความไม่แน่นอนของการวัดตรงตามเป้าหมาย

- จ. การตรวจสอบความใช้ได้ (Validation)
เป็นการทวนสอบว่า ข้อกำหนดต่างๆ ที่ระบุเหมาะสมกับการนำไปใช้งานตามที่กำหนด
- ฉ. การตรวจสอบเครื่องมือมาตรฐานระหว่างการใช้งาน (Intermediate check)
- ช. ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (Metrological traceability)
- ซ. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Evaluation of measurement uncertainty)

1. หลักการทั่วไปของความดัน

1.1 นิยามของความดัน

ขนาดของความดัน 1 Pascal (Pa) คือ แรง 1 นิวตัน (N) ที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ 1 ตารางเมตร (m^2) ซึ่งกระทำ ณ พื้นผิวใดก็ได้ โดยที่ แรง 1 N คือแรงที่ทำให้มวล 1 kg เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร่ง $1m \cdot s^{-2}$ มวล ความยาว และ เวลา คือหน่วยฐานของความดัน

จากการประชุมใหญ่ของสมัชชาสหประชาชาติว่าด้วยการชั่ง ตวง วัด (The General Conference on Weights and Measures, CGPM) ครั้งที่ 26 เมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2561 ณ เมืองแวร์ซายส์ ประเทศฝรั่งเศส ได้มีมติให้ยกเลิกนิยามของหน่วยฐาน (base unit) ทั้ง 7 หน่วย ที่ใช้อยู่ ณ วันประชุม และกำหนดค่าเชิงตัวเลข (Numerical value) ให้กับค่าคงตัวทางฟิสิกส์ (Physical constant) ทั้ง 7 ตัว โดยให้มีผลบังคับตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม 2562 เป็นต้นไป ถือเป็นการปรับเปลี่ยนปรัชญา หรือแนวคิดในการนิยามหน่วยฐาน (base unit) ครั้งใหญ่และสำคัญยิ่ง เป็นการนำความรู้จากฟิสิกส์เชิงควอนตัมและทฤษฎีสัมพัทธภาพ มาประยุกต์ทั้งระบบ (ในบทความนี้ ยกมาเฉพาะที่เป็นหน่วยฐานของความดันเท่านั้น)

มวล : “กิโลกรัม” (kilogram, kg) ได้รับการนิยามโดยกำหนดให้ค่าคงตัวของพลังค์ (Planck)

ใช้สัญลักษณ์ h มีค่าเชิงตัวเลข $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ ในหน่วย $kg\ m^2\ s^{-1}$ หรือ $J\ s$

ความยาว : “เมตร” (metre, m) ได้รับการนิยามโดยกำหนดให้ ความเร็วแสงในสุญญากาศ

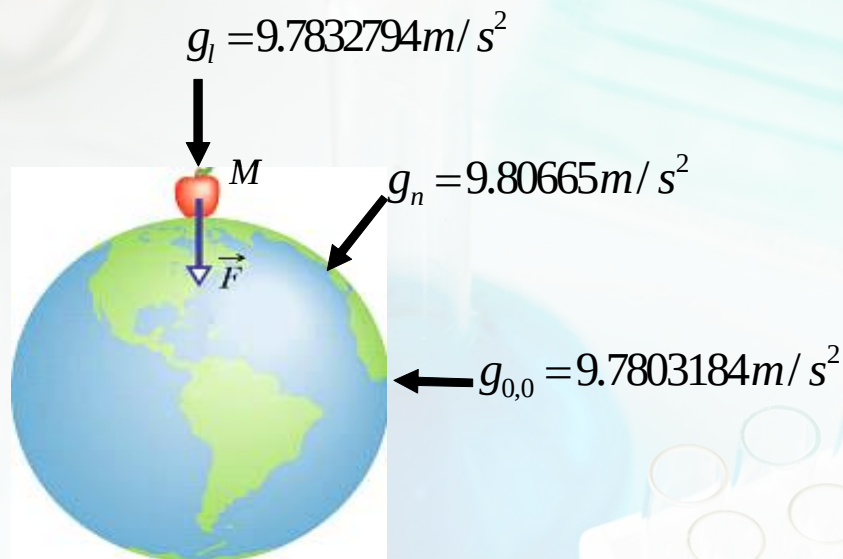
มีค่า $299\ 792\ 458$ ในหน่วย $m\ s^{-1}$ ใช้สัญลักษณ์ c

เวลา : “วินาที” (second, s) ได้รับการนิยามโดยกำหนดให้ ความถี่ของการเปลี่ยนชั้นพลังงาน

ไฮเปอร์ไฟน์ของสถานะพื้นที่ไม่ถูกรบกวนของอะตอมซีเซียม 133

มีค่า $9\ 192\ 631\ 770$ ในหน่วย s^{-1} หรือ Hz ใช้สัญลักษณ์ $\Delta\nu_{Cs}$

เนื่องจากแรง F เกิดจากน้ำหนักของมวล m ในทิศทางของ g_L ทิศทางของ g_L จะเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง มวล และแรงโน้มถ่วงของโลก

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g_l}{A} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2} = \frac{N}{m^2} = Pascal(Pa) \quad (1)$$

p คือ pressure ความดัน มีหน่วยเป็น Pascal ; Pa

F คือ force แรงที่กระทำ มีหน่วยเป็น Newton ; N

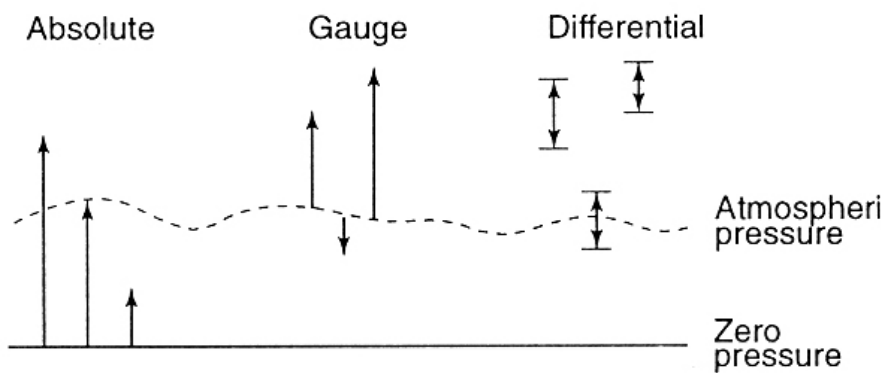
m คือ mass มวล มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ; kg

A คือ area พื้นที่ที่ถูกแรงกระทำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร ; m^2

g_n คือ standard gravity ค่าอัตราเร่งแรงโน้มถ่วงของโลกมาตรฐาน (9.80665 m/s^2)

g_l คือ local gravity ค่าอัตราเร่งแรงโน้มถ่วงของโลก ณ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด (9.7832794 m/s^2)

$g_{0,0}$ คือ ค่าอัตราเร่งแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการคำนวณที่เส้นศูนย์สูตรของโลก และระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง 9.7803184 m/s^2



ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย
 $1.012 \text{ bar}_{\text{abs}}$ ประมาณ 10^5 Pa

รูปที่ 2 ช่วงต่างๆของความดัน

Atmospheric Pressure (p_{atm}) คือ ความดันบรรยากาศ ณ จุดใดๆบนพื้นโลก จะแตกต่างกัน $\pm 5\%$

Gauge Pressure (p_g) คือ ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไปเรียกว่าความดันเกจ

Negative Gauge Pressure (p_N) คือ ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศลงมาเรียกว่าความดันเกจลบ

Vacuum Pressure (p_v) คือความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศลงมาจนถึงจุดศูนย์ความดันสัมบูรณ์

Zero Absolute Pressure (p_0) คือความดันต่ำที่สุด เรียกว่า จุดศูนย์ความดันสัมบูรณ์

Absolute Pressure (p_{abs}) คือความดันที่เริ่มจากจุดศูนย์ความดันสัมบูรณ์ขึ้นไปเรียกว่าความดันสัมบูรณ์

Differential Pressure ($p_d, \Delta p$) คือความดันที่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันเกจสองจุด

$$p_{\text{abs}} = p_g + p_{\text{atm}} \quad (2)$$

1.2 วิธีการคำนวณค่าอัตราความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการสอบเทียบ (local gravity)

แนะนำโดย International Association of Geodesy (IAG) เป็นวิธีการที่ให้ค่าความถูกต้อง แม่นยำถึง 50 ppm (part per million ; $1/10^6$) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

$$g_{\phi, h} = g_{0,0} (1 + \beta_1 \sin^2 \phi - \beta_2 \sin^2 2\phi) - 3.086 \times 10^{-6} h \quad (3)$$

โดยที่

$g_{\phi,h}$ คือค่าอัตราเร่งแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการคำนวณที่ latitude ϕ และ ความสูง h ,
(ณ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด 9.7832794 m/s^2)

$g_{0,0}$ คือค่าความเร่งที่จากการคำนวณที่เส้นศูนย์สูตรของโลก และระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง
 9.7803184 m/s^2

h คือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง (ชั้น 2) ; 6.24 m

β_1 คือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.0053024

β_2 คือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.0000059

พิกัดทางภูมิศาสตร์ของบริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด (9.7832794 m/s^2)

ค่า Latitude ϕ เท่ากับ $13^\circ 54' \text{ N} = 13 + (54/60) = 13.90^\circ \text{N}$

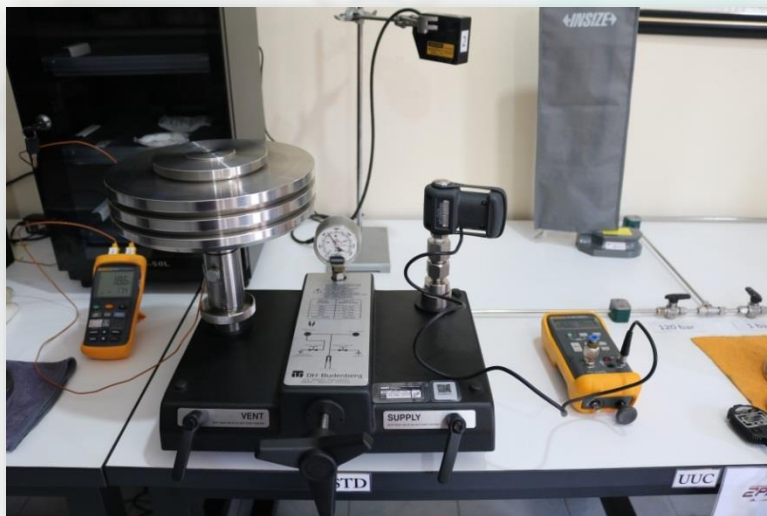
โดยที่ $1^\circ = 60'$; $1' = 60''$

ค่า Longitude 100.5261567° ตะวันออก แต่ค่านี้ไม่มีผลกระทบต่อแรงโน้มถ่วงของโลกจึงไม่ต้องนำมาคำนวณ
ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง $h = 2 \text{ m} + \text{ความสูงตึกชั้น 2} + \text{ความสูงโต๊ะ} = 6.24 \text{ m}$ แทนค่าต่างๆใน
สมการที่ 3 จะได้ค่า local gravity ณ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด ดังนี้

$$\begin{aligned} g_{13.9,6.24} &= 9.7803184 \left(\frac{1 + 0.0053024 \sin^2 13.90}{-0.0000059 \sin^2 27.78} \right) - 3.086 \times 10^{-6} \times 6.24 \\ &= 9.7832794 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

2. ขั้นตอนกระบวนการทดสอบความชำนาญ (Proficiency test)

ในบทความนี้จะเป็นการสอบเทียบเครื่องวัดความดันแบบ Pressure module range 0-70 bar มีค่า accuracy (ความแม่นยำ) $\pm 1.0\%$ of FS., uncertainty $\pm 0.050\%$ of FS. ต่อร่วมกับ Pressure calibrator มีค่า accuracy (ความแม่นยำ) $\pm 0.025\%$ of FS. (artefact) ในที่นี้จะเรียกว่า UUC (Unit under calibration) โดยทำการเปรียบเทียบค่าความดันมาตรฐานจาก Pneumatic Dead Weight Tester 120 bar มีค่า accuracy (ความแม่นยำ) $\pm 0.015\%$ of FS. หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปคือ Dead weight tester or Pressure piston gauge ในที่นี้จะเรียกว่า STD (Standard)



รูปที่ 3 Pressure Instrument calibration set up by Pressure Balance

2.1 ขอบข่ายการสอบเทียบ:

Parameter	Calibration and Measurement Capability	Calibration Method
Pressure Measuring Instrument (Positive gauge pressure) Pressure medium : N ₂	Range : 6 bar to 120 bar CMC : 1.10×10^{-5}	Base on DKD-R 6-1 Comparison with Standard Pneumatic Dead Weight Tester

2.2 เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้:

Equipment used	Specifications Requirement
1. Pneumatic Dead Weight Tester DH-Budenberg 550 S/N: 2PN-PWT-120B PCU: 530K Mass set No.: A9853 Certificate No. MP-0175-19 (16/09/2019)	Range : 6 to 120 bar Max Uncertainty (k=2) : 0.0061 bar

Equipment used	Specifications Requirement
2. Barometric Indicator, Model : DPI142 S/N : 2680108 Certificate No. 20P3745 (15/09/2020)	Range : 0.5 to 50 psi (35 to 3500 mbar) Uncertainty (k=2) : ± 0.0017 mbar
3. Thermo - Hygrometer, Model : 1620 S/N : A64096/2626-S/A64188 Certificate No. EL23410/20 (24/08/2020)	Range : 0°C to 50°C (32°F to 122°F); 0 % RH to 100 % Uncertainty (k=2) : Temp. $\pm 0.60^{\circ}\text{C}$: Relative Humidity ± 3.2 %
4. Thermometer, Model : 54 IIB S/N : 40290534WS Certificate No. EL23405/20 (24/08/2020)	Range : -10°C to 50°C Uncertainty (k=2) : $\pm 0.70^{\circ}\text{C}$
5. Manometer with ruler Certificate No. DL23337/20 (28/08/2020)	Range : 0 to 600 mm Uncertainty (k=2) : ± 5 mm

2.3 สภาพแวดล้อมที่ควบคุม :

อุณหภูมิห้อง (18 ถึง 28)°C (ระหว่างการสอบเทียบต้องควบคุมอุณหภูมิไม่มากกว่า $\pm 2^{\circ}\text{C}$ เช่น กรณีนี้ ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิห้องสอบเทียบไว้ที่ 23°C, ดังนั้น ระหว่างทำการสอบเทียบอุณหภูมิห้องจะต้องอยู่ระหว่าง 21°C - 25°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (40 ถึง 70) %

3. การเตรียมความพร้อมและข้อควรปฏิบัติขั้นต้น

3.1 ศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานตามคู่มือนี้ให้ละเอียดก่อนทำการสอบเทียบ

3.2 ตรวจสอบสภาพของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบในเบื้องต้นว่าอยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการสอบเทียบได้หรือไม่ ตรวจสอบสภาพภายนอกว่ามีส่วนแตกหักเสียหายที่เห็นจากภายนอกหรือไม่ และตรวจสอบว่าเครื่องมือใช้ก๊าซหรือน้ำมันในการสอบเทียบ (ดูจากใบคำคำขอสอบเทียบของลูกค้า) ถ้ามีข้อความว่า “ Calibrated on air ” , “ Use No Oil ” , หรือ สัญลักษณ์ ตามรูปที่ 4 แสดงว่าห้ามใช้น้ำมันในการสอบเทียบ ถ้าเครื่องมือที่ใช้ก๊าซในการสอบเทียบต้องไม่มีคราบน้ำมันปนเปื้อน ให้สังเกตบริเวณ pressure port ถ้าพบว่ามีคราบน้ำมันให้หยุดการทำงาน พร้อมแจ้งลูกค้าทราบทันที



รูปที่ 4 สัญลักษณ์ห้ามใช้น้ำมัน

กรณีที่ เป็น Analog ตรวจสอบเข็มของ UUC ว่าชี้ที่ตำแหน่ง Zero หรือไม่ เข็มมีการบิดหักงอหรือไม่ ตรวจสอบ Scale และหน้าปัดต้องไม่ลบบเลือน กรณีที่พบสิ่งผิดปกติให้บันทึกไว้ใน Test Record พร้อมทั้งแจ้งให้ลูกค้าทราบ ถ้ามีสภาพปกติให้ปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไป

กรณีที่ เป็น Digital ตรวจสอบ UUC ว่าสามารถใช้งานกับแรงดันไฟฟ้า 220 VAC หรือ 110 VAC และให้ตรวจสอบสายดินว่ามีการต่อกับระบบไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการอย่างถูกต้องหรือไม่ (ในกรณีที่ UUC จำเป็นต้องต่อสายดิน) ถ้า UUC ใช้งานกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะต้องมี Adapter ที่เหมาะสม ในกรณี UUC ใช้งานกับ Battery จะต้องใช้ Battery ที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ หลังจากนั้นให้ทดลองเปิดเครื่องถ้าปกติให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

3.3 นำ UUC และ STD เก็บไว้ในสภาวะที่ควบคุมของห้องปฏิบัติการอย่างน้อย 30 นาที หรือตาม คู่มือที่ผู้ผลิตแนะนำก่อนทำการสอบเทียบ

3.4 ปรับขาตั้ง Foot ของ STD ให้ Spirit Level ตั้งฉากกับแนวระดับ (ลูกน้ำจะอยู่ตรงกลางของ Spirit Level พอดี)



รูปที่ 5 ปรับขาตั้ง Foot ของ STD ให้ Spirit Level ตั้งฉากกับแนวระดับ

3.5 ตรวจสอบเครื่องมือมาตรฐานว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ เช่นป้ายสถานะวันครบกำหนดสอบเทียบ อุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ

3.6 เปิด Switch on UUC ชนิดที่เป็น Digital เพื่อทำการอุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที หรือตามคู่มือแนะนำ

3.7 ตรวจสอบสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการก่อน โดยต้องอยู่ในสภาวะที่ควบคุมตามหัวข้อที่ 2.3

3.8 ในกรณีใช้แก๊สในการสอบเทียบ ให้ตรวจสอบความดันจากถัง Nitrogen ว่าพอสำหรับใช้งานหรือไม่
หมายเหตุ : ที่เครื่อง Pneumatic Dead Weight Tester จะมี Monitor Gauge ซึ่งจะแสดงค่าโดยประมาณของความดันในระบบ ทั้งนี้ความดันในระบบได้จากถังบรรจุความดัน (Nitrogen Tank)

คำเตือน

1. ห้ามนำเครื่องมือวัดความดันที่ใช้วัด Oxygen Gas หรือที่ลูกค้ากำหนดว่าห้ามใช้กับน้ำมัน มาใช้กับ Hydraulic Dead Weight Tester เป็นอันขาด
2. ก่อนจะเปิด Release valve ของ Dead Weight Tester ให้ลดความดันภายในระบบก่อน โดยหมุน Screw press ถอยออกจน Weight ลดระดับลงสัมผัสกับฐานและหมุน Screw press ออกจนสุด
3. สำหรับ Pressure Gauge ชนิดที่มี Glycerin ให้เปิดฝาจุกที่ช่องเติม Glycerin ออกขณะทำการสอบเทียบ และให้ระบุข้อความการเปิดฝาจุก ในใบรายงานผลการสอบเทียบทุกครั้ง

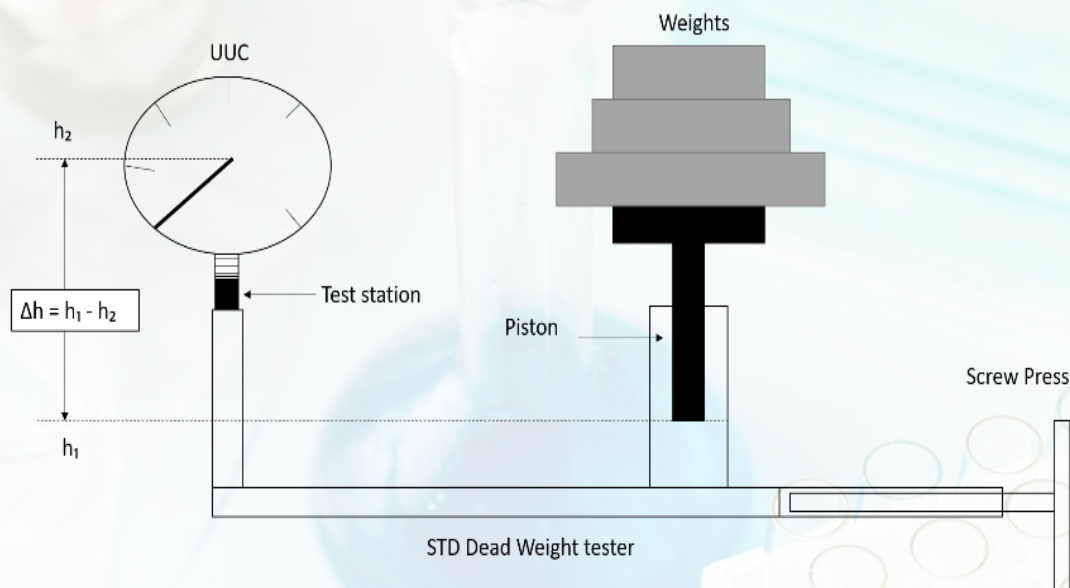
4. ขั้นตอนการสอบเทียบ

4.1 ทำการ Exercise (Preload) UUC

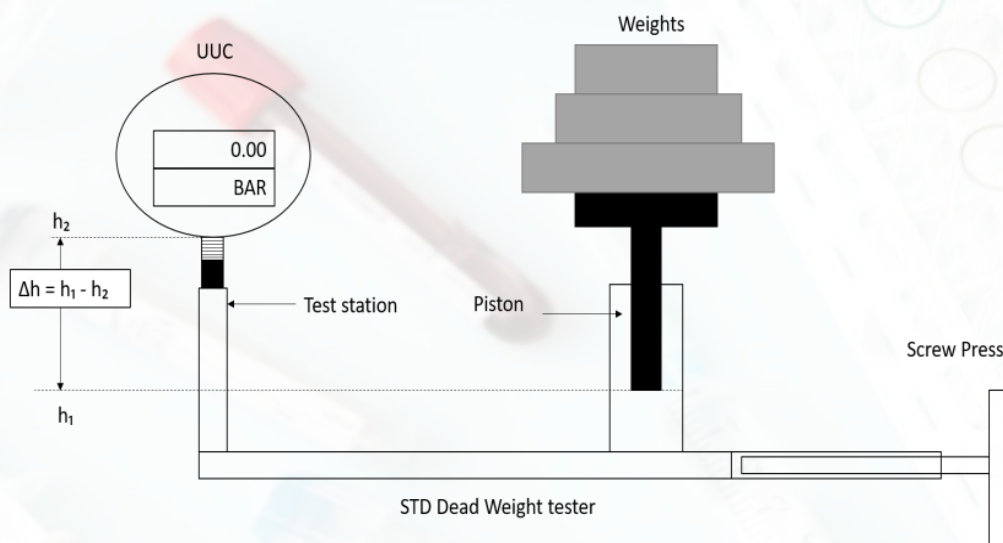
4.1.1 เลือกใช้เครื่องมือมาตรฐาน (STD Dead Weight Tester) ที่เหมาะสม โดยตรวจสอบย่านการวัดค่าความถูกต้องของเครื่องมือ โดยที่ค่าความถูกต้องของเครื่องมือมาตรฐานต้องดีกว่า UUC อย่างน้อย 3 เท่าขึ้นไป ความเหมาะสมของข้อต่อ เกลียว และอื่นๆ

4.1.2 ต่อ UUC เข้ากับ STD ที่ตำแหน่ง Test Station ตามรูปที่ 3 โดยที่ลักษณะการติดตั้ง จะต้องถูกต้องตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด หรือตามที่ลูกค้ากำหนด

หมายเหตุ – การติดตั้งต้องพยายามให้ ตำแหน่ง Reference Level ของ UUC และ Reference Level ของ STD ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยใช้ท่อและข้อต่อที่เหมาะสม



รูปที่ 6 การติดตั้ง UUC ประเภท Analogue เข้ากับ STD

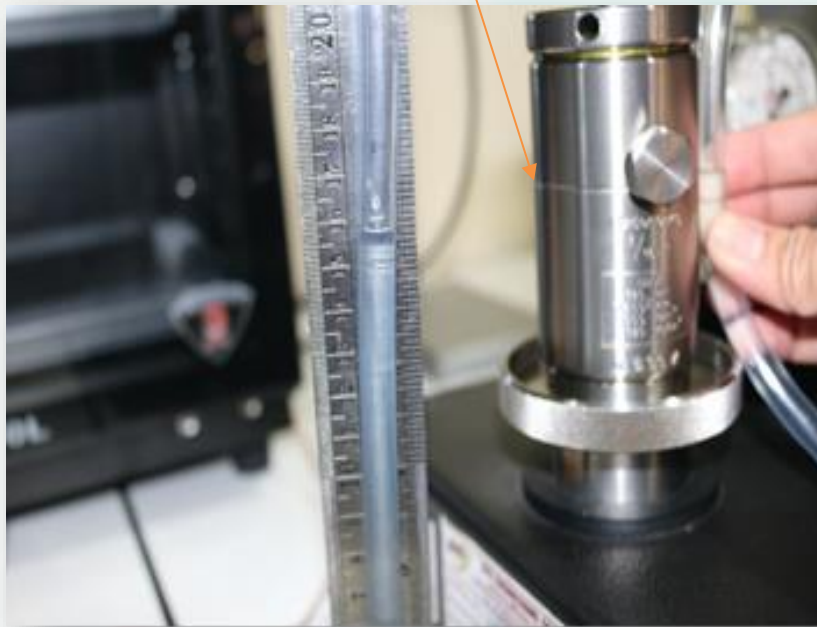


รูปที่ 7 การติดตั้ง UUC ประเภท Digital เข้ากับ STD

4.1.3 ทำการวัดความสูงที่แตกต่างกัน (Δh) ระหว่าง Reference Level ของ STD ($h_1=0.166$ m) กับ Reference Level ของ UUC ($h_2=0.185$ m) และ โดยที่ (Δh) = $h_1 - h_2 = 0.166 - 0.185 = -0.019$ m พร้อมทั้งบันทึกค่า กรณีที่ UUC มีรูปแบบแตกต่างไป จากรูปที่ 6 ถึง 7 ให้ใช้ Reference Level ของ UUC (h_2) ที่ Pressure Port แต่ละชนิด

หมายเหตุ : ถ้าใบรับรองผลการสอบเทียบของ STD ระบุระดับอ้างอิงที่ตำแหน่งไหนให้วัดตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่ง h_1

Reference Level ของ STD



รูปที่ 8 การวัดความสูงที่แตกต่างกัน (Δh) ด้วย U-Tube manometer

4.1.4 สำหรับ Hydraulic Dead Weight Tester ให้ทำการไล่อากาศออกจากระบบให้หมดตามวิธีการของคู่มือการใช้งานของ STD ในระหว่างปฏิบัติตามขั้นตอนนี้จะพบฟองอากาศใน reservoir นั่นคืออากาศที่อยู่ในระบบกำลังถูกไล่ออกมา

4.1.5 เลือกแผ่น Weight วางลงบน Piston ให้เหมาะสมโดยให้มีค่าความดันใกล้เคียงค่า Full scale ของ UUC แต่ต้องไม่มากกว่า Maximum range ของ UUC ในที่นี้ max range ของ UUC = 70 bar ส่วน max range ของ STD 120 bar จึงต้องระวังเลือกแผ่น weight ที่ทำให้มีค่าความดันไม่เกิน 70 bar

4.1.6 เพิ่มความดันจนกระทั่ง Piston ลอยขึ้นถึงตำแหน่ง mid float หมุน weight รอยอย่างน้อย 30 วินาที จากนั้นลดความดันมาที่ Zero อีกครั้ง เรียกว่า Preload 1 รอบ ซึ่งจำนวนรอบการ Preload ให้ทำตาม Accuracy Class ตามตารางที่ 1 ในที่นี้ UUC มีค่า Accuracy รวม $\pm 1\%$ of FS. อยู่ใน Sequence C ซึ่งทำการ Preload แค่ครั้งเดียว กำหนดจุดสอบเทียบเพียง 5 จุด ตลอดย่านการวัด และสอบเทียบเพียงแค่ 1 Series (1 cycle) เท่านั้น แต่เนื่องจาก เป็นการทำ PT ซึ่งต้องการความมั่นใจในผลการสอบเทียบ จึงดำเนินการตาม Sequence A ทุกประการ โดยทำการ Preload 3 ครั้ง กำหนดจุดสอบเทียบอย่างน้อย 9 จุด ตลอดย่านการวัด และสอบเทียบจำนวน 4 Series (2 cycles)

4.2 การพิจารณาค่าความถูกต้องของเครื่องมือและปฏิบัติการสอบเทียบ

4.2.1 กำหนดจุดสอบเทียบให้กำหนดตาม Accuracy Class ของ Pressure Measuring Equipment ดังนี้

ตารางที่ 1 แบ่งกลุ่มเครื่องมือสำหรับการสอบเทียบ ที่แบ่งตามความแม่นยำ

Calibration sequence	Desired Measurement uncertainty in % of the measurement span (*)	Number of measurement points with zero point up/down	Number of pre-loading	Load change + waiting time (**) second	Waiting time at upper limit of the measurement range (***) minutes	Number of measurement series	
						Up	Down
A	< 0.1	9	3	> 30	2	2	2
B	0.1...0.6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0.6	5	1	> 30	2	1	1

หมายเหตุ

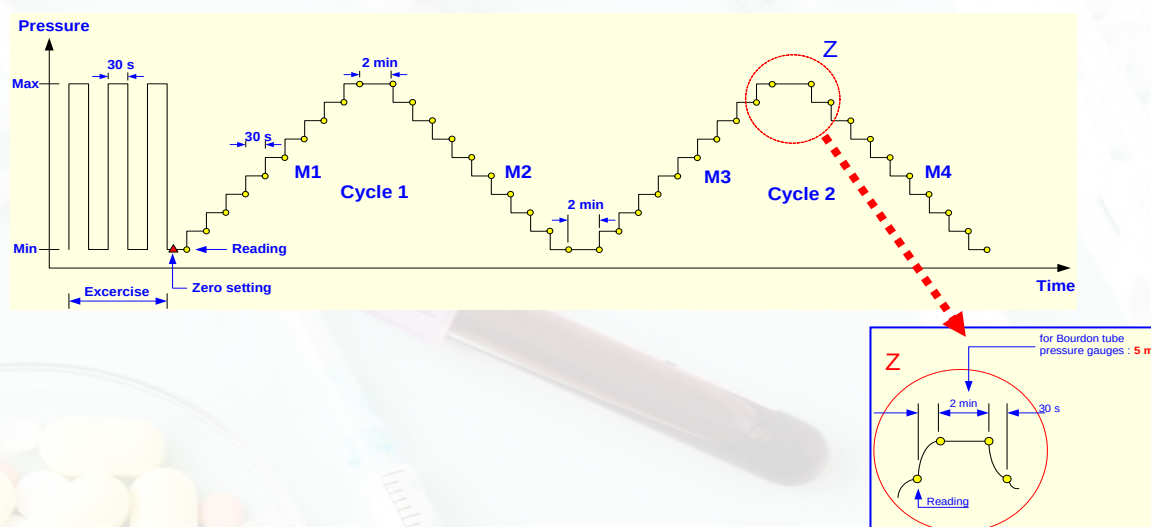
(*) อ้างอิงถึงค่าความแม่นยำ (Accuracy) ที่ออกให้โดยโรงงานผู้ผลิต

(**) สำหรับบางกรณี อาจรองจนกว่า ค่าที่อ่านจาก STD หรือ UUC นิ่ง

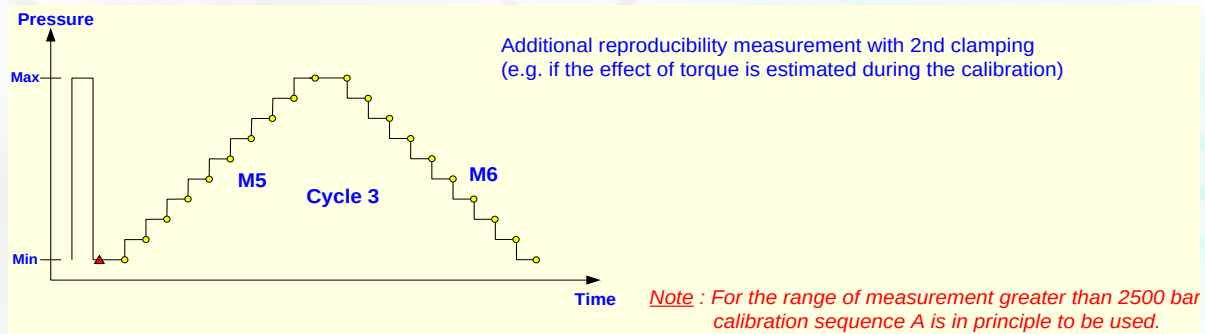
(***) สำหรับเกจวัดความดันแบบท่อบูร์ดองให้ใช้เวลาในการรอ 5 นาที

สำหรับ UUC ที่มีความดันมากกว่า 2500 bar ให้สอบเทียบโดยใช้วิธีการ กลุ่ม A และการสอบเทียบในกลุ่ม B ในทางปฏิบัติก็จะใช้วิธีการในกลุ่ม A ด้วย เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

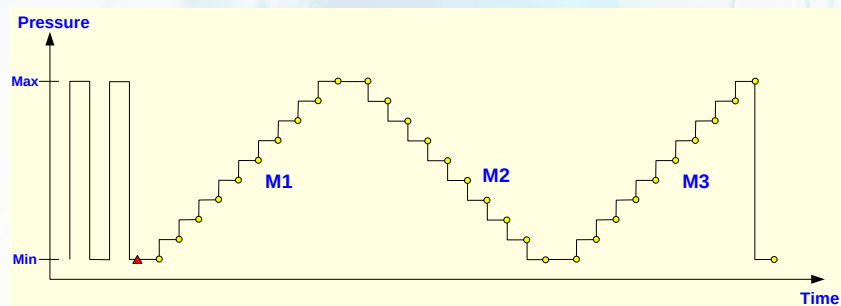
จำนวนรอบ (Cycle) การสอบเทียบจะขึ้นอยู่กับความแม่นยำ (Accuracy) ของ UUC



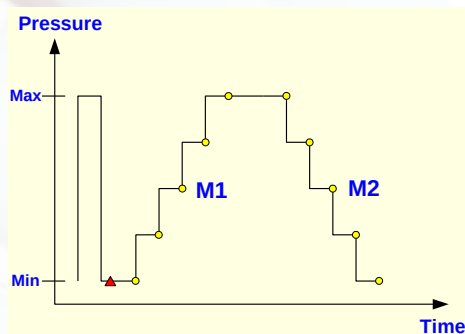
รูปที่ 9 Sequences A : (Accuracy < 0.1%)



รูปที่ 10 ถ้าแรงบิด (Torque) ที่ใช้ในขณะติดตั้ง อาจส่งผลกระทบต่อผลการอ่านค่าความดันของ UUC ดังนั้น จะต้องสอบเทียบเพิ่มอีก 1 รอบ (หลังจากถอดออกแล้วติดตั้งใหม่)



รูปที่ 11 Sequences B : (Accuracy 0.1- 0.6%)
(Uncertainty limit not smaller than 0.04% of MS)



รูปที่ 12 Sequences C : (Accuracy > 0.6%)
(Uncertainty limit not smaller than 0.30% of MS)

การกำหนดค่าความดันและจำนวนจุดสอบเทียบต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ใน DKD-R 6-1 (ตารางที่ 1) คือให้เลือกว่าจะใช้วิธีการสอบเทียบตาม Calibration Sequences A, B หรือ C ตาม Accuracy Class ของ UUC และให้กำหนดจุดสอบเทียบเป็นระยะห่างเท่าๆ กัน จนถึง full scale UUC สำหรับ analog pressure gauge ให้กำหนดจุดสอบเทียบตาม Main Scale Division (สามารถแทรกจุดที่ลูกค้าต้องการเพิ่มเติมได้ ทั้งกรณีที่ UUC เป็นแบบ Digital และ Analog)



รูปที่ 13 UUC (Pressure module $\pm 1\%$ of FS. , Pressure calibrator $\pm 0.025\%$ of FS)

ในที่นี้ UUC ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Pressure module; Fluke 700P08, Accuracy $\pm 1.0\%$ of FS. และ Pressure calibrator; Fluke 718, Accuracy $\pm 0.025\%$ of FS. เลือกใช้ Accuracy ที่โตที่สุดมาใช้คือ $\pm 1.0\%$ of FS.

4.2.2 นำค่า (Δh) ที่ได้จากข้อ 4.1.3 ไปคำนวณหาค่าความดันโดยใช้สมการในข้อ 4.3.2

4.2.3 เลือก Piston Rang และ Weight No. ให้มีค่าความดันใกล้เคียงกับความดันในแต่ละจุดตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 โดยคำนวณจากสมการในข้อ 4.3.2 บันทึกค่าลงใน Calibration Record Form

4.2.4 ตรวจสอบ Zero ของ UUC ว่าอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์หรือไม่ ในขณะที่ไม่มีความดัน ถ้าไม่ก็ให้ทำการปรับให้ตรงศูนย์ก่อนทำงานขั้นตอนต่อไป (กรณีที่สามารถปรับได้) บันทึกค่า Zero (กรณีที่สอบเทียบที่จุดศูนย์)

4.2.5 การสอบเทียบซ้ำขึ้น ให้ป้อนความดันตามค่าที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วตามข้อ 4.2.1 โดยค่อยๆ ปรับเพิ่มความดันไปยังจุดที่ต้องการ ระยะเวลาในการป้อนความดัน ระหว่างจุดต่อจุด ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที เมื่อถึงจุดที่ต้องการให้รอเวลามากกว่า 30 วินาทีอีกครั้งก่อนอ่านค่าและบันทึกผลการสอบเทียบทุกครั้ง (ให้พิจารณารูปที่ 6 และรูปที่ 7 ประกอบ)

4.2.6 ในกรณีที่ เป็น Analog ก่อนอ่านค่าและบันทึกผลการสอบเทียบ ให้ทำการเคาะเบาๆ ที่หน้าปัดของ UUC ก่อนทุกครั้ง โดยพิจารณาค่า ผลต่างที่เกิดขึ้นระหว่างก่อนเคาะและหลังเคาะจะต้องมีค่าไม่เกิน $\frac{1}{4}$ ของ Scale division ถ้าผลต่างที่เกิดขึ้นมีค่าเกิน $\frac{1}{4}$ ของ Scale divisions ให้ติดต่อลูกค้า *กรณีที่ UUC แสดงผลเป็นแบบ Digital ให้บันทึกผลการสอบเทียบในแต่ละจุดจากจอภาพที่แสดงผล ณ ขณะนั้น แต่ถ้าพบว่าการแสดงผลของ UUC เกิด fluctuation (ความผันผวน) ให้บันทึกผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาจากค่าสูงสุดที่แสดงผล ณ จุดสอบเทียบนั้นๆ และใช้ค่าผลต่างที่มากที่สุดของผลการสอบเทียบทั้งหมด บันทึกลงใน Test Record ในหัวข้อ fluctuation เพื่อนำไปประเมินเป็นค่าความไม่แน่นอน ต่อไป*

4.2.7 เมื่อสอบเทียบถึงจุด Full Scale ให้รอเวลามากกว่า 30 นาที อ่านค่าและบันทึกผล

หลังจากนั้นกรณีที่ เป็น Digital ให้ปล่อยทิ้งไว้ 2 นาที แต่ถ้าเป็น Bourdon tube Pressure Gauge ให้ปล่อยทิ้งไว้ 5 นาที โดยให้เคาะเบาๆ ก่อนอ่านค่า และบันทึกผลอีกครั้ง

4.2.8 การสอบเทียบกลาง ให้ค่อยๆปรับลดความดันจากจุด Full Scale ลงมายังจุดที่ต้องการ โดยให้ปฏิบัติตามในลักษณะเดียวกันกับการสอบเทียบขาขึ้น จนถึงจุด Zero (ให้พิจารณารูปที่ 6 และรูปที่ 7 ประกอบ)

4.2.9 เมื่อสอบเทียบเสร็จครบหนึ่งรอบ (1 Cycle = 2 Series) กรณีที่มีการสอบเทียบมากกว่า 2 Series ในช่วงระหว่าง Series ที่ 2 และ Series ที่ 3 ให้รอมากกว่า 2 นาที แล้วจึงดำเนินการสอบเทียบใน Series ที่ 4 ต่อในกรณีที่สอบเทียบตาม Sequence A

4.2.10 ลดความดันลง เปิด Vent Valve ปล่องระบบสูบลมบรรยากาศ รออย่างน้อย 30 วินาที บันทึกค่า Zero (กรณีที่สอบเทียบที่จุดศูนย์) ถอด UUC ออกจาก STD Dead Weight Tester

4.2.11 พิจารณาผลการสอบเทียบที่ได้ ถ้ามีค่า Error $\pm$ Uncertainty เกินค่าความถูกต้องของ UUC หรือค่า MPE ที่กำหนดโดยลูกค้า (ค่า MPE ต้องมากกว่าค่าความถูกต้องของ UUC) ให้ตรวจสอบใบขอรับบริการ ว่าลูกค้าต้องการให้ปรับเทียบหรือห้ามปรับเทียบ ถ้าลูกค้าไม่ต้องการให้ปรับเทียบ ให้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าลูกค้าต้องการให้ปรับเทียบ ก็ให้ปรับตามวิธีการปรับของ UUC ชนิดนั้นๆ เช่น Zero, Span, Linearity (กรณีที่สามารปรับได้)

4.2.12 พิจารณาผลการสอบเทียบที่ได้ ถ้ามีค่า Error $\pm$ Uncertainty ไม่เกิน ค่าความถูกต้องของ UUC หรือค่า MPE ที่กำหนดโดยลูกค้า ก็ไม่ต้องปรับและให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

4.2.13 กรณีที่มีการปรับแต่ง เมื่อปรับแต่งเสร็จแล้วให้ทำตามขั้นตอน Preload และข้อ 4.2.3-4.2.10 อีกครั้ง

- หมายเหตุ**
- Piston ต้องหมุนอย่างต่อเนื่องขณะใช้งาน
 - การเปลี่ยนแปลงความดันอย่างฉับพลันอาจทำให้ UUC เกิดการ drift ได้
 - เมื่อมีการปรับค่า UUC ให้รายงานผลการสอบเทียบทั้งก่อนและหลังปรับทุกครั้ง
 - การอ่านค่าและบันทึกผลการสอบเทียบ ให้บันทึกค่าที่อ่านได้จาก digital display ส่วนแบบ analog ให้แบ่ง scale division ออกเป็นช่องเล็กๆ ตามความเหมาะสม ตามวิธีของ DKD R6-1 ในหัวข้อ 8.6.1.1 และ 8.6.1.2 เช่น 2 ส่วน 5 ส่วน หรือ 10 ส่วน (Resolution)

4.3 การรายงานผลการสอบเทียบ

4.3.1 นำผลการสอบเทียบมาคำนวณค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ตามสมการดังนี้

$$\overline{x_{up,j}} = \frac{1}{l} \cdot \sum m(x_{m,j} - x_{m,0}) \text{ for } m = 1, 3, 5 \quad (4)$$

$$\overline{x_{down,j}} = \frac{1}{l} \cdot \sum m(x_{m,j} - x_{(m-1),0}) \text{ for } m = 2, 4, 6 \quad (5)$$

$$\overline{x_{mean,j}} = \frac{\overline{x_{up,j}} + \overline{x_{down,j}}}{2} \quad (6)$$

เมื่อ m = Measurement Series

l = Number of Measurement Series

j = Measurement Point

For pressure gauges, where the zero point is not included in the calibration range (e.g. 800 mbar abs to 1200 mbar abs), the zero point correction is omitted when calculating the mean values.

4.3.2 สมการคำนวณความดัน ของ STD (Dead Weight Tester)

$$p_m = p_e + (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot (h_1 - h_2) \quad (7)$$

4.3.2.1 กรณีใช้น้ำมันสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$p_m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_l \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,j}}\right) + V \cdot (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l + C}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p') \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_p - t_r)]} + (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot \Delta h \quad (8)$$

4.3.2.2 กรณีใช้แก๊ส (Positive gauge pressure) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$p_m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_l \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,j}}\right) + V \cdot (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p') \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_p - t_r)]} + (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot \Delta h \quad (9)$$

At : 70 bar, Piston Oil Lubricate Gas Operated

เมื่อ p_m คือ ค่าความดันมาตรฐาน ณ ระดับจุดอ้างอิงของ UUC, kPa

m_i คือ มวลของน้ำหนักแต่ละชิ้น 28.503208 kg (ไม่รวม Piston)

m_{piston} คือ มวลของ Piston 0.2850776 kg

g_l คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จุดวัด, 9.7832794 m/s²

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, 1.2 kg/m³

$\rho_{f,oil}$ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหลที่ใช้ระบบแบ่งเป็นน้ำมันจะมีค่าคงที่ 870 kg/m³ ส่วนในกรณีที่

$\rho_{f,gas 70 bar}$ คือ ค่าความหนาแน่นของ ก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 70 bar สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ที่ 11} = 80.346688 \text{ kg/m}^3$$

ρ_{mi} คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำหนักแต่ละชิ้น, 7800 kg/m³

V คือ ปริมาตรชดเชย Buoyancy & fluid head correction, $-1.84 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

C คือ ค่าความตึงผิวของน้ำมัน (ในกรณีที่ใช้น้ำมันเป็นของเหลวในระบบ), $6.79 \times 10^{-4} \text{ N}$

A_0 คือ Effective area of PCU ณ ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิอ้างอิง, $4.03222 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

A_p คือ Effective area of PCU ณ อุณหภูมิ 24.1°C , $4.03195 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

λ คือ Pressure distortion coefficient, $-8.60 \times 10^{-9} \text{ kPa}^{-1}$

α_p คือ Linear Thermal Expansion Coefficient of Piston, $^\circ\text{C}^{-1}$

α_c คือ Linear Thermal Expansion Coefficient of Cylinder, $^\circ\text{C}^{-1}$

$$(\alpha_p + \alpha_c) = 2.70 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

t_p คือ ค่าอุณหภูมิของ PCU ขณะทำการสอบเทียบสูงสุด, 24.1°C

t_r คือ ค่าอุณหภูมิอ้างอิง, 20°C

h_1 คือ ค่าความสูงของจุดอ้างอิง STD, 0.166 m

h_2 คือ ค่าความสูงของจุดอ้างอิงของ UUC, 0.185 m

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 0.166 - 0.185 = -0.019 \text{ m}$$

P' คือ Estimate pressure, สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$p' = \frac{\sum m_j g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m,j}}\right)}{A_0} \quad (10)$$
$$p' = 6.9833842 \text{ MPa}$$

ในกรณีใช้แก๊ส ; ค่าความหนาแน่นของแก๊สจะเปลี่ยนไปตามความดันสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$\rho_{f,gas} = \rho_{20^\circ\text{C}, 1\text{bar}} \cdot \left[\frac{p_{abs} \cdot (T + 20\text{K})}{1\text{bar} \cdot (T + t)} \right]; \quad T = 273.15 \text{ K} \quad (11)$$

$$p_{abs} = p' + p_{atm} \quad (12)$$

$$p_{abs} = 69.8338420\text{bar} + 1.010\text{bar} = 70.843842\text{bar}$$

$$\rho_{f,gas} = 1.15 \times \left[\frac{70.843842\text{bar} \times (273.15 + 20)}{1\text{bar} \cdot (273.15 + 24.1)} \right] = 80.346688 \text{ kg/m}^3$$

ในกรณีที่มิเครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ จะสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นอากาศ ρ_a ได้จากสมการที่ 13

$$\rho_a = \frac{348.48 \cdot P_{atm}(\text{bar}) - 0.009024 \cdot RH \cdot \exp^{(0.0612 \cdot t_{atm})}}{273.15 + t_{atm}} \quad (13)$$

หมายเหตุ ถ้าไม่คำนวณค่าความหนาแน่นอากาศจากสมการที่ 13 ให้ใช้ค่าคงที่ 1.2 kg/m^3

ตารางที่ 2 เลือกแผ่น Weight (at 70 bar)

Identifications	Density (kg/m ³)	True Mass (kg)
piston	7800	0.2850776
A (Piston cap)	7800	0.127682
C (20 bar)	7800	8.224785
D (20 bar)	7800	8.224833
E (20 bar)	7800	8.224779
H (4 bar)	7800	1.6450102
J (4 bar)	7800	1.6449382
L (1 bar)	7800	0.4111809
Trim mass	-	-
Sum of Mass (Not piston mass)	-	28.503208
Corr_mass = 0.9998462		
Corr_Piston = 0.9998462		
Corr_Trim mass = 0.9998462		
Force of Weight = 281.6005152 N		
Force of Volume = - 0.0156395 N		
Surface tension = 6.79×10 ⁻⁴ N		
Total Force = 281.5855547 N		
Corrected temp ,Ct = 1.00011		

4.3.3 Corrected air buoyancy of mass, *Corr._mass* :

$$Corr._mass = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \quad (14)$$

$$Corr._mass = \left(1 - \frac{1.2 \text{ kg / m}^3}{7800 \text{ kg / m}^3} \right) = 0.9998462$$

4.3.4 Corrected air buoyancy of piston, *Corr. piston*:

$$\text{Corr.}_{_piston} = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \quad (15)$$

$$\text{Corr.}_{_piston} = \left(1 - \frac{1.2 \text{ kg} / \text{m}^3}{7800 \text{ kg} / \text{m}^3} \right) = 0.9998462$$

4.3.5 Corrected trim mass, *Corr. trim mass*

$$\text{Corr.}_{_trim\ mass} = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \quad (16)$$

$$\text{Corr.}_{_trim\ mass} = \left(1 - \frac{1.2 \text{ kg} / \text{m}^3}{8000 \text{ kg} / \text{m}^3} \right) = 0.999850$$

4.3.6 Force of mass, F_m :

$$F_m = \left[(\text{sum of mass} \times \text{Corr.}_{_mass}) + (\text{mass of piston} \times \text{Corr.}_{_piston}) + (\text{trim mass} \times \text{Corr.}_{_trim\ mass}) \right] \cdot g_l \quad (17)$$

$$F_m = (28.4988229 + 0.2850341 + 0) \text{ kg} \times 9.7832794 \text{ m} / \text{s}^2 = 281.6005152 \text{ N}$$

4.3.7 Force of volume, F_v :

$$F_v = (\rho_f - \rho_a) \cdot V_{ref} \cdot g_l \quad (18)$$

$$F_v = (870 - 1.2) \text{ kg} / \text{m}^3 \times (-1.84 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \times 9.7832794 \text{ m} / \text{s}^2 = -0.0156395 \text{ N}$$

4.3.8 Surface tension, $F_c = 6.79 \times 10^{-4} \text{ N}$ (*Piston Oil Lubricate Gas Operated*)

4.3.9 Total Force, ΣF :

$$\Sigma F = F_m + F_v + F_c \quad (19)$$

$$\Sigma F = 281.6005152 \text{ N} + (-0.0156395 \text{ N}) + (6.79 \times 10^{-4} \text{ N}) = 281.5855547 \text{ N}$$

4.3.10 Estimate pressure, p' :

$$p' = \frac{\Sigma F}{A_0} \quad (20)$$

$$p' = \frac{281.5855547 \text{ N}}{4.03222 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 6983.387687 \text{ kPa}$$

4.3.11 Effective area at pressure point, A_p :

$$A_p = A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p') \quad (21)$$

$$A_p = 4.03222 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \left[1 + (-8.60 \times 10^{-9} \text{ kPa}^{-1}) \times 6983.387687 \text{ kPa} \right]$$

$$A_p = 4.0319778 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

4.3.12 Corrected temperature piston, C_t :

$$C_t = 1 + [(\alpha_p + \alpha_c)^\circ \text{C}^{-1} \cdot (t_p - 20^\circ \text{C})] \quad (22)$$

$$C_t = 1 + [(2.70 \times 10^{-5})^\circ \text{C}^{-1} \times (24.2 - 20^\circ \text{C})] = 1.00011$$

4.3.13 Head correction, $p\Delta h$:

$$p\Delta h = (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot \Delta h \quad (23)$$

$$p\Delta h = (80.346688 - 1.2) \text{ kg / m}^3 \times 9.7832794 \text{ m / s}^2 \times (-0.019 \text{ m}) = -14.711969 \text{ Pa}$$

Therefore, the standard pressure (p_m) equation can be changed to :

$$p_m = \frac{\sum F}{A_p \cdot C_t} + p\Delta h \quad (24)$$

$$p_m = \frac{281.5855547 \text{ N}}{(4.0319778 \times 10^{-5}) \text{ m}^2 \times 1.00011} + (-14.71196916) \text{ Pa} = 6983.024324 \text{ kPa} = 69.8302432 \text{ bar}$$

The standard pressure (P_m) from Program AUTO Program for STD DWT 2PN = 69.829970 bar

$$(\text{ค่าที่ได้จากโปรแกรม} - \text{ค่าที่ได้จากคำนวณมือ}) / \text{ค่าที่ได้จากคำนวณมือ} \times 1000000$$

$$\text{Diff } p_m, \Delta p = \frac{69.829970 \text{ bar} - 69.8302432 \text{ bar}}{69.8302432 \text{ bar}} \times 10^6 = -3.912 \text{ ppm}$$

Prt scrn หน้าโปรแกรมที่แสดงให้เห็นค่าความดันที่คำนวณได้จากโปรแกรม

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
13	Local Gravity =	9.783279	m/s ²		Total Pressure, P _m				Cert. No.	MP-0175-19
14	Air density =	1.20000	kg/m ³		6982.997043	kPa			Mass No.	density
15	Fluid density =	870.00000	kg/m ³		69.829970	bar				(kg/m ³)
16					6.982997	MPa			A [A9853]	7800
17	A _s	4.03222E-05	m ²		71.206738	kg/cm ²			B [A9853]	7800
18	λ	-8.60E-09	kPa ⁻¹		1012.797830	psi			C [A9853]	7800
19	C	6.79E-04	N		2062.081422	inHg			D [A9853]	7800
20	(αp+αc)	2.70E-05	C ⁻¹		52376.856161	mmHg			E [A9853]	7800
21	V _{ref}	-1.84E-06	m ³		712067.381259	mmH ₂ O			F [A9853]	7800
22	Mass of Piston	0.285078	kg		28034.030707	inH ₂ O			G [A9853]	7800
23	Density of Piston	7800	kg/m ³						H [A9853]	7800
24									J [A9853]	7800
25	Sum of Mass =	28.503208	kg		Head correction	-19.00	mm		K [A9853]	7800
26	Trim Mass =	0.000000	kg						L [A9853]	7800
27	Corr_Mass =	0.999846	kg		Corection	0.1			M [A9853]	7800
28	Corr_Piston =	0.999846	kg		Piston temp reading	24.1			N [A9853]	7800
29	Corr_Trim Mass =	0.999850	kg		Patm	1.010			P [A9853]	7800
30	Force of Weight =	281.600515	N		Piston temp	24.2	°C		R [A9853]	7800
31	Force of Volume =	-0.015639	N		Trim mass	0.000	g		S [A9853]	7800
32	Surface tension =	0.000679	N						T [A9853]	7800
33	Total Force =	281.585554	N						U [A9853]	7800
34					PCU no. 530K; Cert. no. MP-0175-19				V [A9853]	7800
35	Estimate Pressure ; P _e =	6983.38420	kPa						Piston 530K	7800
36	Effective Area, A _p =	4.031980E-05	m ²		A _s (m ²) =	4.03222E-05				
37	Corrected temp ; C _t =	1.00E+00			λ (kPa ⁻¹) =	-8.60E-09			Trim mass	8000

ตารางที่ 3 Pressure Calibration Table

Nominal Pressure (bar)	STD input Applied, p _e (bar)				STD input Applied, p _m (bar)			
	p _{e1}	p _{e2}	p _{e3}	p _{e4}	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7.0	6.9826	6.9828	6.9830	6.9830	6.9826	6.9828	6.9830	6.9829
14.0	13.9654	13.9659	13.9661	13.9660	13.9654	13.9658	13.9661	13.9660
21.0	20.9478	20.9482	20.9487	20.9487	20.9478	20.9482	20.9486	20.9486
28.0	27.9315	27.9314	27.9321	27.9321	27.9314	27.9313	27.9320	27.9320
35.0	34.9145	34.9145	34.9149	34.9153	34.9144	34.9144	34.9149	34.9152
42.0	41.8974	41.8977	41.8984	41.8985	41.8973	41.8976	41.8983	41.8984
49.0	48.8807	48.8813	48.8823	48.8818	48.8806	48.8812	48.8822	48.8817
56.0	55.8647	55.8648	55.8660	55.8654	55.8646	55.8647	55.8659	55.8653
63.0	62.8480	62.8485	62.8497	62.8495	62.8479	62.8484	62.8496	62.8494
70.0	69.8324	69.8328	69.8339	69.8341	69.8323	69.8326	69.8338	69.8340

ตารางที่ 4 Input Applied pm & UUC Reading

Nominal Pressure (bar)	STD input Applied, p _m (bar)				UUC Reading (bar)			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄
	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.001	0.000	0.001	0.000
7.0	6.9826	6.9828	6.9830	6.9829	6.989	6.987	6.987	6.988
14.0	13.9654	13.9658	13.9661	13.9660	13.977	13.978	13.976	13.978
21.0	20.9478	20.9482	20.9486	20.9486	20.964	20.963	20.965	20.964
28.0	27.9314	27.9313	27.9320	27.9320	27.955	27.956	27.957	27.955
35.0	34.9144	34.9144	34.9149	34.9152	34.941	34.940	34.941	34.942

42.0	41.8973	41.8976	41.8983	41.8984	41.928	41.927	41.929	41.930
49.0	48.8806	48.8812	48.8822	48.8817	48.915	48.914	48.912	48.913
56.0	55.8646	55.8647	55.8659	55.8653	55.905	55.906	55.905	55.907
63.0	62.8479	62.8484	62.8496	62.8494	62.891	62.890	62.893	62.890
70.0	69.8323	69.8326	69.8338	69.8340	69.879	69.879	69.878	69.878

ตารางที่ 5 Normalize Std. UUC Reading & Correct zero of UUC Reading

Nominal Pressure (bar)	Normalize Std. UUC Reading (bar)				Correct zero of UUC Reading (bar)			
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down
0.0	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	-0.001
7.0	6.989	6.987	6.987	6.988	6.988	6.986	6.986	6.987
14.0	13.977	13.978	13.975	13.977	13.976	13.977	13.974	13.976
21.0	20.964	20.963	20.964	20.963	20.963	20.962	20.963	20.962
28.0	27.955	27.956	27.956	27.954	27.954	27.955	27.955	27.953
35.0	34.941	34.940	34.941	34.941	34.940	34.939	34.940	34.940
42.0	41.928	41.927	41.928	41.929	41.927	41.926	41.927	41.928
49.0	48.915	48.913	48.910	48.912	48.914	48.912	48.909	48.911
56.0	55.905	55.906	55.904	55.906	55.904	55.905	55.903	55.905
63.0	62.891	62.889	62.891	62.888	62.890	62.888	62.890	62.887
70.0	69.879	69.879	69.876	69.876	69.878	69.878	69.875	69.875

$$N_{1,j} = U_{1,j}$$

$$N_{2,j} = (S_{1,j} - S_{2,j}) + U_{2,j}$$

$$N_{3,j} = (S_{1,j} - S_{3,j}) + U_{3,j}$$

$$N_{4,j} = (S_{1,j} - S_{4,j}) + U_{4,j}$$

$$M_{1,j} = (N_{1,j} - N_{1,0})$$

$$M_{2,j} = (N_{2,j} - N_{1,0})$$

$$M_{3,j} = (N_{3,j} - N_{3,0})$$

$$M_{4,j} = (N_{4,j} - N_{3,0})$$

Normalized UUC Reading เพื่อลดคอลัมน์ STD Input Applied ให้เหลือคอลัมน์เดียว

ตารางที่ 6 แสดงวิธีการ Normalized UUC Reading ที่ความดัน 0 bar และ 70 bar

Nominal Pressure (bar)	STD input Applied, p _m (bar)	Normalized UUC Reading (bar)			
	S ₁	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
0 point 1	S ₁ (Zero)	U ₁ (zero)	(S ₁ -S ₂)+U ₂ (Zero)	(S ₁ -S ₃)+U ₃ (Zero)	(S ₁ -S ₄)+U ₄ (Zero)
	0.0000	0.001	(0.0000-0.0000)+0.000 = 0.000	(0.0000-0.0000)+0.001 = 0.001	(0.0000-0.0000)+0.000 = 0.000
70 point 11	S ₁ (70)	U ₁ (70)	(S ₁ -S ₂)+U ₂ (70)	(S ₁ -S ₃)+U ₃ (70)	(S ₁ -S ₄)+U ₄ (70)
	69.8323	69.879	(69.8323-69.8326)+69.879 = 69.879	(69.8323-69.8338)+69.878 = 69.876	(69.8323-69.8340)+69.878 = 69.876

ในที่นี้ยกตัวอย่าง การ Correct zero of UUC Reading ที่ 70 bar

$M_{1,j} = (N_{1,j} - N_{1,0})$ $= 69.879 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}$ $= 69.878 \text{ bar}$	$M_{2,j} = (N_{2,j} - N_{1,0})$ $= 69.879 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}$ $= 69.878 \text{ bar}$
$M_{3,j} = (N_{3,j} - N_{3,0})$ $= 69.876 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}$ $= 69.875 \text{ bar}$	$M_{4,j} = (N_{4,j} - N_{3,0})$ $= 69.876 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}$ $= 69.875 \text{ bar}$

5. การประเมินค่าความไม่แน่นอน

5.1 Uncertainty of STD Dead Weight Tester, u_{std}

เมื่อ U_{std} คือค่าความไม่แน่นอนขยาย ของ STD Dead Weight Tester ที่ได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบ MP-0175-19 ซึ่งมีค่า $6.8 \times 10^{-5} \times p$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.00082 bar, $k = 2$

หมายเหตุ : p ในที่นี้จะใช้ค่า S1 มาคำนวณ

การกระจายความน่าจะเป็นจะประเมินอยู่ในรูปแบบ การกระจายแบบปกติ

$$u_{std} = \frac{U_{std}}{k} \quad (25)$$

$$u_{std} = \frac{(6.8 \times 10^{-5}) \times 69.8323}{2} = 0.0023743 \text{ bar}$$

5.2 Uncertainty of pressure distortion coefficient, $u(\lambda)$

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบปกติ

$$u_{\lambda} = -p^2 \cdot \frac{U_{\lambda}}{k} \quad (26)$$

เมื่อ u_{λ} คือค่าความไม่แน่นอนของ STD pressure distortion coefficient ที่ได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบ MP-0175-19 ซึ่งมีค่า $k = 2$

หมายเหตุ ในกรณีที่ค่าความไม่แน่นอน ข้อ 5.2 รวมอยู่ในข้อ 5.1 แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องคิดข้อ 5.2 เพิ่มอีก

(ให้สอบถามจากห้องปฏิบัติการที่ส่ง STD ไปสอบเทียบ) ในกรณีนี้ ค่า u_{λ} ถูกรวมเข้าไปใน U_{std} เรียบร้อยแล้วจึงไม่ต้องนำมาคำนวณอีก

5.3 Uncertainty due to temperature of the piston & cylinder assembly of standard

แทนด้วย u_{t_std}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{t_std} = p \cdot (\alpha_p + \alpha_c) \frac{a_t}{\sqrt{3}} \quad (27)$$

เมื่อ p คือ Working Pressure: S1, bar

$(\alpha_p + \alpha_c)$ คือ Linear Thermal Expansion Coefficient of PCU, $2.7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

a_t คือ MPE ของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

= Uncertainty of Standard (UUC) Temp. + Error + Drift

= +/- 1.0°C สำหรับ Standard temp. model: 54 IIB

$$u_{t_std} = 69.8323 \text{ bar} \times (2.7 \times 10^{-5}) ^\circ\text{C}^{-1} \times \frac{1.0 ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0010886 \text{ bar}$$

5.4 Uncertainty due to thermal expansion coefficient of the piston & cylinder assembly of standard and UUC แทนด้วย $u_{(\alpha_p + \alpha_c)}$

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{(\alpha_p + \alpha_c)} = 0.1 \cdot (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_p - t_r) \cdot \frac{p}{\sqrt{3}} \quad (28)$$

$$u_{(\alpha_p + \alpha_c)} = 0.1 \times (2.7 \times 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1}) \times (24.1 - 20) ^\circ\text{C} \times \frac{69.8323 \text{ bar}}{\sqrt{3}} = 0.0004463 \text{ bar}$$

เมื่อ p คือ Working Pressure: S1, bar

$(\alpha_p + \alpha_c)$ คือ Linear Thermal Expansion Coefficient of PCU, $2.7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

t_p คือ ค่าอุณหภูมิของ PCU ขณะทำการสอบเทียบสูงสุด, 24.1°C

t_r คือ ค่าอุณหภูมิอ้างอิง, 20°C

5.5 Uncertainty due to Local gravity; u_{gl}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกในแต่ละพื้นที่ที่คำนวณได้ มีค่าความไม่แน่นอนแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 50 \text{ ppm}$

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบความดันของ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด มีค่าเท่ากับ 9.7832794 m/s^2

$$\pm 50 \text{ ppm} = 9.7832794 \times 50 \times 10^{-6}; \quad a_{gl} = 0.0004892 \text{ m/s}^2$$

$$u_{gl} = \frac{p}{g_l} \cdot \frac{a_{gl}}{\sqrt{3}} \quad (29)$$

เมื่อ

a_{gl} คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการคำนวณ Local gravity มีค่าเท่ากับ $\pm 50 \text{ ppm} \times g_l$

g_l คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จุดวัด, 9.7832794 m/s^2

p คือ Working Pressure: S1, bar

$$u_{gl} = \frac{69.8323 \text{ bar}}{9.7832794 \text{ m/s}^2} \times \frac{0.0004892 \text{ m/s}^2}{\sqrt{3}} = 2.0159 \times 10^{-3} = 0.0020159 \text{ bar}$$

5.6 Uncertainty due to Density difference; $u_{\Delta\rho,h}$

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{\Delta\rho,h} = \frac{\sqrt{(a_{\rho a})^2 + (a_{\rho f})^2} \cdot g_l \cdot \Delta h}{\sqrt{3}} \quad (30)$$

$$u_{\Delta\rho,h} = \frac{\sqrt{(0.06)^2 + (8.0346688)^2 \text{ kg/m}^3} \times 9.7832794 \text{ m/s}^2 \times (-0.019 \text{ m})}{\sqrt{3}} \text{ N/m}^2, \text{ Pa}$$

$$u_{\Delta\rho,h} = -0.862298 \text{ Pa} = -0.862298 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

ρ_a คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 1.2 kg/m^3

$a_{\rho a}$ คือ ค่าความผิดพลาดของความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ $\pm \left(\frac{5}{100}\right) \cdot \rho_a = 0.06 \text{ kg/m}^3$

ρ_f คือ ค่าความหนาแน่นของก๊าซสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 = 80.346688 kg/m^3

$a_{\rho f}$ คือ ค่าความผิดพลาดของความหนาแน่นของก๊าซที่ใช้ มีค่าเท่ากับ

$$\pm \left(\frac{10}{100}\right) \cdot \rho_f = 8.0346688 \text{ kg/m}^3$$

g_l คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จุดวัด, = $9.7832794 \text{ m.s}^{-2}$

Δh คือ ความสูงที่แตกต่างกัน (Δh) ระหว่าง Reference Level ของ UUC (h_2) และ Reference Level ของ Standard (h_1) โดยที่ $\Delta h = h_1 - h_2 = 0.166 - 0.185 = -0.019 \text{ m}$

5.7 Uncertainty due to acceleration due to gravity; $u_{g,h}$

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า
ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกในแต่ละพื้นที่ที่คำนวณได้ มีค่าความไม่แน่นอนแตกต่างกันไม่เกิน
 ± 50 ppm ห้องปฏิบัติการสอบเทียบความดันของ บริษัท ทูพีเอ็น เอ็นจิเนียริง จำกัด มีค่าเท่ากับ
 $9.7832794 \text{ m/s}^2 \pm 50 \text{ ppm} = 9.7832794 \times 50 \times 10^{-6}$; $a_{gl} = 0.0004892 \text{ m/s}^2$

$$u_{g,h} = \frac{a_{gl} \cdot (\rho_f - \rho_a) \cdot \Delta h}{\sqrt{3}} \quad (31)$$

$$u_{g,h} = \frac{0.0004892 \text{ m/s}^2 \times (80.346688 - 1.2) \text{ kg/m}^3 \times (-0.019 \text{ m})}{\sqrt{3}} = -4.2472925 \times 10^{-4} \text{ Pa}$$

$$u_{g,h} = -4.2472925 \times 10^{-9} \text{ bar}$$

5.8 Uncertainty due to difference in altitude; u_h

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า
เนื่องจากใช้ U-tube manometer + ฟุตเหล็ก ในการวัดความสูงของ STD เทียบกับ UUC เกิด
ความแตกต่างกัน -0.019 m โดยที่ฟุตเหล็กมีค่าความไม่แน่นอนจากการอ่านค่าด้วยสายตา ± 5 มิลลิเมตร

$$u_h = \frac{(\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot a_h}{\sqrt{3}} \quad (32)$$

$$u_h = \frac{(80.346688 - 1.2) \text{ kg/m}^3 \times 9.7832794 \text{ m/s}^2 \times 0.005 \text{ m}}{\sqrt{3}} = 2.23525 \text{ Pa} = 2.23525 \times 10^{-5} \text{ bar}$$

a_h คือ MPE ของเครื่องมือวัดความสูงคำนวณได้จาก Uncertainty + Error + drift มีค่าเท่ากับ
 $\pm 0.005 \text{ m}$

g_l คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จุดวัด, $\text{m/s}^2 = 9.7832794 \text{ m/s}^2$

ρ_a คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 1.2 kg/m^3

ρ_f คือ ค่าความหนาแน่นของก๊าซสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

5.9 Uncertainty due to Zero deviation; u_{zero}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{zero} = \frac{\max\{|(x_{2,0} - x_{1,0})|, |(x_{4,0} - x_{3,0})|\}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (33)$$

$x_{1,0}$ คือ จุด Zero ของ Series ที่ 1

$x_{2,0}$ คือ จุด Zero ของ Series ที่ 2

$x_{3,0}$ คือ จุด Zero ของ Series ที่ 3

$x_{4,0}$ คือ จุด Zero ของ Series ที่ 4

$$(x_{2,0} - x_{1,0}) = (0.000 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}) = -0.001 \text{ bar}$$

$$(x_{4,0} - x_{3,0}) = (0.000 \text{ bar} - 0.001 \text{ bar}) = -0.001 \text{ bar}$$

$$u_{\text{zero}} = \frac{0.001 \text{ bar}}{2 \times \sqrt{3}} = 2.8867513 \times 10^{-4} \text{ bar}$$

5.10 Uncertainty due to Hysteresis : u_{hys}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{\text{hys}} = \frac{1 \times \{ |(x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| + |(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0})| \}}{n \times 2\sqrt{3}} \quad (34)$$

n คือ จำนวน cycles ในที่นี้ทำการสอบเทียบ 2 cycles หรือ 4 series M_1 คือ 1 series, M_1 ถึง M_2 คือ 1 cycle, M_1 ถึง M_4 คือ 2 cycles ดังนั้น $n = 2$ และ j คือจุดสอบเทียบที่ 70 bar โดยใช้ค่า UUC หลังจาก Normalize และ Correct zero แล้ว

$$u_{\text{hys}} = \frac{1 \times \{ |(69.878) - (69.878)| + |(69.875) - (69.875)| \}}{2 \times 2\sqrt{3}} = 0.0000 \text{ bar}$$

5.11 Uncertainty due to Resolution of UUC; u_{res}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$\text{สำหรับเครื่องมือวัดที่แสดงผลแบบ Digital : } u_{\text{res}} = \frac{\text{Resolution}}{2 \times \sqrt{3}} + \frac{\text{Fluctuation}}{2 \times \sqrt{3}} \quad (35)$$

$$\text{สำหรับเครื่องมือวัดที่แสดงผลแบบ Analog : } u_{\text{res}} = \frac{\text{Scale division}}{r \times \sqrt{3}} \quad (35)$$

เมื่อ r คือสัดส่วนการแบ่ง Scale division ออกเป็นช่องเล็กๆตามความเหมาะสม ตามแนวทางของ DKD R6-1 ข้อ 8.6.1.1

ในที่นี้เป็นเครื่องวัดแสดงผลแบบ Digital, Resolution 0.001 bar, Fluctuation เป็น 0

$$u_{\text{res}} = \frac{0.001 \text{ bar}}{2 \times \sqrt{3}} = 2.88675 \times 10^{-4} \text{ bar}$$

5.12 Uncertainty due to Repeatability; u_{repeat}

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u_{repeat} = \frac{\max[up, down]}{2 \times \sqrt{3}} \quad (36)$$

$$b'_{up,j} = |(x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})|$$

$$b'_{up,j} = |(69.876 - 0.001) - (69.879 - 0.001)| = 0.003bar$$

$$b'_{down,j} = |(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{2,j} - x_{1,0})|$$

$$b'_{down,j} = |(69.876 - 0.001) - (69.879 - 0.001)| = 0.003bar$$

$$b'_{mean,j} = \max\{b'_{up,j}, b'_{down,j}\}$$

$$u_{repeat} = \frac{0.003bar}{2 \times \sqrt{3}} = 8.660254 \times 10^{-4} bar$$

(The index j numbers are the nominal values of the pressure ($j = 0$; zero point)

5.13 Combined Uncertainty; $u_c(y)$

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบปกติที่มีความเชื่อมั่นประมาณ 68 % , normal distribution)

$$u_c(y) = \sqrt{u_{std}^2 + u_{\lambda}^2 + u_{t_std}^2 + u_{(\alpha_p + \alpha_c)}^2 + u_{gl}^2 + u_{\Delta\rho,h}^2 + u_{gl,\Delta h}^2 + u_h^2 + u_{zero}^2 + u_{res}^2 + u_{hys}^2 + u_{repeat}^2} \quad (37)$$

$$u_c(y) = \sqrt{(0.0023743)^2 + (0.00)^2 + (0.0010886)^2 + (0.00044632)^2 + (2.0159 \times 10^{-3})^2 + (-0.862298 \times 10^{-5})^2 + \dots + (-4.2472925 \times 10^{-9})^2 + (2.23525 \times 10^{-5})^2 + (2.8867513 \times 10^{-4})^2 + (0.0000)^2 + \dots + (2.88675 \times 10^{-4})^2 + (8.660254 \times 10^{-4})^2}$$

$$u_c(y) = \sqrt{(0.00000564) + (0.0000012) + (0.0000002) + (0.0000041)} = 0.00334bar$$

(ค่าที่น้อยมากโดยไม่มีนัยสำคัญ สามารถตัดทิ้งได้)

ที่ coverage factor, $k = 2$, Reference on DKD- R 6-1: Calibration of Pressure Gauge, Edition 03/2014, ที่ค่าความเชื่อมั่นประมาณ 95%

5.14 Expanded Uncertainty

การกระจายความน่าจะเป็น ประเมินอยู่ในรูปแบบ การแจกแจงแบบปกติ , normal distribution

$$U_{\text{exp}} = k \cdot u_c(y) \quad (38)$$

$$U_{\text{exp}} = 2 \times 0.00334 = 0.0067 \text{ bar}$$

(ค่าที่ได้จากโปรแกรม - ค่าที่ได้จากคำนวณมือ) / ค่าที่ได้จากคำนวณมือ $\times 1000000$

$$\text{Diff } U_{\text{Exp}} = \frac{0.0069 \text{ bar} - 0.0067 \text{ bar}}{0.0067 \text{ bar}} = 0.03$$

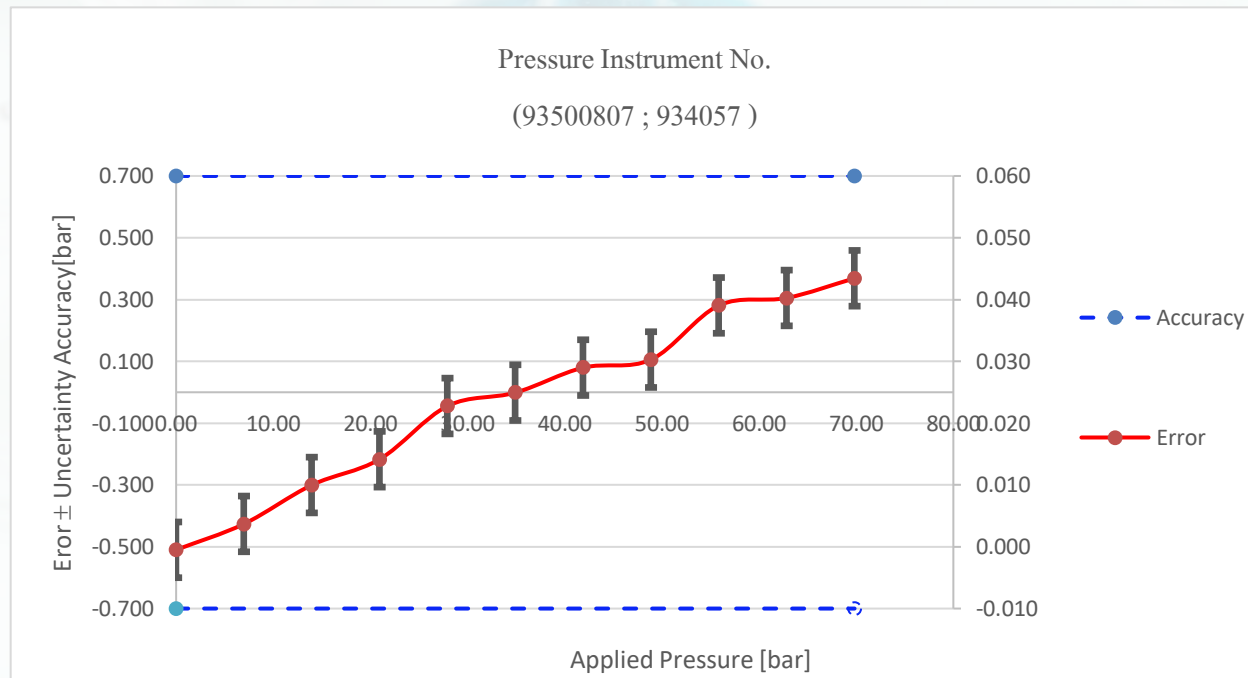
Prt scrn หน้าโปรแกรมที่แสดงให้เห็นค่าความดันที่คำนวณได้จากโปรแกรม

Components of uncertainty																			
Pressure bar	u_{cal} bar	u_{ref} bar	u_{temp} bar	u_{hyst} bar	u_{res} bar	u_{acc} bar	u_{mag} bar	u_{non} bar	u_{dig} bar	u_{int} bar	u_{ext} bar	u_{max}			U_{exp} (k=2) bar				
												UP	DOWN	MAX					
0	0.0004100	0.0000000	0.0000000	0.0000000	-0.0000001	2.91E-12	0.0000000	0.0002887	-0.0002887	0.0002887	0.0000000	0.0000000	0.0007240	0.0019					
7	0.0004100	0.0001088	0.0000448	0.0000216	-0.000010	-4.22E-10	0.0000022	0.0002887	-0.0002887	0.0004857	0.0006753	0.0002580	0.0007240	0.0021					
14	0.0004748	0.0002177	0.0000893	0.0004031	-0.000018	-8.47E-10	0.0000045	0.0002887	-0.0002887	0.0003840	0.0004845	0.0000544	0.0007240	0.0023					
21	0.0007122	0.0003265	0.0001339	0.0000647	-0.000027	-1.27E-09	0.0000067	0.0002887	-0.0002887	0.0003458	0.0004339	0.0001581	0.0007240	0.0027					
28	0.0009497	0.0004354	0.0001785	0.0000263	-0.000035	-1.70E-09	0.0000089	0.0002887	-0.0002887	0.0004439	0.0004032	0.0004845	0.0007240	0.0033					
35	0.0011871	0.0005443	0.0002231	0.00010079	-0.000044	-2.12E-09	0.0000112	0.0002887	-0.0002887	0.0002343	0.0001350	0.0003325	0.0007240	0.0038					
42	0.0014245	0.0006531	0.0002678	0.0012095	-0.000052	-2.55E-09	0.0000134	0.0002887	-0.0002887	0.0003213	0.0000051	0.0000379	0.0007240	0.0044					
49	0.0016619	0.0007620	0.0003124	0.0014111	-0.000061	-2.97E-09	0.0000156	0.0002887	-0.0002887	0.0004410	0.0013231	0.0004410	0.0007240	0.0050					
56	0.0018994	0.0008708	0.0003570	0.0016127	-0.000069	-3.40E-09	0.0000179	0.0002887	-0.0002887	0.0004963	0.0003917	0.0001148	0.0007240	0.0057					
63	0.0021368	0.0009797	0.0004017	0.0018143	-0.000078	-3.82E-09	0.0000201	0.0002887	-0.0002887	0.0005263	0.0000677	0.0002938	0.0007240	0.0063					
70	0.0023743	0.0010886	0.0004493	0.0020159	-0.000086	-4.25E-09	0.0000224	0.0002887	-0.0002887	0.0005616	0.0007240	0.0006996	0.0007240	0.0069					

ตารางที่ 7 Measurement Results

STD Pressure $\bar{N}$ (bar)	UUC Reading $\bar{M}$ (bar)	Error (bar)	Expanded Uncertainty (bar)
0.0000	-0.001	-0.001	0.0014
6.9828	6.987	0.004	0.0016
13.9658	13.976	0.010	0.0018
20.9483	20.963	0.015	0.0023
27.9317	27.955	0.023	0.0030
34.9147	34.940	0.025	0.0035

41.8979	41.928	0.030	0.0041
48.8814	48.912	0.031	0.0048
55.8651	55.913	0.048	0.0060
62.8488	62.889	0.041	0.0067
69.8332	69.877	0.044	0.0067



การสอบเทียบ Pressure Instruments โดยใช้ Dead Weight Tester							
EXAMPLE OF UNCERTAINTY BUDGET							
Symbol	Source of Uncertainties	Value	Probability distribution	Divisor	C _i	u _i ± bar	V _i or V _{eff}
u _{WT}	Uncertainty of Dead Weight Tester : (ppm)	0.00475	Normal	2	1.00E+00	2.37E-03	n-1
u _{TC}	Temperature of Piston & Cylinder Set: (°C)	1	Rectangular	√3	1.89E-03	1.09E-03	∞
u _(α,ΔT)	Thermal linear expansion coefficient (1/°C)	2.70E-06	Rectangular	√3	287.00	4.47E-04	∞
u _g	Acceleration due to gravity: m/s ²	4.89E-04	Rectangular	√3	7.155	2.02E-03	∞
u _{Δρ, h}	Density difference kg/m ³	0.13	Rectangular	√3	-1.86E-06	-1.39E-07	∞
u _{g, h}	Determination of acceleration due to gravity : m/s ²	4.89E-04	Rectangular	√3	9.50E-09	2.68E-12	∞
u _h	Determination of difference in altitude : m	0.005	Rectangular	√3	-4.89104E-06	-1.41E-08	∞
u _{res}	Resolution of UUC : (bar) digital	0.000288075	Rectangular	√3	1	1.67E-04	∞
u _{zero}	Zero deviation: (bar)	5.00E-04	Rectangular	√3	1	1.44E-04	∞
u _{hys}	hysteresis : (bar)	1.41E-04	Rectangular	√3	1	4.08E-05	∞
u _{repe}	Repeatability : (bar)	1.25E-03	Rectangular	√3	1	3.62E-04	∞
u _c	Combined Uncertainty : (bar)		Normal			3.36E-03	
U _{exp}	Expanded Uncertainty : (bar)		Normal (k=2)			0.0067	k=2

6. การทำ Intermediate Check (IC)

6.1 Thermo Recorder and Hygrometer



รูปที่ 14 Intermediate Check Thermometer

การเปรียบเทียบผลระหว่าง Thermometer Recorder Certificate No. EL23388/20 due date: 24 AUG 2021 และ Digital Thermometer Certificate No. EL23410/20 due date: 24 AUG 2021

Digital Thermometer Model: TR-72WF S/N42140570

Display1 = 24.0 °C ค่า correction1 = 1 °C Uncertainty1 = 0.33 °C

Value1 = Display1 + ค่า correction1

Thermometer Recorder Model: 1620 S/N A64096

Display2 = 24.15 °C ค่า correction2 = 1 °C Uncertainty2 = 0.33 °C

Value2 = Display2 + ค่า correction2

$$E_n = \frac{|Value1 - Value2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{|24 \text{ °C} - 24.15 \text{ °C}|}{\sqrt{0.33^2 \text{ °C} + 0.33^2 \text{ °C}}} \\ &= \frac{0.15 \text{ °C}}{0.466690 \text{ °C}} \end{aligned}$$

$$E_n \text{ ratio} = 0.32 \text{ °C}$$

ผลการประเมิน $E_n < 1$ ผ่าน

6.2 IC Thermometer



รูปที่ 15 Intermediate Check Thermometer

การเปรียบเทียบผลระหว่าง Thermometer Certificate No. SPR19090102-3 due date: 24 AUS 2020

Indicator Model: 54 IIB S/N: 40290534WS

Probe 1 Model: 54 IIB S/N: T1

Display1 27.7°C ค่า correction1 0.1°C Uncertainty1 0.30°C

Value1 = Display1 + ค่า correction1

Probe 2 Model: 54 IIB S/N: T2

Display2 27.7°C ค่า correction2 0.1°C Uncertainty2 0.30°C

Value2 = Display2 + ค่า correction2

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{|Value1 - Value2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \\ &= \frac{|27.8^\circ\text{C} - 27.8^\circ\text{C}|}{\sqrt{0.30^2^\circ\text{C} + 0.30^2^\circ\text{C}}} \\ &= \frac{0^\circ\text{C}}{0.547723^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

$$E_n \text{ ratio} = 0^\circ\text{C}$$

ผลการประเมิน $E_n < 1$ ผ่าน

7. การทำ Verification

7.1 120B PDWT



รูปที่ 16 การทำ Verification Pneumatic DWT 120 bar, PCU No. 530K

การเปรียบเทียบผลโดยการวัด Piston fall rate และ Piston rotation Pneumatic Dead Weight Tester ตาม Euramet cg-3 ข้อ 4.5.1 ข้อ D และ E

Certificate No. MP-0175-19 due date: 16 SEP 2024

Piston rotation time ที่ 20 % ของ Max Pressure

เกิน 3 นาที 6.41 นาที ผ่าน

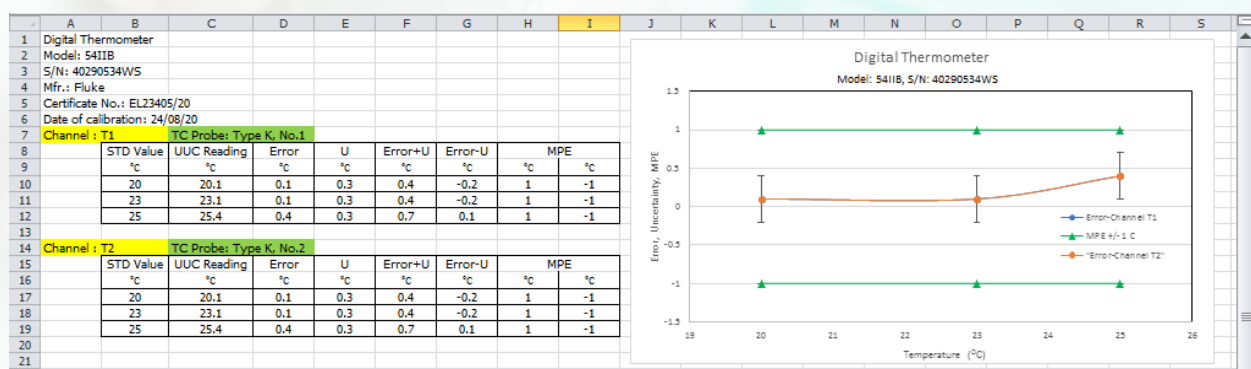
- (d) Examine the free rotation time (for the hand-rotating pressure balances only). Weights corresponding to 2/10 of maximum pressure are placed upon the piston. The initial rotation rate should be approximately 30 rpm. Measure the elapsed time until the piston is stationary. This time should be at least 3 min.

Piston drops from top to bottom ที่ Max Pressure

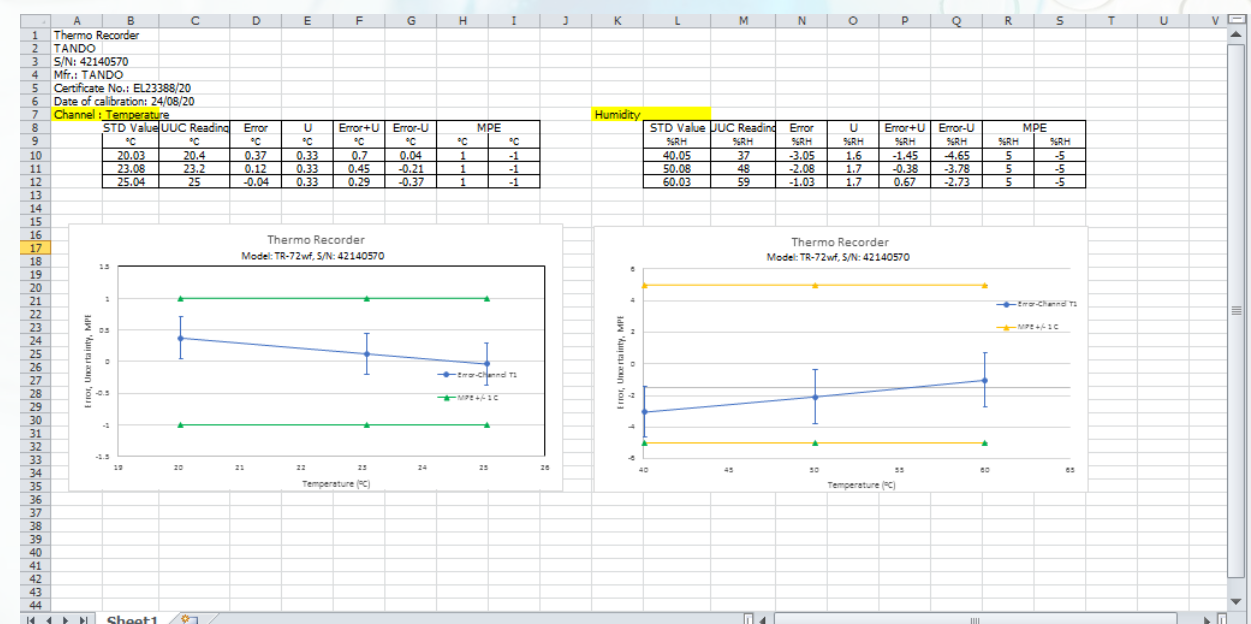
เกิน 3 นาที 12.34 นาที ผ่าน

- (e) Examine the descent rate of the piston. The piston descent rate is observed at maximum pressure when the piston is rotating. Measure the time interval in which the piston drops from top to bottom position. This time should be at least 3 min.

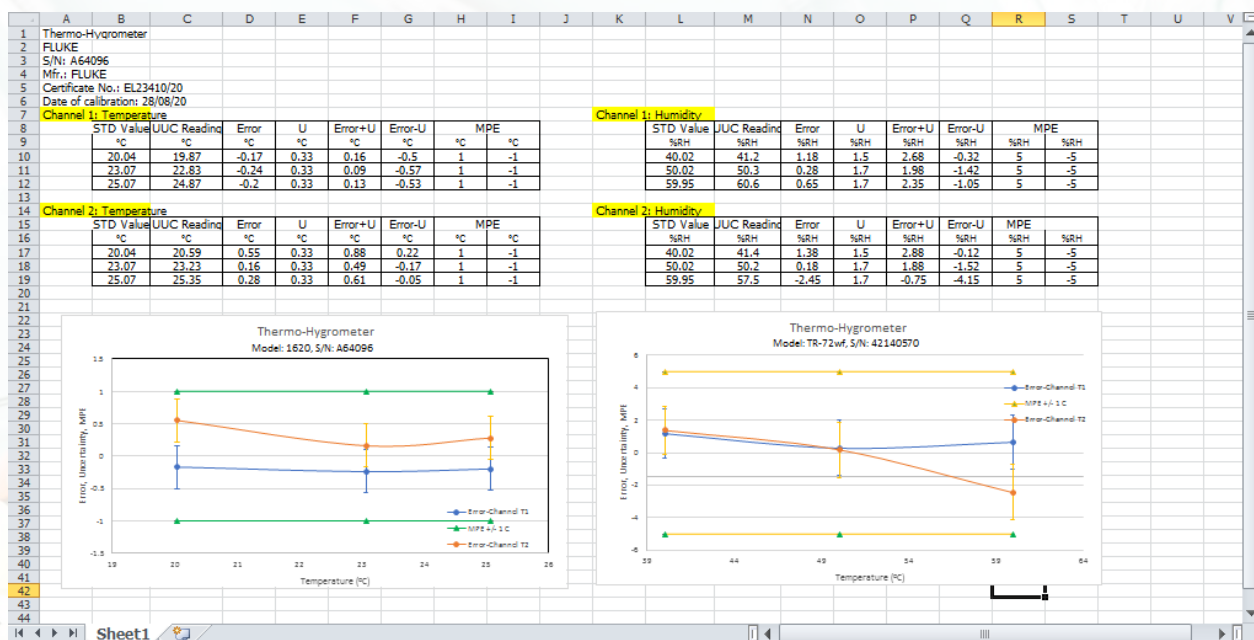
7.2 Verification Thermometer



7.3 Verification Thermo Recorder



7.4 Verification Hygrometer



8. การเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ (Inter-laboratory comparison)

เป็นการจัดการ การดำเนินการและการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบสิ่งเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน โดยห้องปฏิบัติการสองแห่งหรือมากกว่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ในที่นี้จะเป็นการนำผลการทดสอบเทียบ Pressure Instrument ตามบทความนี้ โดยกำหนดให้เป็น ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ B ไปทำการเปรียบเทียบผลการวัดกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ A เป็นห้องปฏิบัติการอ้างอิง ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐาน มอก.17025/2561 และมีค่า CMC ต่ำกว่า มีผลดังนี้

$$E_n = \frac{Error_{Lab_B} - Error_{Lab_A}}{\sqrt{U_{Lab_B}^2 + U_{Lab_A}^2}} \quad (40)$$

ค่าสัดส่วน E_n ที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละห้องปฏิบัติการ จะมีความหมายดังต่อไปนี้ เมื่อขนาดของสัดส่วน E_n มีค่าน้อย หรือเท่ากับ 1 หมายความว่า ผลการวัดนั้นสอดคล้องกับค่าอ้างอิง แต่ถ้าขนาดสัดส่วน E_n มากกว่า 1 แสดงว่าผลการวัดนั้นไม่สอดคล้องกับค่าอ้างอิง ผลสำเร็จของการเปรียบเทียบ ผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ ไม่ได้เป็นเพียงแค่การตัดสินจากค่าสัดส่วน E_n เท่านั้น แต่คือ การบรรลุวัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้กล่าวไว้

$Error_{Lab_A}$ คือ ค่า Error ของห้องปฏิบัติการอ้างอิง

$Error_{Lab_B}$ คือ ค่า Error ของห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบ

U_{Lab_A} คือ ค่า Expanded Uncertainty ของห้องปฏิบัติการอ้างอิง

U_{Lab_B} คือ ค่า Expanded Uncertainty ของห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบ

เกณฑ์การประเมิน คือ $E_n \leq 1$: ผ่านเกณฑ์

$E_n > 1$: ไม่ผ่านเกณฑ์

ตารางที่ 8 Inter-laboratory comparison Results

Measurement Point (bar)	Error Value Lab A (bar)	Uncertainty Lab A (bar)	Error Value Lab B (bar)	Uncertainty Lab B (bar)	E_n ratio
0	-0.001	0.0011	-0.001	0.0014	0.00
7	0.004	0.0012	0.004	0.0016	0.00
14	0.009	0.0019	0.010	0.0018	0.38
21	0.014	0.0028	0.015	0.0023	0.28
28	0.021	0.0037	0.023	0.0030	0.42
35	0.024	0.0046	0.025	0.0035	0.17
42	0.027	0.0055	0.030	0.0041	0.44
49	0.031	0.0064	0.031	0.0048	0.00
56	0.036	0.0073	0.040	0.0060	0.42
63	0.040	0.0082	0.041	0.0067	0.09
70	0.043	0.0091	0.044	0.0067	0.09

สรุปผลการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ผลปรากฏว่า ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ Lab B มีค่า $E_n \leq 1$ ในทุกช่วงการวัด สรุป ผ่านเกณฑ์



สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย (สมท.)
Metrology Society of Thailand

ประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2563 สัมมนาวิชาการ สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย (สมท.)

วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2564 (เวลา 08.30 – 13.30 น.)
ผ่านระบบออนไลน์ application zoom meeting

กำหนดการ

- 08.30 – 09.00 น. ลงทะเบียน
- 09.00 – 09.10 น. ประธานกล่าวเปิดการประชุม
- 09.10 – 09.45 น. การประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2563
- 09.45 – 10.30 น. รายงานผลการดำเนินงานกิจกรรมการทดสอบความชำนาญประจำปี 2563
- 10.30 – 10.45 น. พักรับประทานอาหารว่าง
- 10.45 – 13.15 น. การบรรยายวิชาการบทบาทของมาตรวิทยาในห้องปฏิบัติการทดสอบ/
สอบเทียบ (โดย หน่วยงานเครือข่ายสมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย)
- การเลือกใช้ Gas Regulator ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
วิทยากร: จากบริษัท แลบบแก๊ส (ประเทศไทย) จำกัด
 - การเลือกใช้ CRM และการเข้าร่วม PT
วิทยากร: คุณสุนิสา แก้ววิเศษ จาก บริษัท แสงวิทย์ ชาญน์ จำกัด
 - เทคนิคการใช้งานเครื่องชั่งและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเครื่องชั่งน้ำหนัก
วิทยากร: คุณพัชรภรณ์ เฟื่องฟูพงศ์ จาก บริษัท เมทเลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด
 - เทคนิคการใช้ การบำรุงรักษาเครื่องวัดความหนาแน่น (Density Meter)
วิทยากร: คุณสิทธิศักดิ์ ชัยโสทธิ จาก บริษัท Anton Paar (Thailand) Ltd
 - เทคนิคการใช้ การบำรุงรักษาเครื่องมือทาง Chromatography Mass Spectrometer
วิทยากร: ดร.มหิทธิ เพื่อนงาม จากบริษัท ชาญน์ สเปค จำกัด
- 13.15 – 13.30 น. ข้อซักถามและข้อเสนอแนะ



โปรดลงทะเบียนเข้าร่วมผ่าน QR code

ผู้ประสานงาน : คุณพัศณี ศรีภักดิ์
โทร : 085-6643838 , 02- 9406943
E - mail : mst@mst.or.th

ผู้สนับสนุน



METTLER TOLEDO



ขอขอบคุณผู้สนับสนุนสมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย

