

ข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ

THAI WORKSHOP AGREEMENT

ข้อตกลงร่วม 4005-2566

TWA 4005-2023

แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบ สาขาความดัน

GUIDELINES FOR TECHNICAL ASSESSMENT OF PRESSURE CALIBRATION
LABORATORIES

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARDS INSTITUTE

กระทรวงอุตสาหกรรม

MINISTRY OF INDUSTRY

ICS 17.020

ISBN 978-616-595-430-3

ข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ
แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการ
ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน

ข้อตกลงร่วม 4005-2566

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2430 6815

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 140 ตอน 202 ง
วันที่ 23 สิงหาคม พุทธศักราช 2566

ชื่อคณะกรรมการที่จัดทำ

แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน

ชื่อคณะกรรมการ ได้รับการแต่งตั้งโดย นางอัจฉรา เจริญสุข ซึ่งดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการสถาบัน
มาตรวิทยาแห่งชาติในขณะนั้น เพื่อจัดทำร่างมาตรฐานการตรวจประเมินทางวิชาการสาขาความดันให้เป็นไปอย่างมี
ประสิทธิภาพ รวมถึงกิจกรรมที่เกี่ยวข้องให้บรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมาย โดยมีรายชื่อ ดังต่อไปนี้

ที่ปรึกษา

ร.ท. อุทัย	นรินทร์	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางอุทุมพร	แก้วน้ำดี	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ประธาน

ร.อ. ธวัช	ช่างปั้น	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการ
-----------	----------	-------------------------

กรรมการ

นายคมสัน	ยังจรรย์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นายสำเนาวั	ทองมัน	ผู้ทรงคุณวุฒิ
นายมิตร	วีระธรรม	ผู้ทรงคุณวุฒิ
นางสาวประภัสสร	ภิรมย์ไกรภักดิ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
นายอรรถพล	ปานุราช	สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
นายบุญฤทธิ์	เอื้อจิรกาล	บริษัท ฟอร์ธ แคลิเบรชั่น แอนด์ เซอร์วิส จำกัด
นายชาติรี	คำฝุย	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการ
นายปฏิพัทธ์	วงศ์เทพ	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นายลิขิต	ไสหนู	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวทัศนีย์	ไพรรื่นรมย์	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นายสุวัฒน์	พนากุลวิจิตร	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวนันทน์หทัย	สงบพันธ์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้ออกประกาศคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรอง เรื่อง กระบวนการและรูปแบบในการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบและรับรองแห่งชาติ (มตช.) พ.ศ. 2565 โดยเอกสารนี้ใช้กลไกการจัดทำในรูปแบบข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถตอบสนองต่อความจำเป็นเร่งด่วนในสถานการณ์ปัจจุบันได้ ทั้งนี้ ข้อตกลงร่วมดังกล่าวจะได้รับการทบทวนภายในระยะเวลา 5 ปี และนำเสนอคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรองพิจารณารูปแบบมาตรฐานการตรวจสอบและรับรองหรือยกเลิกข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการต่อไป

ข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดันเป็นความร่วมมือระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) โดยหน่วยบริหารและจัดการทุน ด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ภายใต้โครงการการพัฒนาฝีมือการสอบเทียบด้านความดัน เพื่อเป็นแนวทางการตรวจประเมินทางเทคนิค และเครือข่ายห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านความดันเพื่อรองรับอุตสาหกรรม

ข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการนี้ระบุแนวทางการตรวจประเมินในการให้การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน ครอบคลุมเฉพาะเครื่องมือประเภท Pressure Measuring Instruments เพื่อให้การตรวจประเมินห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดันในเครื่องมือประเภทดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกัน นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำวิธีการสอบเทียบได้

คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรองได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้วเห็นสมควรเสนอประธานกรรมการประกาศตามมาตรา 13 (1) แห่งพระราชบัญญัติการมาตรฐานแห่งชาติ พ.ศ. 2551



**ประกาศคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรอง
ฉบับที่ ๓๑ (พ.ศ. ๒๕๖๖)**

ออกตามความในพระราชบัญญัติการมาตรฐานแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๕๑
เรื่อง กำหนดข้อตกลงร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการ
แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๓ (๑) แห่งพระราชบัญญัติการมาตรฐานแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๕๑
คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรอง จึงออกประกาศกำหนดข้อตกลงร่วม
การประชุมเชิงปฏิบัติการ แนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน
เลขที่ ข้อตกลงร่วม 4005-2566 ดังมีรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๐ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๖

นายบรรจง สุกรีธา

เลขาธิการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ประธานคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานด้านการตรวจสอบและรับรอง

สารบัญ

1. บทนำ	1	
2. ขอบข่าย	1	
3. มาตรฐานอ้างอิง	2	
4. ศัพท์และนิยามศัพท์	2	
5. ข้อยกเว้นทั่วไป	3	
6. ขอบข่ายที่ยื่นขอการรับรอง	3	
7. สภาวะแวดล้อม	3	
8. วิธีการสอบเทียบ	4	
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ข้อมูลที่จำเป็นต่อการตรวจประเมินของสาขาความดัน	11
ภาคผนวก ข	ขอบข่ายที่ยื่นขอรับการรับรอง	15
ภาคผนวก ค	สมการคำนวณ Local gravity	23
ภาคผนวก ง	วิธีการที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (In-house method)	27
ภาคผนวก จ	ที่มาของความไม่แน่นอนในการวัด	33
ภาคผนวก ฉ	ความแตกต่างระหว่าง DKD-R 6-1 และ EURAMET Calibration Guide No. 17	53
ภาคผนวก ช	รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ	57

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการแข่งขันทางการค้าในภาคอุตสาหกรรมค่อนข้างสูง ส่งผลให้ผู้ผลิต ผู้ส่งออก และผู้ให้บริการให้ความสำคัญเรื่องระบบบริหารคุณภาพ เช่น ISO 9000 และ ISO/IEC 17025 เพราะนอกจากจะช่วยสร้างการยอมรับในคุณภาพของสินค้าที่ผลิตขึ้นและบริการที่นำเสนอต่อผู้บริโภคแล้ว ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและบริการที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในกระบวนการต่าง ๆ ได้ ซึ่งเงื่อนไขที่สำคัญอย่างหนึ่งของการทำงานที่จะได้รับการรับรองระบบคุณภาพคือ เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตและบริการจะต้องได้รับการสอบเทียบ โดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ ISO/IEC 17025 จึงเกิดแรงผลักดันให้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดันที่ยังไม่ได้รับการรับรองดังกล่าว พยายามที่จะพัฒนาขีดความสามารถและยื่นขอการรับรองฯ เพิ่มมากขึ้น และอาจส่งผลให้กระบวนการขอการรับรองฯ ต้องใช้เวลานาน เนื่องจากมีจำนวนผู้ตรวจประเมินจำกัด นอกจากนี้ ยังมีประเด็นที่ผู้ตรวจประเมินแต่ละท่านมีวิจารณ์ญาณในการตัดสินที่แตกต่างกัน ซึ่งนำไปสู่ความขัดแย้งระหว่างผู้ตรวจประเมิน และผู้รับการตรวจประเมิน

ดังนั้น เพื่อให้การตรวจประเมินห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน ในเครื่องมือประเภท Pressure Measuring Instruments ของผู้ตรวจประเมินเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และสามารถดำเนินการได้รวดเร็วขึ้น ทางสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงได้ร่วมมือกันจัดทำข้อตกลงร่วมเชิงปฏิบัติการสำหรับการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดันฉบับนี้ขึ้น โดยผ่านการประชุมหารือร่วมกันของคณะทำงานที่มาจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิ ในสาขาความดันของประเทศ

2. ขอบข่าย

ข้อตกลงร่วมเชิงปฏิบัติการฯ นี้ ผู้ตรวจประเมินสามารถใช้เป็นแนวทางการตรวจประเมินในการให้การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดันครอบคลุมเฉพาะเครื่องมือประเภท Pressure Measuring Instruments และห้องปฏิบัติการสอบเทียบก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำวิธีการสอบเทียบได้

3. มาตรฐานอ้างอิง

- 3.1 Guideline DKD-R 6-1, *Calibration of Pressure Gauges*, edition 03/2014, revision 3
- 3.2 EURAMET Calibration Guide No. 17, *Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers*, Version 4.1 (09/2022)
- 3.3 ASME B40.100-2013, *Pressure Gauges and Gauge Attachments*, issued on Nov 20, 2013
- 3.4 BS EN 837-1: 1998, *Pressure Gauges Part 1. Bourdon tube pressure gauges – Dimensions, metrology, requirements and testing*

4. ศัพท์และนิยามศัพท์

4.1 Linearity

พิจารณาจากผลการสอบเทียบตลอดช่วงการวัด ซึ่งแต่ละจุดวัดต้องมีระยะห่างเท่า ๆ กัน และจำนวนจุดวัดต้องเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานที่ใช้

4.2 Hysteresis

พิจารณาจากค่าที่อ่านได้ขณะการวัดขาขึ้น และขาลง ณ จุดความดันและรอบของการวัดเดียวกัน

4.3 Zero error

พิจารณาจากค่าที่อ่านได้ในแต่ละรอบของการวัด เมื่อระบบเปิดสู่ความดันบรรยากาศ (เฉพาะกรณี Gauge mode)

4.4 Span error

พิจารณาจากค่าที่อ่านได้ที่จุดความดันสูงสุดเทียบกับค่าความดันที่อ่านได้จากเครื่องมือมาตรฐาน

4.5 Repeatability

พิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ ณ ความดันเดียวกัน ที่รอบของการวัดต่างกัน แต่ในทิศทางของการวัดเดียวกัน (ขาขึ้นหรือขาลง)

4.6 Reproducibility

พิจารณาจากค่าที่อ่านได้ของการวัดรอบแรกกับรอบสุดท้าย ณ ความดันเดียวกัน และในทิศทางของการวัดเดียวกัน ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่แรงบิด (Torque) ที่ใช้ในขณะติดตั้ง ส่งผลกระทบต่อผลการวัด โดยต้องถอดเครื่องมือออก และติดตั้งใหม่ก่อนทำการวัดรอบสุดท้าย

5. ข้อเสนอแนะทั่วไป

ข้อมูลที่เป็นต่อการตรวจประเมินของสาขาความดัน เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ตรวจประเมินสามารถเข้าใจขอบข่ายที่ห้องปฏิบัติการยื่นขอได้ง่ายขึ้น ห้องปฏิบัติการต้องแสดงข้อมูลที่มีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้

- สาขาการสอบเทียบ (Field of calibration)
- อุปกรณ์ที่จะสอบเทียบ (Unit under calibration)
- โหมดการใช้งาน (Operating modes)
- พิสัยการวัด (Measuring range)
- ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (Calibration and Measurement Capability, CMC)
- ตัวกลางที่ใช้ (Pressure medium)
- วิธีการสอบเทียบ (Calibration method)

หมายเหตุ ตัวอย่างของการระบุข้อมูลที่จำเป็น สามารถศึกษาได้ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

6. ขอบข่ายที่ยื่นขอการรับรอง

การจัดทำขอบข่ายที่ยื่นขอการรับรอง เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการตรวจประเมิน ต้องมีรายละเอียดอ้างอิงตามภาคผนวก ข

7. สภาวะแวดล้อม

7.1 อุณหภูมิขณะสอบเทียบ (Temperature)

โดยทั่วไปอุณหภูมิของการสอบเทียบ กำหนดไว้ระหว่าง 18 °C ถึง 28 °C และต้องมีการบันทึกไว้เป็นหลักฐาน ความเข้มงวดของเกณฑ์ที่ใช้ขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ และความถูกต้องแม่นยำของวิธีการสอบเทียบที่ต้องการ หากห้องปฏิบัติการใช้เครื่อง Pressure balance เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบโดยมีค่าความเบี่ยงเบนไม่เกิน ± 2 °C (อ้างอิงจากข้อมูลวิชาการ สามารถดาวน์โหลดเอกสารจาก <https://mx.nimt.or.th/?p=16138>)

7.2 ค่าความหนาแน่นของอากาศขณะสอบเทียบ (Air density, ρ_a)

กรณีสอบเทียบเครื่องมือวัดความดันในโหมด Gauge pressure และ Differential pressure โดยใช้ Pressure balance เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ห้องปฏิบัติการต้องทราบค่าความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งสามารถคำนวณจากสถานะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องมือวัดสถานะแวดล้อมในการคำนวณ หากไม่มีเครื่องมือวัดสถานะแวดล้อมหรือกรณีสอบเทียบโดยใช้เครื่อง Pressure calibrator เป็นเครื่องมือมาตรฐาน สามารถใช้ค่าความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ $1.2 \text{ kg m}^{-3} \pm 5 \% \rho_a$ (อ้างอิงจาก EURAMET cg-3, version 1.0 (03/2011))

7.3 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Local gravity, g)

ห้องปฏิบัติการต้องทราบค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก รวมถึงค่าความไม่แน่นอนอน เพื่อใช้ในการแก้ค่า และประเมินความไม่แน่นอนของผลการวัด ทั้งนี้ห้องปฏิบัติการสามารถหาค่า g ด้วยวิธีการคำนวณตามสมการที่กำหนดโดย International Association of Geodesy (IAG) ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลของความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และเส้นรุ้ง (ละติจูด) ของพื้นที่ โดยค่าเหล่านี้สามารถหาได้จากแผนที่ระวางมาตราส่วน 1:50000 ที่จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร (อ้างอิงวิธีการคำนวณตามรายละเอียดที่ระบุในภาคผนวก ค) หรือใช้ค่า g ที่มาจากการวัดโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.)

8. วิธีการสอบเทียบ

8.1 วิธีมาตรฐาน (Standard method)

วิธีมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบความดันซึ่งเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานระหว่างประเทศมีหลายวิธี ได้แก่ มาตรฐาน BS EN 837-1:1998, ASME B40.100-2013, DKD-R 6-1 (03/2014) และ EURAMET cg-17 (09/2022) เป็นต้น

8.1.1 คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องมือวัด

คุณลักษณะที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน ประเภท Pressure Measuring Instruments ได้แก่

- Linearity
- Hysteresis

- Zero error
- Span error
- Repeatability
- Reproducibility

8.1.2 สารสำคัญของแต่ละวิธีมาตรฐานฯ

เพื่อให้การนำวิธีการสอบเทียบมาตรฐานต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม และเป็นไปในทางเดียวกันนั้น ห้องปฏิบัติการที่มีการอ้างอิงวิธีการสอบเทียบตามแต่ละมาตรฐาน ระหว่างประเทศ ต้องมีสารสำคัญโดยสังเขปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสาระสำคัญโดยสังเขปของแต่ละวิธีมาตรฐานฯ

วิธีการสอบเทียบ / ประเด็นสรุป โดยสังเขป	BS EN 837-1: 1998	ASME B40.100- 2013	DKD-R 6-1 (03/2014)	EURAMET cg-17 (09/2022)
1. ขอบข่าย	ครอบคลุมเฉพาะ Bourdon tube pressure gauges, Gauge pressure เท่านั้น	ครอบคลุมเฉพาะ Dial type indicating gauges (Mechanical pressure gauge), Gauge pressure เท่านั้น	ครอบคลุม Bourdon tube pressure gauges, Electrical pressure gauges, Pressure transmitters ที่วัด สัญญาณออกเป็น ไฟฟ้า ทั้งประเภท Gauge, Absolute และ Differential pressure	ครอบคลุม Bourdon tube pressure gauges, Electrical pressure gauges, Pressure transmitters ที่วัด สัญญาณออกเป็น ไฟฟ้า ทั้งประเภท Gauge, Absolute และ Differential pressure
2. จำนวนจุดของการ สอบเทียบ	√	√	√	√
3. จำนวนรอบของการ สอบเทียบ	x	√	√	√
4. ทำการสอบเทียบทั้ง ขาขึ้นและขาลง (Hysteresis)	√	√	√	√
5. การพิจารณาที่จุด ศูนย์ กรณีไม่มี Zero stop (และเครื่องมือ มาตรฐานกรณีที่ใช้ (Standard calibrator)	√	√	√	√

6. ค่าสูงสุดต้องได้รับการสอบเทียบ	√	√	√	√
7. จำนวนของการ Preloading ก่อนเริ่มการสอบเทียบ	X	√	√	√
8. วิธีการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ชัดเจน	X	X	√	√
9. อื่น ๆ	<p>1. เครื่องมือมาตรฐานต้องมี ความถูกต้อง (Accuracy) ดีกว่า เครื่องมือที่จะถูกสอบเทียบอย่างน้อย 4 เท่า</p> <p>2. ค่าความสามารถในการอ่าน (Readability) เป็นไปได้ตั้งแต่ 1/4 ถึง 1/10 ของช่องระหว่างขีด</p>	<p>1. ในบาง Grade ของ Pressure gauge จะมีค่า accuracy ที่ไม่เท่ากันตลอดพิสัยการวัดของ Gauge นั้น ๆ</p>	<p>1. เครื่องมือมาตรฐานต้องมีค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ดีกว่าค่าความไม่แน่นอนเป้าหมาย (Target uncertainty) ของเครื่องมือที่จะถูกสอบเทียบอย่างน้อย 3 เท่า</p> <p>2. วิธีการสอบเทียบต้องสอบเทียบให้ครอบคลุมพิสัยการวัด</p> <p>3. ตำแหน่งการติดตั้ง ต้องทำให้ถูกต้อง (แนวนอนหรือแนวตั้ง)</p> <p>4. การแบ่งจุดสอบเทียบต้องแบ่งช่วง</p>	<p>1. เครื่องมือมาตรฐานต้องมีค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายของเครื่องมือที่จะถูกสอบเทียบอย่างน้อย 2 เท่า</p> <p>2. การสอบเทียบกำหนดทั้งขาขึ้นและขาลง โดยกำหนดจุดสอบเทียบในรอบการวัดที่ 2 และ 3 แตกต่างกันตามค่าความไม่แน่นอนเป้าหมายของเครื่องมือที่จะถูกสอบเทียบ</p> <p>3. วิธีการสอบเทียบต้องสอบเทียบให้</p>

			ให้เท่ากันตลอด พิธีการวัด 5. กรณีแรงบิดที่ใช้ ในการติดตั้งส่งผล ต่อผลการวัด ต้อง สอบเทียบเพิ่มอีก 1 รอบ หลังจากถอด และติดตั้งใหม่	ครอบคลุมพิธีการ วัด 4. การแบ่งจุดสอบ เทียบต้องแบ่งช่วง ให้เท่ากันตลอด พิธีการวัด
--	--	--	--	---

หมายเหตุ

- ✓ หมายถึง มีรายละเอียดกล่าวไว้ในเอกสารวิธีการสอบเทียบนั้น ๆ
- X หมายถึง ไม่มีรายละเอียดกล่าวไว้ในเอกสารวิธีการสอบเทียบนั้น ๆ

8.2 วิธีการที่ไม่เป็นมาตรฐาน (Non-standard method)

กรณีที่ห้องปฏิบัติการใช้วิธีการที่ไม่เป็นมาตรฐาน (Non-standard method) วิธีที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นมาเอง (Laboratory-developed method) และวิธีตามมาตรฐานที่ถูกใช้นอกขอบข่ายที่กำหนดไว้หรือมีการดัดแปลงวิธีการมาตรฐาน การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีจะต้องครอบคลุมขอบเขตตามความจำเป็น เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของการใช้งานหรือสาขาการใช้งาน

วิธีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Validation Method)

- 8.2.1 ต้องดำเนินการเป็นไปตามกรอบวิธีการขั้นต่ำที่กำหนดไว้เป็นบรรทัดฐาน (Minimum requirement) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ง
- 8.2.2 ห้องปฏิบัติการมีหน้าที่ในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี โดยสามารถอ้างอิงตามวิธีการที่ระบุในข้อกำหนดมาตรฐานเลขที่ มอก.17025-2561 ข้อ 7.2.2.1 หมายเหตุ 2 เช่น
 - การเปรียบเทียบผลการวัดกับห้องปฏิบัติการอื่น จำเป็นต้องพิจารณา ดังนี้
 - 1) ห้องปฏิบัติการอ้างอิงต้องเป็นห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง และต้องมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดเล็กกว่า หรือเท่ากับค่าความไม่แน่นอนของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ต้องการพิสูจน์
 - 2) ตัวกลาง (Artifact) ที่ใช้ในการวัดเปรียบเทียบผลต้องมีความละเอียดและเสถียรมากพอที่จะสะท้อนขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการที่จะขอการรับรอง

- การเปรียบเทียบผลการวัดที่ใช้วิธีการต่างกัน จำเป็นต้องพิจารณาดังนี้
 - 1) ห้องปฏิบัติการต้องแสดงหลักฐานการประกันคุณภาพของวิธีการสอบเทียบที่อ้างอิง
 - 2) การสอบเทียบโดยการใช้วิธีการอ้างอิงต้องสามารถพิสูจน์ขีดความสามารถของวิธีการที่ต้องการพิสูจน์โดยต้องมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดเล็กกว่า หรือเท่ากับค่าความไม่แน่นอนของวิธีการที่ต้องการพิสูจน์
- การประเมินปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการสอบเทียบ หรือการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบ ที่สามารถยอมรับได้ในหลักวิชาการ

9. การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด

9.1 ในกรณีที่ใช้ Pressure balance เป็นเครื่องมือมาตรฐาน

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ $k=2$ สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$U = k \sqrt{u_{\text{std}}^2 + u_i^2 + u_\alpha^2 + u_g^2 + u_\lambda^2 + u_{\Delta\rho(\Delta h)}^2 + u_{g(\Delta h)}^2 + u_{\Delta h}^2 + u_{\text{res(uuc)}}^2 + u_{\text{zero}}^2 + u_{\text{repeat}}^2 + u_{\text{repro}}^2 + u_{\text{hys}}^2}$$

หมายเหตุ

1. หากใบรับรองผลการสอบเทียบ Pressure balance ได้รายงานค่าความไม่แน่นอนในรูปแบบของความดันมาให้ ซึ่งจะรวมผลกระทบเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความดัน (λ) ไว้ในค่าความไม่แน่นอนที่รายงานแล้ว สามารถตัดเทอม u_λ^2 ออก
2. หากผลการทวนสอบใบรายงานผลการสอบเทียบ Pressure balance ซึ่งได้แก่ พื้นที่หน้าตัด (A_0) และ ก้อนน้ำหนัก (m) อยู่ภายในเกณฑ์ของความไม่แน่นอนที่รายงานมา ไม่จำเป็นต้องเพิ่มความไม่แน่นอนเนื่องจาก Long term stability ของ A_0 และ m

9.2 ในกรณีที่ใช้ Pressure calibrator เป็นเครื่องมือมาตรฐาน

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ $k=2$ สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$U = k \sqrt{u_{\text{std}}^2 + u_{\text{res(std)}}^2 + u_{\Delta\rho(\Delta h)}^2 + u_{g(\Delta h)}^2 + u_{\Delta h}^2 + u_{\text{res(uuc)}}^2 + u_{\text{zero}}^2 + u_{\text{repeat}}^2 + u_{\text{repro}}^2 + u_{\text{hys}}^2}$$

9.3 ในกรณีที่ใช้ Pressure calibrator เป็นเครื่องมือมาตรฐาน สอบเทียบ Pressure gauge ที่มีความถูกต้องไม่ดีกว่า 0.1%

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ $k=2$ สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$U = k \sqrt{u_{\text{std}}^2 + u_{\text{res(std)}}^2 + u_{\Delta h}^2 + u_{\text{res(uuc)}}^2 + u_{\text{zero}}^2 + u_{\text{repeat}}^2 + u_{\text{repro}}^2 + u_{\text{hys}}^2}$$

หมายเหตุ

ทั้ง 9.1, 9.2 และ 9.3 หากไม่ได้ทำการวัดซ้ำเพื่อหา Reproducibility ให้ตัดเทอม u_{repro}^2 ออก

ตัวอย่างการอธิบายที่มาของความไม่แน่นอนในการวัด รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก จ

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้เป็นการตรวจประเมินของสาขาความดัน

ตาราง ก.1 ในการระบุ CMC สาขาความดัน จะต้องกรอกข้อมูลทั้งหมดที่แสดงด้านล่างนี้ ทีละขั้นตอน

	อุปกรณ์ที่จะสอบเทียบ	โหมดการทำงาน	พิสัยการวัด	ความไม่แน่นอนของการวัด	ประเภทของของไหลที่ใช้	วิธีการสอบเทียบ
ความดัน (Pressure)	Mechanical pressure gauge	<i>Absolute</i> (P_{abs})		The minimum uncertainty of the range should be stated. For example: $1 \times 10^{-5} P_e$ but not smaller than 21 Pa	N ₂	In-house method
	Electromechanical manometer	<i>Gauge</i> (P_e)			Air	BS EN 837-1
	Differential pressure transmitter	<i>Differential</i> (P_d)			Oil	ASME B40.100
	Pressure measuring instrument				H ₂ O	DKD-R 6-1
	Barometer					EURAMET cg-17
	Vacuum gauge					
	Negative pressure gauge					
	Dead-weight tester					
	Pressure balance					
	Etc.					

ภาคผนวก ข

ขอข่ายที่ยื่นขอรับการรับรอง

ข.1 รูปแบบขอข่ายการรับรอง

การระบุขอข่ายการรับรองการสอบเทียบสาขาความดันจะต้องประกอบด้วย

ข.1.1 ชื่อรายการสอบเทียบ ให้ใช้รูปแบบดังข้างล่างนี้

“Pressuring measuring instrument

เครื่องมือวัดทางด้านความดันที่สอบเทียบ

ชนิดของความดันที่สอบเทียบ”

- ตัวอย่างของเครื่องมือวัดทางด้านความดันที่สอบเทียบ เช่น Pressure gauge หรือ Pressure transmitter/transducer with electrical output หรือ Pressure balance หรือ Barometer หรือ Vacuum gauge
- ตัวอย่างชนิดความดันที่สอบเทียบ เช่น Gauge pressure (P_e), Absolute pressure (P_{abs}), Differential pressure (P_d)

หมายเหตุ กรณีที่เป็น Differential pressure (P_d) จะต้องระบุ Line pressure (P_{line}) เพิ่มเติม

ข.1.2 ช่วงการวัด ให้ระบุเป็นหน่วยการวัดระหว่างประเทศ (International system of units; SI units) เช่น Pa และ bar เป็นต้น

ข.1.3 ค่าขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (Calibration and measurement capability; CMC) ให้ระบุเป็นหน่วยการวัดระหว่างประเทศ (International system of units; SI units) เช่น Pa และ bar เป็นต้น และการระบุค่า CMC สามารถระบุได้ดังรูปแบบดังต่อไปนี้

ข.1.3.1 รูปแบบเป็นค่าเดียว (Single value) ที่เป็นตัวแทนตลอดพิสัยช่วงการวัด เช่น 1.5 bar, 0.75 Pa เป็นต้น

ข.1.3.2 รูปแบบเป็นฟังก์ชัน (Explicit function) ของสิ่งที่เจตนาวัด (Measurand) หรือ พารามิเตอร์ของเครื่องมือที่ถูกวัด เช่น

$$8.1 \times 10^{-4} P_e + 0.12 \text{ Pa หรือ}$$

$$3.0 \times 10^{-2} P_{abs} \text{ หรือ}$$

$$3.0 \times 10^{-5} P_d \text{ but not smaller than } 2.9 \text{ Pa เป็นต้น}$$

ข.1.4 ต้องระบุตัวกลางที่ใช้สำหรับการสอบเทียบ เช่น Air, N₂, H₂O เป็นต้น ไว้ในช่องวิธีการสอบเทียบของขอข่ายที่ขอรับการรับรอง โดยมีรูปแบบดังนี้

“Pressure medium : ตัวกลางที่ใช้”

เช่น Pressure medium : Air หรือ Pressure medium : N₂ เป็นต้น

ข.1.5 วิธีการสอบเทียบ กำหนดแนวทางในการระบุดังนี้

ข.1.5.1 กรณีขอรับการรับรองตามวิธีการมาตรฐาน มีแนวทางในการระบุ 2 รูปแบบ ดังนี้

ข.1.5.1.1 ระบุวิธีมาตรฐานโดยไม่ระบุปีที่ประกาศใช้มาตรฐานดังกล่าว เช่น DKD-R 6-1, EURAMET cg-3 เป็นต้น ดังนั้น ห้องปฏิบัติการจะต้องปรับวิธีการให้เป็นไปตามมาตรฐานฉบับล่าสุด และในการตรวจติดตามผลการรับรองหรือต่ออายุใบรับรอง หากห้องปฏิบัติการไม่สามารถปรับวิธีการให้เป็นไปตามมาตรฐานฉบับล่าสุด จะต้องปรับขอขยายเป็นวิธีมาตรฐานที่ระบุปีที่ประกาศใช้

ข.1.5.1.2 ระบุวิธีมาตรฐานและปีที่ประกาศใช้ เช่น DKD-R 6-1 : 2014 เป็นต้น ดังนั้น ห้องปฏิบัติการจะทำการสอบเทียบได้ตามที่วิธีมาตรฐานและปีที่ประกาศใช้ตามที่ขอรับการรับรองเท่านั้น และหากห้องปฏิบัติการมีความประสงค์จะได้รับการรับรองตามวิธีมาตรฐานฉบับล่าสุด จะต้องยื่นขอการรับรองใหม่ตามวิธีการสอบเทียบฉบับล่าสุด

ข.1.5.2 กรณีขอรับการรับรองด้วยวิธีที่ไม่เป็นมาตรฐาน มีแนวทางในการระบุวิธีการสอบเทียบ ดังนี้

ข.1.5.2.1 กรณีที่ดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน หรือใช้วิธีมาตรฐานนอกขอบข่ายการระบุวิธีการสอบเทียบจะต้องระบุปีที่ประกาศใช้ของวิธีมาตรฐานที่นำมาดัดแปลง หรือใช้นอกขอบข่าย โดยระบุในรูปแบบดังนี้

“Based on DKD-R 6-1:2014” หรือ

“Based on EURAMET cg-3, version 1.0 (03/2011)”

ดังนั้น หากวิธีมาตรฐานที่อ้างถึงมีการเปลี่ยนแปลง และห้องปฏิบัติการมีความประสงค์ที่จะได้รับการรับรอง ห้องปฏิบัติการต้องตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีซ้ำอีกครั้ง และยื่นคำขอรับใบรับรองห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม

ข.1.5.2.2 กรณีใช้วิธีการสอบเทียบอ้างอิงตามคู่มือผู้ผลิต หรือใช้เทคนิคการวัด ให้ระบุเทคนิคการวัดที่ใช้ ห้ามระบุชื่อเครื่องมือ และ/หรือ รุ่นของ เครื่องมือ ที่เป็นการสื่อว่าเป็นเครื่องมือของหน่วยงานใด ๆ ในขอบข่าย การรับรอง โดยให้ระบุรูปแบบดังนี้

“Technique with standard”

โดยที่

Technique หมายถึง เทคนิคการวัดที่ใช้สอบเทียบ เช่น Comparison technique, Direct measurement, In-direct measurement เป็นต้น

Standard หมายถึง เครื่องมือมาตรฐานการวัดที่ใช้ตามเทคนิค การวัดที่ระบุ ห้ามระบุชื่อทางการค้า ยี่ห้อ รุ่น หรือ ผู้ผลิต โดยอาจจะระบุเป็นชื่อเครื่องมือที่สื่อ ความหมายเป็นที่เข้าใจตรงกัน

เช่น Direct measurement with pressure calibrator เป็นต้น

ข.1.5.2.3 กรณีที่วิธีการสอบเทียบอ้างอิงตามวิธีการที่ยอมรับ หรือหลักการทาง วิทยาศาสตร์ ให้ระบุชื่อวิธีการ หรือหลักการ ในขอบข่ายการรับรอง เช่น Static expansion method เป็นต้น

ตาราง ข.1 ตัวอย่างการเขียนขอบข่ายที่ขอรับการรับรอง

สาขาการ สอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของ การสอบเทียบและการวัด	วิธีสอบเทียบ
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Pressure gauge Gauge pressure (P_e) -90 kPa to 0 kPa 1.4 kPa to 175 kPa 0.5 MPa to 40 MPa Absolute pressure (P_{abs}) 0.1 MPa to 7.1 MPa Differential pressure (P_d) at line Pressure (P_{line}) 100 kPa to 20000 kPa of P_{line} + 0.005 kPa to 350 kPa of P_d	$4.1 \times 10^{-5} P_e + 5.0 \text{ Pa}$ but not smaller than 5.7 Pa $2.7 \times 10^{-5} P_e$ but not smaller than 0.70 Pa $4.9 \times 10^{-5} P_e$ but not smaller than 0.20 kPa $3.0 \times 10^{-5} P_{abs}$ or 21 Pa, whichever is greater $9.0 \text{ Pa} + 3.7 \times 10^{-6} P_{line} +$ $3.2 \times 10^{-5} P_d$	DKD-R 6-1 Pressure medium: N_2 , air (Where P_e : measured pressure in Pa) Pressure medium: oil (Where P_e : measured pressure in Pa) Pressure medium: oil (Where P_{abs} : measured pressure in Pa) Pressure medium: N_2 (Where P_d and P_{line} : measured pressure in Pa)
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Vacuum gauge Absolute pressure (P_{abs}) 0.14 Pa to 2 Pa > 2 Pa to 13 Pa	$4.4 \times 10^{-2} P_{abs}$ $3.0 \times 10^{-2} P_{abs}$	ISO 3567 and ISO 27893 Pressure medium: N_2 , air (Where P_e : measured pressure in Pa)

สาขาการสอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด	วิธีสอบเทียบ
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Barometer Absolute pressure (P_{abs}) 80 kPa to 115 kPa	30 Pa	Based on DKD-R 6-1:2014 Pressure medium: air
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Pressure balance Gauge pressure (P_e) 0.57 MPa to 7 MPa > 7 MPa to 70 MPa หรือ Pressure measuring instrument Pressure balance Gauge pressure (P_e) 1.4 kPa to 175 kPa	$2.4 \times 10^{-5} P_e$ or 17 Pa, whichever is greater $3.2 \times 10^{-5} P_e$ $3.8 \times 10^{-5} P_e$ but not smaller than 0.66 Pa	EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Pressure medium: oil (Where P_e : measured pressure in Pa) EURAMET cg-3 (Method A) Pressure medium: N ₂ (Where P_e : measured pressure in Pa)
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Pressure transmitter with electrical output Gauge pressure (P_e) 0 kPa to 40 kPa > 40 kPa to 7 MPa	13 Pa $1.7 \times 10^{-4} P_e$ but not smaller than 66 Pa	Based on DKD-R 6-1:2014 Pressure medium: oil, N ₂ (Where P_e : measured pressure in Pa)

สาขาการสอบเทียบ	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด	วิธีสอบเทียบ
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Dead-weight tester Gauge pressure (P_e) 350 kPa to 3.5 MPa	$1.3 \times 10^{-4} \times P_e$ but not smaller than 45 Pa	Based on EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Pressure medium: N ₂ , air (Where P_e : measured pressure in Pa)
ความดัน (Pressure)	Pressure measuring instrument Dead-weight tester Gauge pressure (P_e) 350 kPa to 3.5 MPa	$1.9 \times 10^{-4} \times P_e$ but not smaller than 0.067 kPa	Based on EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Pressure medium: oil (Where P_e : measured pressure in Pa)

ภาคผนวก ค

สมการคำนวณ Local gravity

สมการคำนวณ Local gravity (g) โดย International Association of Geodesy (IAG)

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

โดยที่

$$g_{\phi,h} = \text{ค่าที่ได้จากการคำนวณที่ latitude } \phi \text{ และความสูง } h, \text{ m s}^{-2}$$

$$g_{0,0} = \text{ค่า local gravity ณ ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรของโลกและระดับน้ำทะเลปานกลาง} \\ 9.780\,318\,4 \text{ m s}^{-2}$$

$$\beta_1 = 0.005\,302\,4$$

$$\beta_2 = 0.000\,005\,9$$

$$h = \text{ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง, m}$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าสามารถให้ความถูกต้องของค่า g ที่คำนวณได้ดีกว่า 50 ppm

(อ้างอิงจาก Appendix II ของหนังสือ The Pressure Balance, A Practical Guide to its use, Sylvia Lewis and G N Peggs)

ภาคผนวก ง

วิธีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Validation Method)

กรอบวิธีการขั้นต่ำ (Minimum requirements) ที่กำหนดไว้เป็นบรรทัดฐาน สำหรับห้องปฏิบัติการที่เลือกใช้วิธีการที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (In-house method)

ผู้ประเมินต้องคำนึงถึงรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้

ง.1 สภาวะแวดล้อมสำหรับการสอบเทียบ

ง.1.1 ห้องปฏิบัติการที่ต้องควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18 °C ถึง 28 °C

ง.1.1.1 เบี่ยงเบนไม่เกิน ± 1 °C สำหรับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ เมื่อต้องการได้ค่าความสามารถที่ดีที่สุดของการวัดที่ ≤ 0.01 %

ง.1.1.2 เบี่ยงเบนไม่เกิน ± 2 °C สำหรับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ เมื่อต้องการได้ค่าความสามารถที่ดีที่สุดของการวัดที่ > 0.01 %

ง.1.2 การสอบเทียบในพื้นที่ที่ไม่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อม

ง.1.2.1 ช่วงอุณหภูมิต้องอยู่ในขอบเขตการทำงานของเครื่องมือมาตรฐานตามที่คุณผลิตกำหนด

ง.1.2.2 หากอุณหภูมิอยู่นอกขอบเขตการทำงานของเครื่องมือ จำเป็นต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตในการใช้งานเครื่องมือมาตรฐานนั้น

ง.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ ควรมีการเผื่อระวังไม่ให้ต่ำกว่า 30 % RH และไม่เกิน 80 % RH แม้จะไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผลการวัดโดยตรง แต่อาจเป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ หรืออุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้เป็นสนิมขึ้นได้

ง.1.4 กรณีการใช้ Pressure balance สอบเทียบ UUC ที่มีค่าความถูกต้องสูง ความดันบรรยากาศอาจส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อผลการวัด ควรมีอุปกรณ์ตรวจวัดที่เหมาะสม

ง.1.5 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) กรณีสอบเทียบนอกสถานที่ (Onsite) สามารถใช้ค่าเฉลี่ยที่คำนวณจากค่า g ทั้ง 7 จุด ที่วัดในประเทศไทย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $9.783\ 0\ \text{m s}^{-2}$ และประเมินค่าความไม่แน่นอน 320 ppm (สามารถดาวน์โหลดเอกสารรายละเอียดได้จาก <https://mx.nimt.or.th/?p=16047>)

ง.2 เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้

ง.2.1 อัตราส่วนค่าความถูกต้องของเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ต่อเครื่องที่จะรับการสอบเทียบต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 : 3

- ง.2.2 ทำการตรวจเช็คความถูกต้องของเครื่องมือมาตรฐานทั้งก่อนและหลังการนำไปใช้งานนอกสถานที่
- ง.2.3 เครื่องมือที่นำมาใช้สำหรับตรวจเช็คเครื่องมือมาตรฐานที่จะนำไปใช้งานนอกสถานที่ ต้องมี Resolution ที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือมาตรฐาน และมี Stability ที่ดี

ง.3 วิธีการสอบเทียบ

- ง.3.1 จำนวนจุดสอบเทียบในแต่ละ Series (เพื่อกำหนดความเป็นเชิงเส้นระหว่างจุดสอบเทียบแต่ละจุด) จะต้อง
 - ง.3.1.1 อย่างน้อย 9 จุด สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำดีกว่า 0.6 % ของช่วงการวัด (Measurement span)
 - ง.3.1.2 อย่างน้อย 5 จุด หรือทุก ๆ ซิตสเกลหลัก สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำไม่ดีกว่า 0.6 % ของช่วงการวัด
- ง.3.2 การสอบเทียบแต่ละครั้งจะต้องทำเป็นลำดับ โดยมีการวัดขาขึ้นและการวัดขาลง (เพื่อกำหนด Hysteresis ของแต่ละจุดการสอบเทียบ)
- ง.3.3 จำนวนรอบการสอบเทียบ (Calibration cycle) (ขั้นต่ำ) (เพื่อกำหนดความสามารถในการทำซ้ำของแต่ละจุดการสอบเทียบ)
 - ง.3.3.1 ทำการสอบเทียบ 2 รอบ สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำดีกว่า 0.1 % ของช่วงการวัด
 - ง.3.3.2 ทำการสอบเทียบ 1.5 รอบ สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำอยู่ระหว่าง 0.1 % ถึง 0.6 % ของช่วงการวัด และรายงานค่าความไม่แน่นอนไม่น้อยกว่า 0.04 % ของช่วงการวัด
 - ง.3.3.3 ทำการสอบเทียบ 1 รอบ สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำไม่ดีกว่า 0.6 % ของช่วงการวัด และรายงานค่าความไม่แน่นอนไม่น้อยกว่า 0.3 % ของช่วงการวัด
- ง.3.4 ตั้งค่า UUC เป็นศูนย์ (และ STD หากจำเป็น) ในขณะที่ UUC เปิดสู่บรรยากาศ ก่อนเริ่มต้นการสอบเทียบในแต่ละรอบ (เพื่อกำหนดข้อผิดพลาดที่จุดศูนย์)
- ง.3.5 ทำการสอบเทียบให้ถึงจุดความดันสูงสุดของ UUC (เพื่อกำหนดข้อผิดพลาดของช่วงการวัด)
- ง.3.6 ทำการ Preload (exercise) ให้ถึงจุดความดันสูงสุด (100 % FS) ของ UUC ก่อนเริ่มทำการสอบเทียบในแต่ละพิสัยการวัด
- ง.3.7 จำนวนครั้งของการทำ Preload (ขั้นต่ำ) กำหนดตามระดับความแม่นยำของ UUC ดังนี้

- ง.3.7.1 จำนวน 3 ครั้ง สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำดีกว่า 0.1 % ของช่วงการวัด
- ง.3.7.2 จำนวน 2 ครั้ง สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำอยู่ระหว่าง 0.1 % ถึง 0.6 % ของช่วงการวัด
- ง.3.7.3 จำนวน 1 ครั้ง สำหรับ UUC ที่มีความแม่นยำไม่ดีกว่า 0.6 % ของช่วงการวัด
- ง.3.8 ควรรอไม่น้อยกว่า 30 วินาที หรือจนกว่าค่าที่ต้องการอ่านนิ่ง จึงทำการบันทึกค่า โดยระยะเวลาในการรอแต่ละจุดควรจะเท่ากัน ยกเว้นช่วงเปลี่ยน Series ให้รอ 2 นาที สำหรับ Electrical pressure gauges และรอ 5 นาที สำหรับ Mechanical pressure gauges

ภาคผนวก จ

ที่มาของความไม่แน่นอนในการวัด

องค์ประกอบความไม่แน่นอน

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนตามมาตรฐานของการวัดความดัน สามารถระบุได้ดังต่อไปนี้

จ.1 ความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน, u_{std} .

$$u_{\text{std}} = \frac{U_{\text{std}}}{2}$$

หรือ

$$u_{\text{std}} = \frac{\text{Accuracy}}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

U_{std} = ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐานที่รายงานในใบรับรองผลการสอบเทียบ ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($k = 2$), หน่วยความดัน

หมายเหตุ

- 1) กรณีที่ใช้ค่า U_{std} จากใบรายงานผลการสอบเทียบ จะต้องพิจารณาผลเนื่องจาก Long term drift และ Uncorrected error เพิ่มเติม
- 2) Accuracy สามารถใช้เป็นค่าที่ผู้ผลิตกำหนดมาให้ หรือเป็นค่าที่ผู้ใช้งานกำหนดเกณฑ์การยอมรับขึ้นมาใหม่ (MPE) ซึ่งโดยทั่วไปจะต่ำกว่าค่าที่ผู้ผลิตกำหนด

จ.2 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของลูกสูบและกระบอกสูบ, u_t .

$$u_t = (\alpha_p + \alpha_c) \times P_e \times \frac{U_t}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

$\alpha_p + \alpha_c$ = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของลูกสูบและกระบอกสูบ, $^{\circ}\text{C}^{-1}$

P_e = ค่าความดัน ณ จุดสอบเทียบนั้น, หน่วยความดัน

U_t = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการวัดอุณหภูมิของลูกสูบและกระบอกสูบ, $^{\circ}\text{C}$

จ.3 ความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน, u_{α} .

$$u_{\alpha} = (t - t_{\text{ref}}) \times P_e \times \frac{U_{\alpha}}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

t = อุณหภูมิของลูกสูบและกระบอกสูบในขณะที่ทำการสอบเทียบ, °C

t_{ref} = อุณหภูมิอ้างอิงของลูกสูบและกระบอกสูบที่ระบุในใบรับรองผลการสอบเทียบ, °C

U_α = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า $\alpha_p + \alpha_c$, °C⁻¹

จ.4 ความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการสอบเทียบ, u_g .

$$u_g = \frac{P_c}{g} \times \frac{U_g}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการสอบเทียบ, m s⁻²

U_g = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า g , m s⁻²

จ.5 ความไม่แน่นอนเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความดัน, u_λ .

$$u_\lambda = P_c^2 \times \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

U_λ = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า λ , หน่วยความดัน⁻¹

จ.6 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่ส่งผลต่อค่าแก๊มีเออร์ระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{\Delta\rho(\Delta h)}$.

$$u_{\Delta\rho(\Delta h)} = g \times \Delta h \times \sqrt{\frac{1}{3}(U_{\rho_f}^2 + U_{\rho_a}^2)}$$

ซึ่ง

Δh = ความแตกต่างของระดับอ้างอิงระหว่าง STD และ UUC, m

U_{ρ_f} = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า ρ_f , kg m⁻³

สามารถใช้ $U_{\rho_f} = \pm 10 \% \rho_f$ กรณีที่ตัวกลางเป็นของเหลว

(อ้างอิงจาก EURAMET Project 463, G. Molinar, Internal report R486 IMG, 1998)

สามารถใช้ $U_{\rho_f} = \pm 5 \% \rho_f$ กรณีที่ตัวกลางเป็นแก๊ส
(อ้างอิงจาก J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol.29, No.6, 2000, p. 1361-1433)

U_{ρ_a} = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า ρ_a , kg m^{-3}
สามารถใช้ $U_{\rho_a} = \pm 5 \% \rho_a$ (อ้างอิงจาก EURAMET cg-3, version 1.0 (03/2011))

จ.7 ความไม่แน่นอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ส่งผลต่อค่าแก้เมื่อระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{g(\Delta h)}$.

$$u_{g(\Delta h)} = (\rho_f - \rho_a) \times \Delta h \times \frac{U_g}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

ρ_f = ความหนาแน่นของของไหล, kg m^{-3}

ρ_a = ความหนาแน่นของของอากาศ, kg m^{-3}

จ.8 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความแตกต่างของระดับอ้างอิง, $u_{\Delta h}$.

$$u_{\Delta h} = (\rho_f - \rho_a) \times g \times \frac{U_{\Delta h}}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

$U_{\Delta h}$ = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการวัด Δh , m

จ.9 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ UUC, $u_{\text{res(uuc)}}$.

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{analog}) = \frac{r_{\text{uuc}}}{\sqrt{3}}$$

หรือ

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{digital}) = \frac{r_{\text{uuc}} + f_{\text{hs(uuc)}}}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

r_{uuc} = ความละเอียดในการอ่านของ UUC, หน่วยความดัน

$f_{\text{hs(uuc)}}$ = ครึ่งช่วงของความผันผวน (half the span of fluctuation) ของ UUC, หน่วยความดัน

= (ค่าสูงสุดที่อ่านได้ ณ จุดสอบเทียบ - ค่าต่ำสุดที่อ่านได้ ณ จุดสอบเทียบ) / 2

- กรณีที่ตัวแสดงค่าของ UUC เป็นแบบเข็ม (analog) ความละเอียดในการอ่านของ UUC หมายถึงค่าความดันระหว่างช่องคูณกับค่าความสามารถในการอ่าน (เช่น 1/2, 1/5, 1/10)
- กรณีที่ตัวแสดงค่าของ UUC เป็นแบบตัวเลข (digital) ความละเอียดในการอ่านของ UUC หมายถึงหลักสุดท้ายของตัวเลขที่สามารถแสดงได้ (one digital step)

จ.10 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าของ UUC ที่จุดศูนย์, u_{zero} .

$$u_{\text{zero}} = \frac{f_0}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง “ f_0 ” สามารถดูจากสมการ 24 ของ DKD-R 6-1: edition 03/2014, rev.3 (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน DKD-R 6-1) หรือสมการ 21 ของ EURAMET cg-17: version 4.1 (09/2022) (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน EURAMET cg-17)

จ.11 ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Repeatability (b') ของ UUC, u_{repeat} .

$$u_{\text{repeat}} = \frac{b'}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง “ b' ” สามารถดูจากสมการ 25 ของ DKD-R 6-1: edition 03/2014, rev.3 (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน DKD-R 6-1) หรือสมการ 22 - 24 ของ EURAMET cg-17: version 4.1 (09/2022) (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน EURAMET cg-17)

จ.12 ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Reproducibility (b) ของ UUC, u_{repro} .

$$u_{\text{repro}} = \frac{b}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง “ b ” สามารถดูจากสมการ 26 ของ DKD-R 6-1: edition 03/2014, rev.3 (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน DKD-R 6-1) หรือสมการ 25 - 27 ของ EURAMET cg-17: version 4.1 (09/2022) (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน EURAMET cg-17)

จ.13 ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Hysteresis (h) ของ UUC, u_{hys} .

$$u_{\text{hys}} = \frac{h}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง “ h ” สามารถดูจากสมการ 27 ของ DKD-R 6-1: edition 03/2014, rev.3 (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน DKD-R 6-1) หรือสมการ 28 ของ EURAMET cg-17: version 4.1 (09/2022) (ในกรณีที่ทำตามมาตรฐาน EURAMET cg-17)

ในกรณีที่ใช้ Pressure calibrator เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ STD จะต้องถูกนำมาพิจารณาอีกครั้งดังนี้

จ.14 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ STD, $u_{\text{res(std)}}$.

$$u_{\text{res(std)}}(\text{digital}) = \frac{r_{\text{std}} + f_{\text{hs(std)}}}{2\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

r_{std} = ความละเอียดในการอ่านของ STD, หน่วยความดัน

$f_{\text{hs(std)}}$ = ครึ่งช่วงของความผันผวน (half the span of fluctuation) ของ STD, หน่วยความดัน

ในกรณีที่ UUC อ่านค่าความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Pressure Transmitter) จะต้องพิจารณาความไม่แน่นอนเพิ่มอีก 2 รายการดังนี้

จ.15 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของมิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้า, $u_{I_{\text{res}}}$.

$$u_{I_{\text{res}}} = \text{slope} \times \frac{I_{\text{res}}}{2\sqrt{3}}, \quad \text{slope} = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}$$

ซึ่ง

P_{max} = ค่าความดันสูงสุดของ UUC, หน่วยความดัน

P_{min} = ค่าความดันต่ำสุดของ UUC, หน่วยความดัน

I_{max} = ค่าสัญญาณไฟฟ้าสูงสุดของ UUC ที่ความดัน P_{max} , หน่วยไฟฟ้า

I_{min} = ค่าสัญญาณไฟฟ้าต่ำสุดของ UUC ที่ความดัน P_{min} , หน่วยไฟฟ้า

I_{res} = ความละเอียดในการอ่านของมิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้า, หน่วยไฟฟ้า

โดยนำ $u_{I_{\text{res}}}$ นี้ ไปแทนที่ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ UUC, $u_{\text{res(uuc)}}$.

จ.16 ความไม่แน่นอนของมิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้า, u_I .

$$u_I = \text{slope} \times \frac{U_I}{\sqrt{3}}$$

ซึ่ง

u_I = ความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของค่า I , หน่วยไฟฟ้า

ตัวอย่างการประเมินขีดความสามารถในการสอบเทียบ (CMC)

ตัวอย่าง จ.1 การสอบเทียบ Hydraulic Pressure Measuring Instrument โดย Hydraulic Pressure Balance (PCU_001) ซึ่งมีพิสัยสูงสุด 50 MPa

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนมาตรฐานของการวัดสามารถประเมินได้ดังนี้

1. ความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน, u_{std} .

$$u_{\text{std}} = \frac{U_{\text{std}}}{2}$$

ตัวอย่างเช่น

$$U_{\text{std}} (k = 2) = 8.70 \times 10^{-5} P_c$$

ดังนั้น

$$u_{\text{std}} = \frac{8.7 \times 10^{-5} P_c}{2} = 4.35 \times 10^{-5} P_c$$

2. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดอุณหภูมิของลูกสูบและกระบอกสูบ, u_t .

$$u_t = (\alpha_p + \alpha_c) \times P_c \times \frac{U_t}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$\alpha_p + \alpha_c = 9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$U_t = \pm 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$u_t = (9 \times 10^{-6}) \times P_c \times \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 2.60 \times 10^{-6} P_c$$

3. ความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน, u_α .

$$u_\alpha = (t - t_{\text{ref}}) \times P_e \times \frac{U_\alpha}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{ref}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U_\alpha = \pm 9 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

ดังนั้น

$$u_\alpha = (25 - 20) \times P_e \times \frac{9 \times 10^{-7}}{\sqrt{3}} = 2.60 \times 10^{-6} P_e$$

4. ความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการศึกษา, u_g .

$$u_g = \frac{P_e}{g} \times \frac{U_g}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$g = 9.78555 \text{ m s}^{-2}$$

$$U_g = \pm 5 \times 10^{-5} g$$

ดังนั้น

$$u_g = \frac{P_e}{9.78555} \cdot \frac{5 \times 10^{-5} \times 9.78555}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-5} P_e$$

5. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่ส่งผลต่อค่าแก้เมื่อระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{\Delta\rho(\Delta h)}$.

$$u_{\Delta\rho(\Delta h)} = g \times \Delta h \times \sqrt{\frac{1}{3}(U_{\rho_r}^2 + U_{\rho_a}^2)}$$

ตัวอย่างเช่น

$$\Delta h = 0.020 \text{ m}$$

$$U_{\rho_f} = \pm 10 \% \rho_f = 87 \text{ kg m}^{-3} \quad (\rho_f = 870 \text{ kg m}^{-3})$$

$$U_{\rho_a} = \pm 5 \% \rho_a = 0.060 \text{ kg m}^{-3} \quad (\rho_a = 1.2 \text{ kg m}^{-3})$$

ดังนั้น

$$u_{\Delta\rho(\Delta h)} = 9.78555 \times 0.020 \times \sqrt{\frac{1}{3}(87^2 + 0.060^2)} = 9.83 \text{ Pa} = 9.83 \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

6. ความไม่แน่นอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ส่งผลต่อค่าแก้เมื่อระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{g(\Delta h)}$.

$$u_{g(\Delta h)} = (\rho_f - \rho_a) \times \Delta h \times \frac{U_g}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$\rho_f = 870 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_a = 1.2 \text{ kg m}^{-3}$$

ดังนั้น

$$u_{g(\Delta h)} = (870 - 1.2) \times 0.020 \times \frac{5 \times 10^{-5} \times 9.78555}{\sqrt{3}} = 0.00491 \text{ Pa} = 4.91 \times 10^{-9} \text{ MPa}$$

7. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความแตกต่างของระดับอ้างอิง, $u_{\Delta h}$.

$$u_{\Delta h} = (\rho_f - \rho_a) \times g \times \frac{U_{\Delta h}}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$U_{\Delta h} = \pm 0.005 \text{ m}$$

ดังนั้น

$$u_{\Delta h} = (870 - 1.2) \times 9.78555 \times \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 24.5 \text{ Pa} = 2.45 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

8. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ UUC, $u_{\text{res(uuc)}}$.

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{digital}) = \frac{r_{\text{uuc}} + f_{\text{hs(uuc)}}}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$r_{\text{uuc}} = 0.0001 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{hs(uuc)}} = 0.0001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{digital}) = \frac{0.0001 + 0.0001}{2\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

9. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าของ UUC ที่จุดศูนย์, u_{zero} .

$$u_{\text{zero}} = \frac{f_0}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$f_0 = 0.0001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{zero}} = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

10. ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Repeatability (b') ของ UUC, u_{repeat} .

$$u_{\text{repeat}} = \frac{b'}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$b' = 0.0001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{repeat}} = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

11. ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Hysteresis (h) ของ UUC, u_{hys} .

$$u_{\text{hys}} = \frac{h}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$h = 0.0002 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{hys}} = \frac{0.0002}{2\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

จากตัวอย่างการประเมินความไม่แน่นอนดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนในรูปของตาราง CMC ได้ดังนี้

Quantity	Source of uncertainty	Width of distribution (2a)	Divisor	Sensitivity Coefficient $ c_i $	Uncertainty contribution		Distribution
					Variable ($\times P_e$)	Constant (MPa)	
u_{std}	Standard Pressure Balance, $\times P_e$	8.70×10^{-5}	2	1	4.35×10^{-5}		Normal
u_t	PCU's temperature, °C	1	$2\sqrt{3}$	$9.00 \times 10^{-6} \times P_e$	2.60×10^{-6}		Rectangular
u_α	Thermal expansion coefficient, °C ⁻¹	1.80×10^{-6}	$2\sqrt{3}$	$5 \times P_e$	2.60×10^{-6}		Rectangular
u_g	Local gravity, m s ⁻²	9.79×10^{-4}	$2\sqrt{3}$	$P_e / 9.785\ 55$	2.89×10^{-5}		Rectangular
$u_{\Delta\rho(\Delta h)}$	Density difference (on Δh), kg m ⁻³	174	$2\sqrt{3}$	$9.785\ 55 \times 0.020$		9.83×10^{-6}	Rectangular
$u_{g(\Delta h)}$	Local gravity (on Δh), m s ⁻²	9.79×10^{-4}	$2\sqrt{3}$	$(870 - 1.2) \times 0.020$		4.91×10^{-9}	Rectangular
$u_{\Delta h}$	Height difference, m	0.010	$2\sqrt{3}$	$(870 - 1.2) \times 9.785\ 55$		2.45×10^{-5}	Rectangular
$u_{res(uuc)}$	Resolution of UUC, MPa	0.000 2	$2\sqrt{3}$	1		5.77×10^{-5}	Rectangular
u_{zero}	Zero error of UUC, MPa	0.000 1	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-5}	Rectangular
u_{repeat}	Repeatability of UUC, MPa	0.000 1	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-5}	Rectangular
u_{hys}	Hysteresis of UUC, MPa	0.000 2	$2\sqrt{3}$	1		5.77×10^{-5}	Rectangular
Combined standard uncertainty					5.23×10^{-5}	9.50×10^{-5}	
Expanded measurement uncertainty (k = 2)					$2\sqrt{2.74 \times 10^{-9} P_e^2 + 9.03 \times 10^{-9} \text{ MPa}^2}$		

จากตารางสามารถสรุปได้ว่า CMC ของการสอบเทียบ Hydraulic Pressure Measuring Instrument โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานเป็น Hydraulic Pressure Balance (PCU_001) ถึงความดัน 50 MPa คือ $1.1 \times 10^{-4} P_e$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.000 56 MPa

ตัวอย่าง จ.2 การสอบเทียบ Hydraulic Pressure Measuring Instrument โดย Pressure Calibrator (S/N: 002) ซึ่งมีพิสัยสูงสุด 50 MPa

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนมาตรฐานของการวัดสามารถประเมินได้ดังนี้

1. ความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน, u_{std} .

$$u_{std} = \frac{\text{Accuracy}}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$\text{Accuracy} = 0.02 \% \text{ reading}$$

ดังนั้น

$$u_{std} = \frac{2 \times 10^{-4} P_e}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-4} P_e$$

2. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ STD, $u_{res(std)}$.

$$u_{res(std)}(\text{digital}) = \frac{r_{std} + f_{hs(std)}}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$r_{std} = 0.000\ 1 \text{ MPa}$$

$$f_{hs(std)} = 0.000\ 0 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{res(std)}(\text{digital}) = \frac{0.000\ 1 + 0.000\ 0}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

3. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่ส่งผลต่อค่าแก้เมื่อระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{\Delta\rho(\Delta h)}$.

$$u_{\Delta\rho(\Delta h)} = g \times \Delta h \times \sqrt{\frac{1}{3}(U_{\rho_f}^2 + U_{\rho_a}^2)}$$

ตัวอย่างเช่น

$$g = 9.78555 \text{ m s}^{-2}$$

$$\Delta h = 0.020 \text{ m}$$

$$U_{\rho_f} = \pm 10 \% \rho_f = 87 \text{ kg m}^{-3} (\rho_f = 870 \text{ kg m}^{-3})$$

$$U_{\rho_a} = \pm 5 \% \rho_a = 0.060 \text{ kg m}^{-3} (\rho_a = 1.2 \text{ kg m}^{-3})$$

ดังนั้น

$$u_{\Delta\rho(\Delta h)} = 9.78555 \times 0.020 \times \sqrt{\frac{1}{3}(87^2 + 0.060^2)} = 9.83 \text{ Pa} = 9.83 \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

4. ความไม่แน่นอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ส่งผลต่อค่าแก้เมื่อระดับอ้างอิงต่างกัน, $u_{g(\Delta h)}$.

$$u_{g(\Delta h)} = (\rho_f - \rho_a) \times \Delta h \times \frac{U_g}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$\rho_f = 870 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_a = 1.2 \text{ kg m}^{-3}$$

$$U_g = \pm 5 \times 10^{-5} g$$

ดังนั้น

$$u_{g(\Delta h)} = (870 - 1.2) \times 0.020 \times \frac{5 \times 10^{-5} \times 9.78555}{\sqrt{3}} = 0.00491 \text{ Pa} = 4.91 \times 10^{-9} \text{ MPa}$$

5. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดความแตกต่างของระดับอ้างอิง, $u_{\Delta h}$.

$$u_{\Delta h} = (\rho_f - \rho_a) \times g \times \frac{U_{\Delta h}}{\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$U_{\Delta h} = \pm 0.005 \text{ m}$$

ดังนั้น

$$u_{\Delta h} = (870 - 1.2) \times 9.78555 \times \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 24.5 \text{ Pa} = 2.45 \times 10^{-5} \text{ MPa}$$

6. ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านของ UUC, $u_{\text{res(uuc)}}$.

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{digital}) = \frac{r_{\text{uuc}} + f_{\text{hs(uuc)}}}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$r_{\text{uuc}} = 0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{hs(uuc)}} = 0.000 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{res(uuc)}}(\text{digital}) = \frac{0.001 + 0.000}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

7. ความไม่แน่นอนเนื่องจากการอ่านค่าของ UUC ที่จุดศูนย์, u_{zero} .

$$u_{\text{zero}} = \frac{f_0}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$f_0 = 0.001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{zero}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

8. ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Repeatability (b') ของ UUC, u_{repeat} .

$$u_{\text{repeat}} = \frac{b'}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$b' = 0.001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{repeat}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

9. ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Hysteresis (h) ของ UUC, u_{hys} .

$$u_{\text{hys}} = \frac{h}{2\sqrt{3}}$$

ตัวอย่างเช่น

$$h = 0.001 \text{ MPa}$$

ดังนั้น

$$u_{\text{hys}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

จากตัวอย่างการประเมินความไม่แน่นอนดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนในรูปของตาราง CMC ได้ดังนี้

Quantity	Source of uncertainty	Width of distribution (2a)	Divisor	Sensitivity Coefficient $ c_i $	Uncertainty contribution		Distribution
					Variable ($\times P_e$)	Constant (MPa)	
u_{std}	Standard Pressure Calibrator, $\times P_e$	4.00×10^{-4}	$2\sqrt{3}$	1	1.15×10^{-4}		Rectangular
$u_{\text{res(std)}}$	Resolution of STD, MPa	0.000 1	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-5}	Rectangular
$u_{\Delta\rho\Delta h}$	Density difference (on Δh), kg m^{-3}	174	$2\sqrt{3}$	$9.785\ 55 \times 0.020$		9.83×10^{-6}	Rectangular

$u_{g(\Delta h)}$	Local gravity (on Δh), $m s^{-2}$	9.79×10^{-4}	$2\sqrt{3}$	(870 - 1.2) $\times 0.020$		4.91×10^{-9}	Rectangular
$u_{\Delta h}$	Height difference, m	0.010	$2\sqrt{3}$	(870 - 1.2) $\times 9.78555$		2.45×10^{-5}	Rectangular
$u_{res(uuc)}$	Resolution of UUC, MPa	0.001	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-4}	Rectangular
u_{zero}	Zero error of UUC, MPa	0.001	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-4}	Rectangular
u_{repeat}	Repeatability of UUC, MPa	0.001	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-4}	Rectangular
u_{hys}	Hysteresis of UUC, MPa	0.001	$2\sqrt{3}$	1		2.89×10^{-4}	Rectangular
Combined standard uncertainty						1.15×10^{-4}	5.79×10^{-4}
Expanded measurement uncertainty ($k = 2$)						$2\sqrt{1.33 \times 10^{-8} P_e^2 + 3.35 \times 10^{-7} MPa^2}$	

จากตารางสามารถสรุปได้ว่า CMC ของการสอบเทียบ Hydraulic Pressure Measuring Instrument โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานเป็น Pressure Calibrator (S/N: 002) ถึงความดัน 50 MPa คือ $3.3 \times 10^{-4} P_e$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.001 6 Mpa

ภาคผนวก ฉ

ความแตกต่างระหว่าง DKD-R 6-1 และ EURAMET Calibration Guide No. 17

สรุปความแตกต่างของวิธีการสอบเทียบระหว่าง DKD-R 6-1 (Edition 03/2014, Rev. 3) และ

EURAMET Calibration Guide No. 17 (Version 4.1 (09/2022))

	DKD-R 6-1	EURAMET Calibration Guide No. 17
	Sequence	Calibration procedure
1	A	Comprehensive
2	B	Standard
3	C	Basic
	Target uncertainty ($k = 2$), U	
1	$U < 0.1 \% MS^*$	$U < 0.05 \% FS^{**}$
2	$0.1 \% MS \leq U \leq 0.6 \% MS$	$0.05 \% FS \leq U < 0.2 \% FS$
3	$U > 0.6 \% MS$	$U \geq 0.2 \% FS$
	Number of measurement points / series (with zero point)	
1	≥ 9	11
2	≥ 9	11
3	≥ 5	6
	Number of preloading	
1	3	≥ 2
2	2	≥ 2
3	1	≥ 2
	Preload time / time between the preloading	
	≥ 30 seconds	≥ 1 minute

* MS = measurement span

** FS = Full scale

DKD-R 6-1		EURAMET Calibration Guide No. 17		
Number of measurement series				
	Upward	Downward	Upward	Downward
1	2	2	3	3
2	2	1	1	1
3	1	1	1	1
Uncertainty limit				
1	-		-	
2	0.04 % MS		0.05 % FS	
3	0.3 % MS		0.2 % FS	
Repeatability measurement				
1	-		-	
2	-		วัดเฉพาะขาขึ้น 4 จุด โดยวัดที่ (0, 20, 50, 80) % FS ทำการวัด 3 ครั้ง สำหรับจุดอื่นที่ไม่ได้ทำการวัด ให้ใช้ค่าที่มากกว่า ซึ่งอยู่คร่อมระหว่างจุดนั้น	
3	-		วัดเฉพาะขาขึ้น 2 จุด โดยวัดที่ 0 % FS 1 จุด และที่ 40 % FS หรือ 60 % FS อีก 1 จุด ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง แล้วใช้ค่านี้นี้กับทุก ๆ จุด	

ภาคผนวก ช

รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ



รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

จัดทำร่างแนวทางการตรวจประเมินทางวิชาการห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาความดัน เมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2566 ณ ห้องประชุม 206 อาคารมาตรธำรง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (คลองห้า เทคโนโลยี จ. ปทุมธานี) มีผู้เข้าร่วมทั้งสิ้นจำนวน 48 คน ดังรายชื่อในตาราง ณ.1

ตาราง ณ.1 รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการ

	ชื่อ	หน่วยงาน
1	นายมนตรี คำนวน	บริษัท เอสซีไอ อีโค่ เซอร์วิสเซส จำกัด
2	นายชลธิ พงษ์วัทวิสนนท์	บริษัท ไทยคาลิเบรชั่นเซอร์วิส จำกัด
3	นายภูมิรพี เกษทอง	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำนักงาน ไทรน้อย
4	คุณสิริวรรณ ดุสิตสถิตไถวัล	บริษัท สยามมิชลิน จำกัด
5	นายธนพล สามารถ	บริษัท ไฮเอ็นซ์ เมจิก โกรว์ จำกัด
6	พ.อ.อ.อุทิศ รัตกันไต่	บริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด
7	นายจิรวัฒน์ เผ่านาค	บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
8	นายศานติบุรณ์ แสงศิริวรรณนะ	บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด
9	นางสาวจารุฉัตร จุนถาวร	บริษัท โปรเฟสชั่นแนล แคริเบรชั่น แอนด์ เซอร์วิสเซส จำกัด
10	นายสุรชัย พรหมทอง	บริษัท แคลลิเบรเทค จำกัด
11	นายวิชาญ วงษ์เวช	บริษัท การบินไทย จำกัด
12	นายพิรุณ เรืองศรี	บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)
13	นายสิริพงษ์ เครือศิริไพบูลย์	บริษัท โพลว์แล็บ แอนด์เซอร์วิส จำกัด
14	นายกิตติพงศ์ จิตบาล	บริษัท ร็อคเกอร์เทค (ไทยแลนด์) จำกัด
15	นายสันติ จิตนิยม	บริษัท อซ์บิล (ประเทศไทย) จำกัด

16	นางสาวกรรณา พึ่งทอง	บริษัท แคนเรียเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
17	นายสมหวัง สังข์ดี	บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน)
18	นายนิธิ รินทา	บริษัท โออิชิ เทรดดิ้ง จำกัด
19	นายสุโฮมิ รัศมีนา	บริษัท เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด
20	นายฐาปนพงศ์ บุญทกุล	บริษัท อินโทร ทีเอสซี จำกัด
21	นายวิชวุธ บุญญานุกูล	บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
22	นายชัยณรงค์ พึ่งไพร	บริษัท สยาม เจเนอรัล อินสตรูเมนต์ จำกัด
23	นายจตุรพัทตร์ เข้มเพ็ชร	บริษัท โซเม็ค พลาสติก จำกัด
24	นายยุทธพงษ์ ชำนินวนล	บริษัท วินด์รันเนอร์ จำกัด
25	นายพิชญ หวังใจ	บริษัท ชีสทรอนิกส์ จำกัด (สาขาระยอง)
26	นายพรศักดิ์ พลาลำ	บริษัท โปรเกรส แคลิเบรชั่น จำกัด
27	นายกฤติน ภูมราวังค์	บริษัท วีก้า อินสตรูเมนต์เทชั่น คอร์ปอเรชั่น (ไทยแลนด์) จำกัด
28	นายธนสิทธิ์ ประกอบกิจ	บริษัท ยูนิไทย กรุป จำกัด
29	นายธนภณ วุฒิวสุธร	บริษัท พีซีที อินสตรูเมนต์ จำกัด
30	นายอุดมศักดิ์ ตันมาตี	บริษัท สยาม-อินเตอร์ไซเอนซ์แอนด์เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
31	นายทัศนัย สุขสุคนธ์	บริษัท ควอลิตี้ เมโทรโลยี โซลูชั่น จำกัด
32	นายอนุพันธ์ โตเชื้อ	บริษัท แอควิวเรท เอเชีย จำกัด
33	นางสาวณัฐนันท์ วรเดช	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
34	นายเชวง คำนวนศักดิ์	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
35	นายจรัญ ยะฝา	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
36	นายวิรุณ เล้าพรพิชยานุวัฒน์	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
37	นายปฏิพัทธ์ วงศ์เทพ	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
38	นายลิขิต ไสหนู	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
39	นางสาวทัศนีย์ ไพรรี่นรมย์	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
40	นายสุวัฒน์ พนากุลวิจิตร	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
41	นายคมสัน ยังจรรยา	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

42	นางสาวนัทธ์หทัย สงบพันธ์	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
43	นางสาวประภัสสร ภิรมย์ไกรภักดิ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
44	นายอรรถพล ปานูราช	สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
45	นายบุญฤทธิ์ เอื้อจิรกาล	บริษัท ฟอรัค แคลิเบรชั่น แอนด์เซอร์วิส จำกัด
46	ร.อ. ธวัช ช่างปั้น	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการ
47	นายมิตร วีระธรรม	ผู้ทรงคุณวุฒิ
48	นายชาติรี คำผุย	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการ