

คู่มือการปฏิบัติงาน

แนวทางการทวนสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น

Guidelines for Verification for Temperature and Humidity measuring instruments
Ed.00 Rev.00

กลุ่มงานถ่ายทอดค่ามาตรฐานและความชื้น ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิและแสง
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

เลขที่ 3/4 - 5 หมู่ที่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

โทรศัพท์ 0-2 5775100 ต่อ 1311

สารบัญ

0. ขอบข่าย (Scopes).....	3
1. บทนำ	3
2. แนวทางการทบทวนขยายช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัด	5
3. วิธีการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิและความชื้น	10
3.1 เทอร์มิเตอร์แบบแท่งแก้ว Liquid in glass thermometers (LIG).....	10
3.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples).....	11
3.3 ดิจิทัลเทอร์มิเตอร์ (Digital Thermometers, DTM)	12
3.4 เทอร์มิเตอร์ความต้านทานแพลทินัม (Platinum resistance thermometer, PRT)	13
3.5 เครื่องมือวัดความชื้น (Digital thermo Hygrometers)	14
4. ตัวอย่างการขยายระยะเวลาสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น	15
ตัวอย่างที่ 1 Liquid in Glass thermometers (LIG).....	15
ตัวอย่างที่ 2 Thermocouple.....	16
ตัวอย่างที่ 3 Digital Thermometers.....	17
ตัวอย่างที่ 4 PRT	18
ตัวอย่างที่ 5 Digital hygrometers.....	19
References:	20

0. ขอบข่าย (Scopes)

การจัดการบริหารระบบคุณภาพที่ดีของห้องปฏิบัติการ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 การสอบเทียบและการทวนสอบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น ถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญ ในการบอกถึงความถูกต้องและความใช้ได้ของผลการวัดหรือผลการสอบเทียบ และเชื่อมโยงห่วงโซ่ของการสอบกลับได้ของผลการวัด/สอบเทียบไปยังมาตรฐานแห่งชาติและมาตรฐานสากล กลุ่มงานถ่ายทอดค่ามาตรฐานและความชื้น ได้ทำการศึกษา รวบรวมข้อมูล และจัดทำแนวทางการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัด พร้อมตัวอย่างวิธีการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือแต่ละรูปแบบ เพื่อให้ห้องปฏิบัติการด้านอุณหภูมิและความชื้น และที่เกี่ยวข้อง ได้ยึดถือเป็นแนวทางปฏิบัติและเป็นแนวทางสำหรับผู้ตรวจประเมินและการตรวจประเมินความสามารถห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

คู่มือการปฏิบัติงานฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูล สำหรับการทวนสอบและการพิจารณาระยะเวลาสอบเทียบ ข้อเสนอแนะและตัวอย่างสำหรับแนวทางการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบ การกำหนดจุดสอบเทียบ ของเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น ได้แก่ Liquid in glass thermometers (LIG), Thermocouples (TC), Digital thermometers (DTM), Platinum Resistance thermometer (PRT) และเครื่องมือวัดความชื้น ประเภท Digital Hygrometers

1. บทนำ

สิ่งสำคัญในการรักษาความสามารถของห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะสามารถรายงานผลการวัดที่มีความสอบกลับได้ และมีความน่าเชื่อถือ คือการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบและทวนสอบ เครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือดังกล่าว ได้แก่ เครื่องมือมาตรฐานอ้างอิง (reference standard) รวมถึงเครื่องมือต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อผลการวัด โดยตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2017 หัวข้อ 6.4 Equipment กำหนดให้ห้องปฏิบัติการจะต้องดำเนินการจัดการเครื่องมือที่มีผลกระทบต่อผลการวัดอย่างเหมาะสม การจัดการเครื่องมือวัด ประกอบไปด้วยหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น วิธีการและรอบระยะเวลาการสอบเทียบ การทวนสอบ การกำหนดเกณฑ์ยอมรับ ตลอดจนการกำหนดจุดสอบเทียบ รายละเอียดคำศัพท์มาตรฐานสามารถอ่านรายละเอียดได้ในประมวลศัพท์มาตรฐานระหว่างประเทศ [4] พิจารณาความหมายทางปฏิบัติของคำสำคัญมาตรฐานสำหรับผู้สนใจด้านการสอบเทียบและทวนสอบเครื่องมือวัด

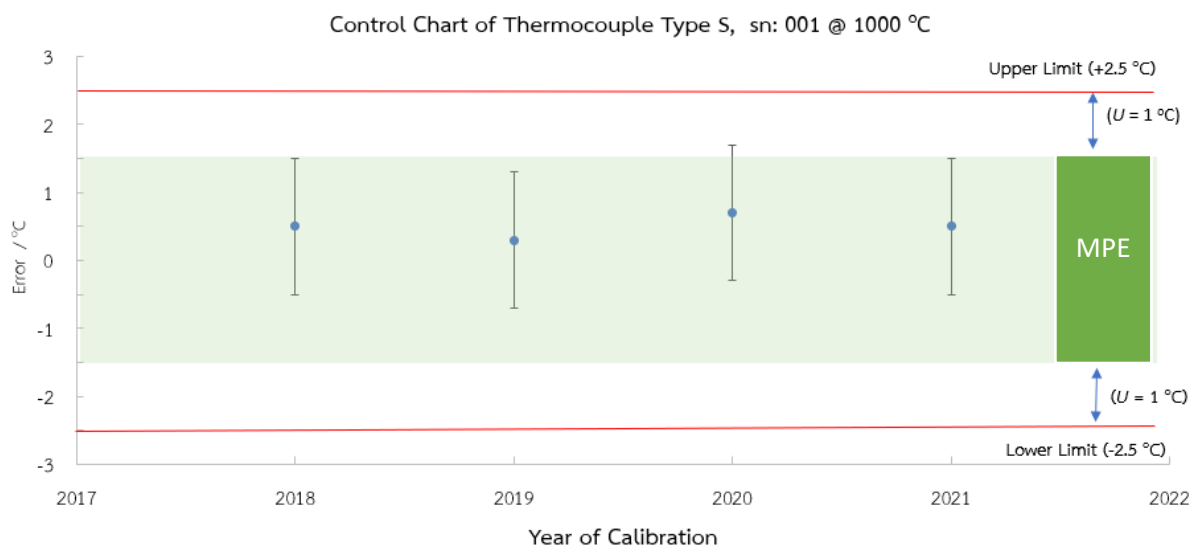
การสอบเทียบ คือ การหาความเบี่ยงเบนของค่าชี้บอกของเครื่องมือวัดจากค่ามาตรฐาน (หาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด) พร้อมค่าความไม่แน่นอน

การทวนสอบ คือ การยืนยันว่าเครื่องมือเป็นไปตามเกณฑ์ ข้อกำหนดที่ระบุ (เช่น ข้อกำหนดจำเพาะของผู้ผลิต) โดยการตรวจสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ได้ที่กำหนดไว้ ผลของการทวนสอบนำไปสู่การตัดสินใจว่า จะยังคงใช้งานต่อไป / ทำการปรับแก้ / ซ่อมแซม / ลดเกรด / ยกเลิกการใช้งาน

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) ของเครื่องมือวัด คือ ค่าที่ระบุโดยผู้ผลิต มาตรฐานจำเพาะของเครื่องมือต่างๆ หรือระบุด้วยมาตรฐานที่ผู้ใช้งานกำหนด เช่น ผู้ผลิตกำหนด DVM Range 100 V Accuracy + 0.5 % of Reading, PRT Class A accuracy = $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ at $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, ลูกค้านำข้อกำหนดเกี่ยวกับจุดบิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดย Accuracy $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

ค่าความไม่แน่นอนทางการวัด คือ ได้ค่ามาจากผลการสอบเทียบเป็นค่าเฉพาะตัวที่ได้รับการสอบเทียบของเครื่องมือต่างๆ เป็นการบอกระดับความน่าเชื่อถือของผลการวัด รวมถึงความสามารถทางการวัดของห้องปฏิบัติการนั้น ๆ

เครื่องมือที่มีความจำเป็นต้องสอบเทียบได้แก่ เครื่องมือที่มีผลต่อการวิเคราะห์, คุณภาพ, การตัดสินใจ, การควบคุมระบบ หลังจากการสอบเทียบก่อนนำเครื่องมือเหล่านี้มาใช้งาน ควรพิจารณาผลการวัดจากใบรายงานผล ซึ่งจะรายงานค่าผิดพลาด (Error) หรือค่าแก้ (correction) พร้อมค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ข้อมูลของผลการสอบเทียบควรนำมาเปรียบเทียบกับข้อผิดพลาดที่อนุญาตสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Error, MPE) ด้วย โดยหากข้อผิดพลาดน้อยกว่าข้อผิดพลาดสูงสุดที่อนุญาต เครื่องมือจะได้รับการยืนยันว่าพร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน แต่ถ้าผิดพลาดมากกว่านั้นควรดำเนินการต่อเพื่อหาสาเหตุ ปรับแต่งหรือซ่อมแซมและสอบเทียบซ้ำหากทำแล้วแล้วยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดแสดงว่าอุปกรณ์ไม่สามารถยืนยันว่าใช้งานได้ ดังนั้น การนำระบบมาตรวิทยามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทวนสอบเครื่องมือวัด ด้วยเครื่องมือมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบ จะทำให้สามารถทวนกระบวนการวัดที่ถูกต้องน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น และช่วยการกำหนดเกณฑ์การวัดที่สอดคล้องกับคุณภาพผลิตภัณฑ์และความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างผลการวัด Error พร้อมแถบค่าความไม่แน่นอน (U) บน แผนภาพเกณฑ์การยอมรับ (Tolerance) จาก Accuracy ของเครื่องมือเทอร์โมคอปเปิล และแสดงบริเวณข้อผิดพลาดที่อนุญาตสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Error, MPE) กำหนดจาก Tolerance \pm Uncertainty

เมื่อทำการสอบเทียบแล้ว ห้องปฏิบัติการควรทวนสอบเครื่องมือวัดให้เป็นไปตามเกณฑ์การใช้งานก่อนนำไปใช้ใน ระบบ โดยแนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิการทวนสอบเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- 1) การทวนสอบเครื่องมือวัดจากผลการตรวจเช็ค (check) กับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้ว โดยนำผลการวัดมาเทียบ ว่าเป็นไปตามเกณฑ์การใช้งานของเครื่องมือวัดหรือไม่
- 2) การทวนสอบเครื่องมือวัดกับ Ice Point (0 °C)
- 3) การทวนสอบเครื่องมือวัดจากใบรายงานผลการสอบเทียบ ประวัติการสอบเทียบ ให้เป็นไปตามเกณฑ์การใช้งานของเครื่องมือวัด

2. แนวทางการทบทวนขยายช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัด

ประเด็นสำคัญเกี่ยวกับการสอบเทียบและการทวนสอบ คือ “ต้องทำเมื่อใด” และ “ต้อง ทำบ่อยเพียงใด” มีปัจจัยจำนวนมากที่มีอิทธิพลต่อช่วงเวลาที่ควรพิจารณาระหว่างการสอบเทียบและควรนำมาพิจารณาโดยห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

- ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ต้องการ
- ความเสี่ยงของเครื่องมือวัดที่เกินขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับเมื่อใช้งาน
- ต้นทุน/ค่าใช้จ่ายของมาตรการแก้ไขที่จำเป็นเมื่อพบว่าเครื่องมือไม่เหมาะสม
- ชนิดของเครื่องมือ
- แนวโน้มที่จะสึกหรอ หรือ เลื่อนค่าของเครื่องมือ (drift)
- คำแนะนำของผู้ผลิต
- ขอบเขตและ ความเข้มงวด ของการใช้
- สภาพแวดล้อม (สภาพภูมิอากาศ การสั่นสะเทือน รังสีไอออนไนซ์ ฯลฯ)
- ข้อมูลแนวโน้มที่ได้รับจากบันทึกการสอบเทียบครั้งก่อน
- ประวัติการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมที่บันทึกไว้
- ความถี่ของการตรวจสอบยืนยันความถูกต้องกับตัวมาตรฐานอ้างอิงหรือเครื่องมือวัดอื่น ๆ
- ความถี่และคุณภาพของการตรวจสอบระหว่างการใช้งาน(intermediate check)
- การจัดเตรียมการขนส่งและความเสี่ยง
- ระดับความรู้และการฝึกอบรมของเจ้าหน้าที่ ที่เกี่ยวข้องในการใช้งานเครื่องมือวัด

ห้องปฏิบัติการควรเลือกวิธีการสำหรับกำหนดช่วงระยะเวลาของการสอบเทียบและทวนสอบที่เหมาะสมและควรจัดทำเป็นเอกสารไว้ ผลการสอบเทียบควรเก็บรวบรวมไว้เป็นข้อมูลประวัติ เพื่อใช้เป็นฐานในการตัดสินใจในอนาคตสำหรับการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือ การตัดสินใจเบื้องต้นในการกำหนดช่วงการสอบเทียบขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- คำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือ
- ขอบเขตที่คาดหวังและความเข้มงวดของการใช้งาน
- อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม

- ค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ต้องการ
- ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับ (เช่น ตามกฎหมาย หน่วยกำกับดูแล)
- การปรับแก้ (หรือเปลี่ยนแปลง) แต่ละเครื่องมือ
- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณที่วัด (เช่น ผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อเทอร์โมคัปเปิล) และ
- ข้อมูลที่รวบรวมหรือเผยแพร่จากแหล่งอื่นๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน

วิธีการกำหนดระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือวัด ควรกำหนดโดยผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานของเครื่องมือวัดหรือกลุ่มเครื่องมือวัดประเภทเดียวกัน เมื่อเครื่องมือได้รับการสอบเทียบและทวนสอบเป็นประจำตามระยะเวลาที่กำหนด การปรับช่วงระยะเวลาการสอบเทียบสามารถทำได้ เพื่อปรับความสมดุลของความเสี่ยงและต้นทุนค่าใช้จ่าย โดยต้องพิจารณาร่วมกับ ปัจจัยต่างๆ อาทิ ประวัติการสอบเทียบ, เครื่องมือมีแนวโน้มของการเลื่อนค่า (drift) เกินเกณฑ์ที่กำหนด, เครื่องมือแสดงถึงความไม่เสถียร, เครื่องมือได้รับผลกระทบจากสภาวะภายนอกหรือถูกปรับแต่ง ดังนั้นจึงควรมีการทบทวนช่วงระยะเวลาการสอบเทียบและทวนสอบให้เหมาะสม จะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ ของการใช้งานเครื่องมือวัด [1,6] เอกสารมาตรฐาน ILACG24 ได้เสนอวิธีการทบทวนขยายช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัดไว้ 5 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1: การปรับอัตโนมัติหรือ “ขั้นบันได” เวลาตามปฏิทิน

ในแต่ละครั้งที่มีการส่งเครื่องมือสอบเทียบ ตามรอบอย่างสม่ำเสมอและพบว่าผลการสอบเทียบ มีการรายงาน error และ uncertainty ถ้าผลการทวนสอบ (เช่นกรณีการใช้ ค่า error + uncertainty เทียบกับ MPE) ที่ได้ ยังตกอยู่ในช่วงของเกณฑ์กำหนด เช่น ตกอยู่ในช่วงไม่เกินช่วง 80% ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPE) ดังนั้นจึงทำการขยายช่วงระยะเวลาของการสอบเทียบออกไปได้ ทั้งนี้เกณฑ์ 80% เป็นเพียงตัวอย่างของการกำหนดเกณฑ์ ห้องปฏิบัติการอาจพิจารณาให้เหมาะสมเพื่อป้องกันความเสี่ยงที่ ผลการสอบเทียบรอบก่อนหน้านี้ ได้ออกนอกช่วงเกณฑ์กำหนดในระหว่างการใช้งานเครื่องมืออื่นๆ ก่อนจะมีการสอบเทียบในรอบปัจจุบัน

แต่ถ้าผลสอบเทียบที่ได้ มีค่าเกินค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPE) ห้องปฏิบัติการสามารถทำการลดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบให้สั้นลง ทั้งนี้หากยังคงต้องการใช้เครื่องมืออื่นๆ อยู่ ห้องปฏิบัติการจะต้องทำการแก้ไข หรือปรับแต่ง เครื่องมืออื่นๆ ก่อนจะทำการกำหนดช่วงระยะเวลาสอบเทียบใหม่ให้สั้นลง

ในการใช้วิธีนี้จะทำการลด หรือเพิ่ม (แล้วแต่กรณี) ระยะเวลาการสอบเทียบแบบขั้นบันไดแล้ว ทำการเก็บข้อมูลผลการสอบเทียบในช่วงระยะเวลาใหม่ต่อไปเรื่อยๆ ลักษณะคล้ายบันได

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> -ปรับช่วงระยะเวลาการสอบเทียบที่ง่ายและทำได้อย่างรวดเร็ว -บันทึกของประวัติเครื่องมือไว้ตลอดเวลา จะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มเครื่องมือได้ 	<ul style="list-style-type: none"> -ต้องดูแลจัดการเครื่องมือแยกแต่ละเครื่อง -ต้องมีการวางแผนล่วงหน้าอย่างละเอียด -มีความเสี่ยง เครื่องมือมีผลสอบเทียบที่เกินเกณฑ์กำหนด หลุดช่วงการสอบเทียบ

วิธีที่ 2: แผนภูมิควบคุม (เวลาตามปฏิทิน)

แผนภูมิควบคุม (เวลาตามปฏิทิน) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญทางการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality Control, SQC) มีหลักการดังนี้ ให้เลือกจุดสอบเทียบที่สำคัญ และนำผลการสอบเทียบมาทำการวาดกราฟเทียบกับเวลา จากข้อมูลกราฟที่ได้ ทั้งการกระจายของผลการสอบเทียบและค่าการเลื่อนค่า(drift) จะถูกคำนวณ การเลื่อนค่า(drift) อาจพิจารณาได้จาก ค่าเฉลี่ยของการเลื่อนค่า (the mean drift) ในช่วงหนึ่งรอบระยะเวลาของการสอบเทียบ หรือ หลายรอบระยะเวลาของการสอบเทียบในกรณีของเครื่องมือที่เสถียรมาก จากการพิจารณาแนวโน้มนี้ ช่วงเวลารอบระยะเวลาการสอบเทียบซ้ำ ที่เหมาะสมที่สุดสามารถคำนวณออกมาได้

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> -เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพ -สามารถทราบการกระจายของผลการสอบเทียบ และเทียบกับข้อมูลผู้ผลิตได้ -สามารถวิเคราะห์การเลื่อนค่าของเครื่องมือ และช่วยระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดการเลื่อนค่าได้ - สามารถทำนายล่วงหน้าจากแนวโน้มว่าเมื่อไรผลการวัดจะออกนอกเกณฑ์ควบคุม 	<ul style="list-style-type: none"> -มีความยุ่งยาก กรณีเครื่องมือซับซ้อนวัดหลายตัวแปร -ต้องทราบข้อมูลเชิงลึกถึงลักษณะการใช้งานและเกณฑ์แปรปรวนของเครื่องมืออื่นๆ - ปริมาณงานจะมาก หากมีเครื่องมือจำนวนมาก - อาศัยการประมวลผลข้อมูลผ่านโปรแกรม

วิธีที่ 3: ตามเวลาที่ใช้งาน (In-use time)

การกำหนดช่วงระยะเวลาสอบเทียบตามเวลาจริงที่ใช้งานเครื่องมืออื่นๆ ช่วงระยะเวลาการสอบเทียบจะแสดงเป็นชั่วโมงในการใช้งาน แทนที่จะเป็นเดือนตามปฏิทิน เครื่องมือจะต้องมีอุปกรณ์หรือตัวบ่งชี้ ที่สามารถแสดงเวลาที่ผ่านไปได้ ในทางปฏิบัติ อาจจะมีการกำหนดช่วงระยะเวลาสอบเทียบตามจำนวนชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ยทั่วไปๆ มารระบุในแผนปฏิทินมาก่อน เช่น โดยเฉลี่ยจำนวน 50 ชั่วโมงใน 1 ปี เมื่อมีการใช้งานจริงไปเรื่อยๆ และตัวบ่งชี้ได้ระบุชั่วโมงที่ผ่านไปว่า ถึงเกณฑ์ 50 ชั่วโมงแล้ว แม้ระยะเวลาใช้งานจริงผ่านไปน้อยกว่า 1 ปี เช่น 8 เดือน ช่วงระยะเวลาการสอบเทียบจะต้องมีการทบทวนปรับให้เร็วกว่าที่กำหนดในแผนตามปฏิทิน ซึ่งในกรณีนี้อาจจะปรับให้เร็วขึ้นเป็น ทุกๆ 6 เดือน

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> -วิธีนี้จำนวนครั้งของการสอบเทียบและค่าใช้จ่าย จะแปรผันไปตามระยะเวลาของการใช้เครื่องมือ -สามารถตรวจสอบเวลาการใช้งานเครื่องมือโดยการบันทึกแบบอัตโนมัติ 	<ul style="list-style-type: none"> -ไม่สามารถใช้กับอุปกรณ์แบบพาสซีฟ เช่น ความต้านทาน -ไม่สามารถใช้กับเครื่องมือที่มีการเลื่อนค่า (drift) เอง แม้ไม่ได้ใช้งาน หรือผ่านปาร ปิด-เปิด สั้นๆ -ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของการจัดหาและติดตั้งตัวจับเวลา -ยุ่งยาก หากไม่ทราบช่วงระยะเวลาการสอบเทียบจะสิ้นสุด

วิธีที่ 4: การตรวจสอบการบริการหรือการทดสอบ "กล่องดำ" In service checking, or "black-box" testing

วิธีที่ 4 เหมาะอย่างยิ่งสำหรับเครื่องมือที่ซับซ้อนหรือการทดสอบที่สามารถเฝ้าคุมได้ พารามิเตอร์ที่สำคัญๆจะถูกตรวจสอบบ่อยครั้ง (วันละครั้งหรือบ่อยกว่านั้น) โดยใช้เครื่องสอบเทียบแบบพกพาหรือถ้าเป็นไปได้โดย "กล่องดำ" ที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เลือกนั้นๆ หากกล่องดำ ตรวจสอบพบว่าเครื่องมืออยู่นอกเขต ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับ จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือขึ้นนี้เต็มรูปแบบ

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> -ผู้ใช้เครื่องมือสามารถใช้งานเครื่องมือได้อย่างเต็มที่ตามขีดจำกัดของเครื่องมือ -สามารถติดตั้งเครื่องมือแยกห่างออกจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบ -สอบเทียบเมื่อมีความจำเป็น 	<ul style="list-style-type: none"> -ยากในการตัดสินใจว่าพารามิเตอร์ไหนมีความสำคัญ -ยากในการออกแบบ กล่องดำ -เครื่องมือบางชนิด อาจไม่สามารถตรวจวัดได้โดยกล่องดำ - ความเสถียรของกล่องดำ /คุณสมบัติของกล่องดำอาจไม่คงที่

วิธีที่ 5: วิธีการทางสถิติอื่นๆ

วิธีนี้ขึ้นกับการวิเคราะห์ทางสถิติของเครื่องมือแต่ละรายการหรือแต่ละประเภทเครื่องมือ นั้น วิธีการเหล่านี้ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม เมื่อจะต้องสอบเทียบเครื่องมือประเภทเดียวกันจำนวนมาก (เช่น กลุ่มเครื่องมือ) ช่วงระยะเวลาการสอบเทียบสามารถทบทวนได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ ตัวอย่างการใช้ วิธีการสถิติอื่นๆ เช่น การคาดการณ์การเลื่อนค่าด้วยวิธี linear regression

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทบทวนขยายช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัดทั้ง 5 วิธี ที่กล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับเครื่องมือทั้งหมดทุกประเภท ต้องขึ้นกับความตั้งใจของห้องปฏิบัติการว่าจะบำรุงรักษาตามแผนวิธีการที่เลือกหรือไม่

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบวิธีการทบทวนช่วงระยะเวลาการสอบเทียบ

	วิธีที่ 1 ขั้นบันได	วิธีที่ 2 แผนภูมิควบคุม	วิธีที่ 3 เวลาที่ใช้งาน	วิธีที่ 4 กล่องดำ	วิธีที่ 5 * วิธีสถิติอื่นๆ
ความน่าเชื่อถือ	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
ความยาก ในการใช้งาน	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง
ความสมดุล ของภาระงาน	ปานกลาง	ปานกลาง	แย่	ปานกลาง	แย่
ความใช้ได้ กับอุปกรณ์เฉพาะ	กลาง	ต่ำ	สูง	สูง	ต่ำ
ความพร้อม ของเครื่องมือ	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง

3. วิธีการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือวัดทางอุณหภูมิและความชื้น

เนื้อหาต่อไปนี้เป็นข้อแนะนำและตัวอย่าง สำหรับแนวทางการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบ การกำหนดจุดสอบเทียบ วิธีการขยายช่วงเวลาสอบเทียบของเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น ได้แก่ Liquid in glass thermometers, Thermocouples, Digital thermometers, PRT และเครื่องมือวัดความชื้น Hygrometers

3.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว Liquid in glass thermometers (LIG)

เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว อาศัยเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงกล ขยายหรือหดตัวของของเหลวในกระเปาะแก้วเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ในลักษณะเป็นเชิงเส้นเทอร์โมมิเตอร์เป็นแบบระบบปิดและไม่ใช้ไฟฟ้า ในระบบการวัด การเลื่อนค่า (drift) ของ LIG จึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก ก่อนใช้งานและสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วทุกครั้ง ควรทำการตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ เช่น ความต่อเนื่องของเหลวภายในแกนกระเปาะแก้ว รอยแตกร้าวของกระเปาะและก้านเทอร์โมมิเตอร์ หากเกิดการขาดช่วงของของเหลวภายในแกนกระเปาะแก้ว จะต้องทำการแก้ไขก่อนที่จะใช้งานหรือสอบเทียบ หาก LIG มีรอยร้าวจะไม่สามารถใช้งานได้ อีกต่อไป แนวทางการกำหนด Recalibration Intervals ของเครื่องมือเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว สรุปได้ดังตาราง

ชื่อเครื่องมือ (มาตรฐานที่อ้างอิง)	รอบการสอบเทียบ	การตรวจสอบ	หมายเหตุ
Liquid in glass thermometer (NATA)	5 ปี	ทุก 6 เดือน	ตรวจสอบด้วยจุด น้ำแข็ง (ice point)

การสอบเทียบ LIG ในครั้งแรก ต้องครอบคลุมการใช้งานและเป็นไปตามวิธีการที่มาตรฐานแนะนำ [7] เมื่อผ่านการสอบเทียบแบบครอบคลุมแล้วในครั้งแรก LIG ที่ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส สามารถการสอบเทียบ LIG แบบจุดเดียวที่จุดน้ำแข็งและนำค่าแก้ที่ 0 องศาเซลเซียสปรับเทียบค่าแก้จากผลสอบเทียบได้ เมื่อนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิแคบไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส [8] มาตรฐาน NATA ได้แนะนำให้สามารถขยายช่วงระยะเวลาการสอบเทียบแบบครอบคลุมการใช้งานซ้ำ ้วยยาวนานมากที่สุดถึง 5 ปี ถ้า LIG อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และการเลื่อนค่าหลังจากตรวจสอบ LIG ที่ ice point เป็นประจำทุก 6 เดือน ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ [9]

การกำหนดจุดสอบเทียบ ในการสอบเทียบเป็นครั้งแรกของ LIG ควรกำหนดให้ครอบคลุมการใช้งานตามที่มาตรฐานอ้างอิง ASTM กำหนด และสามารถสอบเทียบที่จุดน้ำแข็งหรือจุดอ้างอิง 1 จุดได้ (One point)

การขยายเวลาการสอบเทียบ แนะนำให้ใช้วิธีการที่ 2 Control Chart, ประวัติการสอบเทียบและการตรวจสอบด้วยจุดน้ำแข็งตามตัวอย่างแนบท้าย

3.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples)

เทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย เทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน แบ่งเป็นกลุ่มที่ทำมาจากโลหะพื้นฐาน (Type J, Type E, Type K, Type N, Type T) และกลุ่มโลหะชั้นสูงที่ทำมาจากแพลทินัม (Type S, Type R, Type B) แต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิการใช้งาน และเกณฑ์การยอมรับในระดับความถูกต้องของเทอร์โมคัปเปิลที่ผลิตใหม่ที่แตกต่างกัน การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลอ้างอิงตามเอกสารข้อเสนอแนะ Euramet cg-08 [10] แนวทางการกำหนด Recalibration Intervals ของเครื่องมือสรุปได้ดังต่อไปนี้

ชื่อเครื่องมือ (มาตรฐานที่อ้างอิง)	รอบการสอบเทียบ	การตรวจสอบ	หมายเหตุ
Thermocouple (Euramet cg-08)	2 ปี	บันทึก ระยะเวลา - อุณหภูมิ การใช้งาน	Base metal หากใช้งาน เกิน 400 °C ควรเปลี่ยน ใหม่ แทนการสอบเทียบซ้ำ
	3 ปี	บันทึกข้อมูลการใช้ งาน และผลการสอบ เทียบอ้างอิงที่อุณหภูมิ สูงสุด	Noble metal สอบเทียบ ทุก 3 ปี หรือเมื่อใช้งานเกิน 500 °C ครบ 100 ชั่วโมง (ยึดเงื่อนไขที่ถึงก่อน)

เทอร์โมคัปเปิลโลหะพื้นฐาน (Type J, Type E, Type K, Type N, Type T) สามารถกำหนดรอบการสอบเทียบได้ในทุก 2 ปี แต่ในกรณีเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงเกิน 400 °C สายที่ทำจากอัลลอยด์ของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการทำให้เกิดเลื่อนค่าได้ง่าย ดังนั้นควรเปลี่ยนใหม่ แทนการสอบเทียบซ้ำ [10-11]

เทอร์โมคัปเปิลโลหะชั้นสูงที่ทำมาจากแพลทินัม (Type S, Type R, Type B) การสอบเทียบซ้ำสามารถทำได้ 2 กรณีคือ ทำทุกๆ 3 ปี หรือ เมื่อใช้งานเกิน 500 °C ครบ 100 ชั่วโมง โดยยึดหลักกรณีใดถึงกำหนดก่อนให้ทำกรณีนั้น อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 กรณี หากมีการทวนสอบ จากข้อมูลประวัติการสอบเทียบ หรือ ทวนสอบกับเทอร์โมคัปเปิลที่ผ่านการสอบเทียบ ที่ ณ จุดอุณหภูมิสูงสุดของการใช้งาน และค่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ก็สามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกรอบของการสอบเทียบให้เร็วขึ้นหรือช้าออกไป แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี

การกำหนดจุดสอบเทียบ ควรกำหนดให้ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน ตัวอย่างเช่น การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลแบบ comparison สำหรับเทอร์โมคัปเปิล ที่ส่งสอบเทียบกับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ในช่วง (0 ถึง 1200) องศาเซลเซียส ควรสอบเทียบอย่างน้อย 6 จุดอุณหภูมิ เช่น (200, 400, 600, 800, 1000, 1200) องศาเซลเซียส สามารถสร้าง สมการพหุนามกำลัง 3 (polynomial order 3) แสดงความสัมพันธ์ทางแรงเคลื่อนไฟฟ้า-อุณหภูมิ ได้อย่างเหมาะสม

การยึดระยะเวลาการสอบเทียบ แนะนำให้ใช้วิธีการที่ 2 Control Chart, ประวัติการตรวจสอบและสอบเทียบ ตามตัวอย่างแนบท้าย

3.3 ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ (Digital Thermometers, DTM)

ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ ประกอบด้วย เทอร์โมมิเตอร์เซนเซอร์และตัวอ่าน การกำหนดรอบเวลาการสอบเทียบให้คำนึงถึงคุณสมบัติของเซนเซอร์เป็นสำคัญ รอบการสอบเทียบไม่ควรยืดระยะเวลาให้ยาวกว่ารอบการสอบเทียบเซนเซอร์ชนิดนั้นๆ ได้ระบุไว้ เช่น ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ที่มี เซนเซอร์เป็นเทอร์โมคัปเปิล Type K หากใช้งานเกิน 400 องศาเซลเซียส ควรเปลี่ยนเซนเซอร์ใหม่ ก่อนการสอบเทียบซ้ำเอกสาร NATA ได้แนะนำรอบการสอบเทียบของ ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์เป็นทุกๆ 12 เดือน และหากมีการตรวจสอบด้วยจุดน้ำแข็งทุกๆ 6 เดือน สามารถขยายรอบเวลาให้ยาวขึ้นเป็น 24 เดือน ถ้าพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่ตั้งไว้

ชื่อเครื่องมือ (มาตรฐานที่อ้างอิง)	รอบการสอบเทียบ	การตรวจสอบ	หมายเหตุ
Digital Thermometer/ checked STD (NATA [3])	12 เดือน	ผลการสอบเทียบ	ตรวจสอบค่าที่อุณหภูมิ อ้างอิง
	24 เดือน	6 เดือน	ตรวจสอบด้วยจุดน้ำแข็ง (ice point) หรืออุณหภูมิ อ้างอิง

การกำหนดจุดสอบเทียบ ควรให้ครอบคลุมของการทำงานอย่างน้อย 3 จุด ถ้ากรณีในช่วงอุณหภูมิการทำงานกว้างกว่า 100 องศาเซลเซียสควรเพิ่มจำนวนสอบให้เหมาะสม

ข้อแนะนำ หากเครื่องมือมีประวัติสอบเทียบที่ครอบคลุมการใช้งานมาก่อน เช่น การใช้งานดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ในช่วงแคบภายใน ± 5 องศาเซลเซียส ผ่านการสอบเทียบที่ (20.0, 25.0, 30.0) องศาเซลเซียส พบว่าประวัติการสอบเทียบที่ผ่านมา ค่า correction เท่ากัน หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถพิจารณาลดจุดสอบเทียบ เป็น one point ที่กึ่งกลาง 25.0 องศาเซลเซียส จนกว่าการเลื่อนค่าที่จุดอ้างอิงจะเกินเกณฑ์ และต้องทำการสอบเทียบใหม่ 3 จุดทั้งช่วงอีกครั้ง

การขยายเวลาการสอบเทียบ แนะนำให้ใช้วิธีการ Control Chart, ประวัติการตรวจสอบและสอบเทียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องมือ ตามตัวอย่างแนบท้าย

3.4 เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานแพลทินัม (Platinum resistance thermometer, PRT)

เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานแพลทินัม วัสดุอุณหภูมิอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า (ความต้านทาน) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป การเลื่อนค่าของเทอร์โมมิเตอร์เกิดขึ้นได้ง่ายหากขาดความระมัดระวังในการใช้งาน จึงต้องให้มีการตรวจสอบทุกๆ 6 เดือนด้วยจุดน้ำแข็ง (ice point) หากรอบเวลาการสอบเทียบเกิน 1 ปี แนวทางการกำหนด Recalibration Intervals ของ PRT สรุปได้ดังตาราง

ชื่อเครื่องมือ (มาตรฐานที่อ้างอิง)	รอบการสอบเทียบ	การตรวจสอบ	หมายเหตุ
Platinum Resistance Thermometer (PRT) (Monograph 11)	1 ปี	ผลการสอบเทียบ	ตรวจสอบค่าความ ต้านทานที่อุณหภูมิ 0 °C
- 100 ohm PRT/IPRT	5ปี (-40 to 250) °C	6 เดือน	ตรวจสอบค่าความ ต้านทานที่จุดน้ำแข็ง (Ice point)
	2 ปี (<-40°C, >250°C)	6 เดือน	

PRT/IPRT ส่วนใหญ่มีค่าความต้านทานตั้งต้นที่ศูนย์องศาเซลเซียส ประมาณ 100 ohm การเลื่อนค่าของความต้านทานเกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงมาก (มากกว่า 250°C) หรือต่ำมาก (น้อยกว่า -40°C) ทำให้รอบระยะเวลาการสอบเทียบต้องทำทุกๆ 2 ปี ขณะที่ PRT/IPRT ที่ใช้งานในช่วงแคบ (-40 to 250) °C การเลื่อนค่าของความต้านทานจะเกิดได้น้อยกว่า สามารถกำหนดรอบเวลาการสอบเทียบได้ยาวนานถึง 5 ปี หากผลการตรวจสอบที่จุดน้ำแข็ง (ice point) ทุก 6 เดือนอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้

การกำหนดจุดสอบเทียบของ PRT ต้องให้ครอบคลุมช่วงการใช้งานและการสร้างสมการสัมประสิทธิ์ PRT ที่ใช้งานในช่วงอุณหภูมิมากกว่าศูนย์ ควรทำการสอบเทียบอย่างน้อย 5 จุด และหากช่วงการใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ด้วย ต้องทำการสอบเทียบอย่างน้อย 7 จุด [6]

การขยายเวลาการสอบเทียบ แนะนำให้ใช้วิธีการ Control Chart, ประวัติการตรวจสอบและสอบเทียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องมือ

3.5 เครื่องมือวัดความชื้น (Digital thermo Hygrometers)

เครื่องมือวัดความชื้น มีเซ็นเซอร์หลากหลายรูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น

- Digital thermohygrometer วัดค่าความชื้นจากการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ที่แปรผันตามค่าความชื้นที่เปลี่ยนไป
- Dew point hygrometer วัดค่าความชื้นทางอ้อมจากการวัดค่าอุณหภูมิบนผิวกระจกขณะที่มีไอน้ำควบแน่น [7]

ทั้ง 2 รูปแบบการเลื่อนค่าของเครื่องมือเกิดขึ้นได้ง่ายที่สภาวะความชื้นต่ำและสูงกว่าสภาวะปกติ และการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและต่ำกว่าอุณหภูมิที่เซ็นเซอร์ภายในของเครื่องมือสามารถทำได้ รวมถึงสภาวะที่อากาศที่ปนเปื้อน เช่น มีฝุ่น และไอน้ำมัน รอบระยะเวลาการสอบเทียบที่แนะนำสำหรับเครื่องมือวัดความชื้นแสดงได้ดังตาราง

ชื่อเครื่องมือ (มาตรฐานที่อ้างอิง)	รอบการสอบเทียบ	การตรวจสอบ	หมายเหตุ
Hygrometer - Digital thermohygrometers* - Dew point or frost point hygrometers	24 เดือน	6 เดือน	เทียบกับ Ref. ที่ผ่านการสอบเทียบที่อุณหภูมิห้อง และตรวจสอบการปนเปื้อน * หากใช้งานในช่วงอุณหภูมิห้องปกติ

การตรวจสอบเครื่องมือวัดความชื้นควรทำอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 6 เดือน พร้อมการบำรุงรักษาหัวเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ให้สะอาดปราศจากการปนเปื้อนอยู่เป็นประจำตามคำแนะนำของผู้ผลิต รอบการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นสามารถทำได้ยาวนานถึง 2 ปี หากมีการตรวจสอบกับ Hygrometer อ้างอิงที่ได้ผ่านการสอบเทียบที่อุณหภูมิห้องขณะใช้งานทุกๆ 6 เดือน และพบว่าค่ายังอยู่ภายในเกณฑ์ที่ตั้งไว้

การกำหนดจุดสอบเทียบของเครื่องมือวัดความชื้น ต้องให้ครอบคลุมช่วงการใช้งาน เช่น ใช้งานที่ความชื้น $50 \pm 10\%RH$ ควรสอบเทียบที่ (40%RH, 50%RH, 60%RH) เป็นต้น ที่บริเวณอุณหภูมิใช้งาน

การยืดระยะเวลาการสอบเทียบ แนะนำให้ใช้วิธีการ Control Chart, ประวัติการตรวจสอบและสอบเทียบ เทียบกับเกณฑ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องมือ ตามตัวอย่างแนบท้าย

4. ตัวอย่างการขยายระยะเวลาสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น

ตัวอย่างที่ 1 Liquid in Glass thermometers (LIG)

ตัวอย่างผลการสอบเทียบ LIG กำหนดให้ เกณฑ์การยอมรับที่สามารถใช้งาน ได้คือเมื่อ LIG มีเลื่อนค่าน้อยกว่า 0.05 °C

MEASUREMENT RESULTS:

The measurement results of the liquid in glass thermometer are reported in the table below:

UUC Reading (°C)	Standard Reading (°C)	Correction (°C)	Uncertainty (K)
-6.95	-7.01	-0.06	0.02
0.02	0.00	-0.02	0.02
10.04	10.00	-0.04	0.02
20.04	20.00	-0.04	0.03
30.01	30.00	-0.01	0.03

Note: UUC is unit under calibration.

UUC Reading was read by CCD Camera 10x magnification with a measurement program.

When using thermometer at an intermediate temperature in the range reported above, the overall estimated uncertainty of temperature measurement to be within 0.03 K.

เมื่อทำการบันทึกผลการสอบเทียบของปี 2017 ที่ 0 องศาเซลเซียส และประวัติการตรวจสอบ ที่จุดน้ำแข็ง ทุกๆ 6 เดือน

Year	Correction (°C)	Drift (°C)	Note
2017	-0.02	0.00	Calibration
2017	-0.01	-0.01	ice point
2018	-0.05	0.04	ice point
2018	-0.05	0.00	ice point
2019	-0.03	-0.02	ice point
2019	-0.02	-0.01	ice point
2020	-0.01	-0.01	ice point
2020	-0.02	0.01	ice point

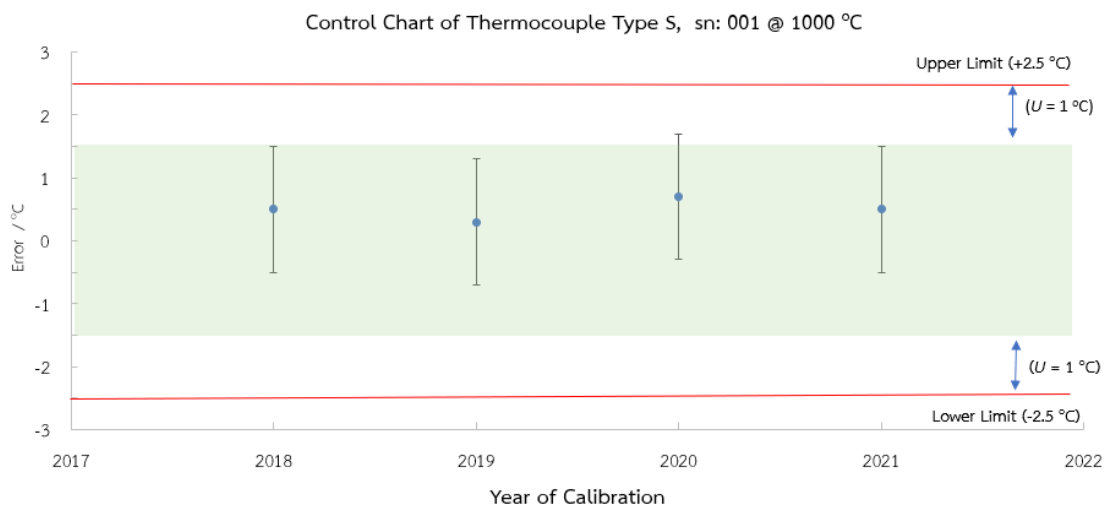
จะเห็นว่าค่าการเลื่อนค่าในทุกๆ 6 เดือน เทียบกับผลการสอบเทียบปี 2017 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จึงสามารถยืดระยะเวลาสอบเทียบครั้งต่อไปเป็นเวลา 5 ปี (สอบเทียบครั้งต่อไป 2022)

ตัวอย่างที่ 2 Thermocouples

ตัวอย่าง ข้อมูลผลการสอบเทียบย้อนหลังของ thermocouples type S ที่อุณหภูมิ 1100 °C กำหนดให้เกณฑ์การยอมรับของ thermocouples type S Drift $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ชั่วโมงการใช้งานรวม > 500 °C น้อยกว่า 50 ชม./ปี

หมายเหตุ เกณฑ์ Drift $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{year}$ กำหนดจากประวัติการสอบเทียบ ร่วมกับการอ้างอิง Standard Tolerance ของ Thermocouple Type S ตาม ASTM E230 ที่อุณหภูมิ 1000 °C มีค่าเท่ากับ $\pm 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Year	Error (°C)	Uncertainty (°C)	Drift (°C)	Upper Limit (°C)	Lower Limit (°C)	Results
2018	0.5	1.0	0.0 (apx.)	2.5	-2.5	Pass
2019	0.3	1.0	(0.3-0.5) = -0.2	2.5	-2.5	Pass
2020	0.7	1.0	(0.7-0.3) = 0.4	2.5	-2.5	Pass
2021	0.5	1.0	(0.5-0.7) = -0.2	2.5	-2.5	Pass



จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่าแนวโน้มการเลื่อนค่าของ 2 ปี ล่าสุด มีค่าน้อยกว่า $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และผลการวัดอยู่ในขอบเขตที่รับได้ ดังนั้นจึงขยายรอบการสอบเทียบเครื่องมือนี้ จากเดิม 1 ปี เป็น 2 ปี

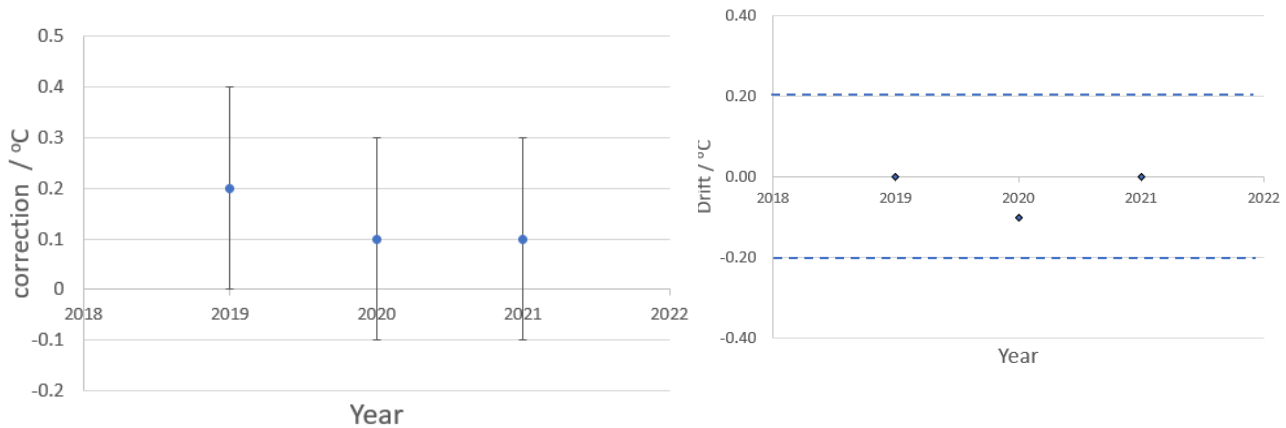
ตัวอย่างที่ 3 Digital Thermometers

ตัวอย่าง ข้อมูลผลการสอบเทียบย้อนหลัง 3 ปี ของ Digital Thermometer ที่ใช้งานประจำที่อุณหภูมิ 23 °C เกณฑ์การยอมรับ correction + uncertainty < ± 0.5 °C/year และ Drift < ± 0.2 °C

Year	Correction (°C)	Uncertainty (°C)	Drift (°C)	Upper Limit (°C)	Lower Limit (°C)	Results
2018	0.2	0.2	0.0 (apx.)	0.2	-0.2	Pass
2019	0.1	0.2	(0.2- 0.1) = 0.1	0.2	-0.2	Pass
2020	0.1	0.2	(0.1-0.1) = 0.0	0.2	-0.2	Pass

พิจารณาข้อมูล Correction และ Drift ประวัติการสอบเทียบที่จุดสำคัญ 23 °C แสดงได้ดังกราฟ

Control chart



สรุป จากผลการสอบเทียบย้อนหลัง 3 ปี พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และใน 2 ปี ล่าสุดมีการเลื่อนค่าของค่า error น้อยกว่า 0.2 °C ดังนั้น สามารถขยายรอบการสอบเทียบจากเดิม 1 ปี เป็น 2 ปี ได้ โดยทำการตรวจสอบด้วยจุดน้ำแข็ง (ice point) หรือที่อุณหภูมิอ้างอิง เช่น จุดน้ำที่อุณหภูมิห้อง ทุกๆ 6 เดือน นอกจากนี้ เนื่องจากใช้งานที่อุณหภูมิแคบ และค่า correction อยู่ในเกณฑ์ สามารถลดจุดสอบเทียบลงได้จากเดิม (21,22,23,24,25) °C เป็น (21,23,25) °C

ตัวอย่างที่ 4 PRTs

ตัวอย่างผลการสอบเทียบ PRT กำหนดให้ เกณฑ์การยอมรับที่สามารถใช้งาน PRT ได้คือเมื่อ PRT มี เลื่อนค่าน้อยกว่า 0.005 °C หรือเทียบเท่ากับ 0.002 ohm (เมื่อค่า sensitivity ของ PRT มีค่าเท่ากับ 0.4 ohm/°C)

MEASUREMENT RESULTS:

The measurement results of the IPRT are reported in the table below:

Temperature (°C)	UUC Resistance (Ω)	Uncertainty (mK)
-0.000 5	100.001 90	10
100.002 0	138.586 64	15
199.998 3	175.994 48	20
299.996 3	212.244 86	30
400.002 0	247.36 02	35
499.991 0	281.32 53	50
599.983 9	314.122 57	50

Note :

The calibration results were fitted using least square method to obtain the new unique constants, *A* and *B*. The temperature – resistance relationships can be calculated using the interpolation function below:

For temperature range 0 °C to 600 °C..

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

Where

$$A = 0.003\ 914\ 05\ \text{°C}^{-1}$$

$$B = -5.761\ 371\ \text{E-}07\ \text{°C}^{-2}$$

$$R_0 = 100.008\ 37\ \Omega$$

$$R_t = \text{resistance (in ohms) at temperature, } t\ (\text{°C})$$

The estimated temperature measurement uncertainty when using this equation for whole range is 50 mK and the temperature coefficient α was calculated from $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} = 0.003\ 856\ 43\ \text{°C}^{-1}$.

ตัวอย่างผลการสอบเทียบ PRT (2021)

เมื่อทำการบันทึกและประเมินเทียบค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ 0 °C (R_0) จากสมการผลการสอบเทียบย้อนหลัง เป็นเวลา 3 ปี (2017-2019) ต่อด้วยผลการตรวจสอบที่จุดน้ำแข็ง สรุปได้ดังตาราง

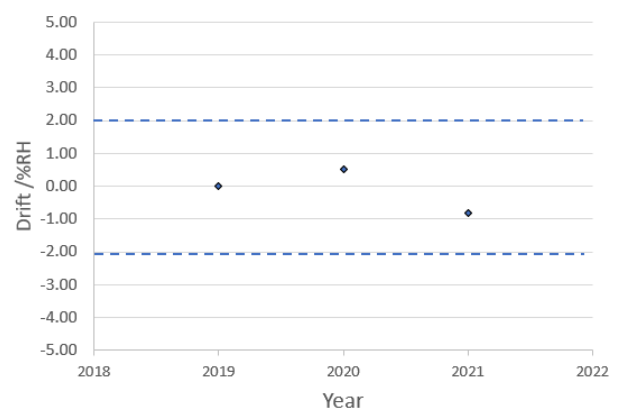
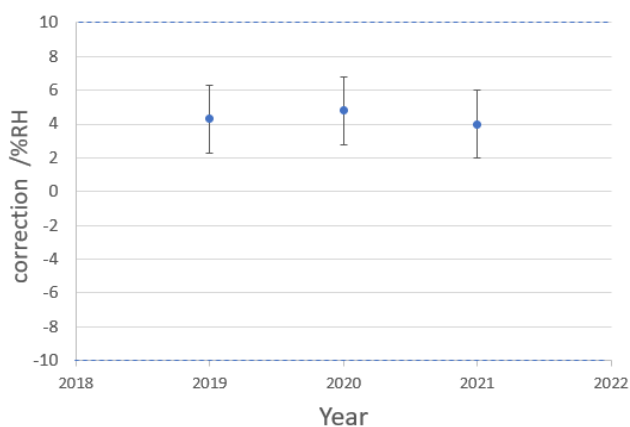
Year	R_0 (ohm)	Drift (ohm)	Note
2017	100.00722	0	Calibration
2018	100.00781	0.0006	Calibration
2019	100.00920	0.0014	Calibration
2019	100.00770	-0.0015	ice point
2020	100.00957	0.0004	ice point
2020	100.00807	-0.0011	ice point
2021	100.00837	-0.0008	Calibration

พบว่าค่าความต้านทานที่ 0 °C อยู่ภายในเกณฑ์กำหนดไว้ที่ 0.002 ohm จึงทำการเลื่อนรอบการสอบเทียบจากทุกๆ 1 ปี เป็นทุก 2 ปี (2019-2021) โดยเพิ่มทำการตรวจสอบการเลื่อนค่าด้วยการตรวจสอบค่าความต้านทานที่จุดน้ำแข็งทุกๆ 6 เดือนเทียบกับผลการสอบเทียบครั้งล่าสุด

ตัวอย่างที่ 5 Digital hygrometers

ตัวอย่าง ข้อมูลผลการสอบเทียบย้อนหลัง 3 ปี ของ Digital Thermo Hygrometer ที่ใช้งานประจำที่ อุณหภูมิ 23 °C ±2 °C และ 55 ± 10 %RH ควรกำหนดจุดสอบเทียบให้ครอบคลุมถ้าเป็นไปได้ เช่น ที่ (21, 23, 25) @ 55%RH และ (45, 55, 65) %RH @ 23 °C หรือ อย่างน้อย 1 จุดที่ 55%RH @ 23 °C กำหนดเกณฑ์การยอมรับ correction + uncertainty < ± 10 %RH และ drift < ± 2.0 %RH พิจารณาผลการสอบเทียบความชื้นที่อุณหภูมิ 23 °C และ 55% RH แสดงได้ดังกราฟ

Year	Correction (%RH)	Uncertainty %RH	Drift %RH	Upper Limit %RH	Lower Limit %RH	Results
2019	4.3	2.0	0.0 (apx.)	2.0	-2.0	Pass
2020	4.8	2.0	(4.8-4.3) = 0.5	2.0	-2.0	Pass
2021	4.0	2.0	(4.0-4.8) = -0.8	2.0	-2.0	Pass



สรุป จากผลการสอบเทียบย้อนหลัง 3 ปี พบว่าค่า correction + uncertainty < ± 10 %RH และ drift < ± 2%RH /ปี อยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และใน 2 ปี ล่าสุดมีการเลื่อนค่าของค่า correction น้อยกว่า 2% RH ดังนั้น สามารถขยายรอบการสอบเทียบจากเดิม 1 ปี เป็น 2 ปี หรือมากขึ้นได้ หากมีข้อมูลประวัติที่เพียงพอ เมื่อขยายรอบการสอบเทียบ ต้องทำการตรวจสอบทุก 6 เดือน ด้วยเครื่อง Master Digital thermo hygrometer ที่ผ่านการสอบเทียบ ณ จุดที่ทำการใช้งาน

References:

- [1] ILAC-G24:2007/ OIML D 10:2007 (E) Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instrument
- [2] ISO/IEC 17025: 2017. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.
- [3] NATA (National Association of Testing Authorities, Australia); General Accreditation Guidance, general equipment table, July 2019
- [4] JCGM 200:2008, ประมวลศัพท์มาตรฐานวิทยาระหว่างประเทศ – แนวคิดพื้นฐานและแนวคิดทั่วไป พร้อมคำศัพท์ที่เชื่อมสัมพันธ์ (วีไอเอ็ม)-International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM)
- [5] GMP 11-Good Measurement Practice for Assignment and Adjustment of Calibration Intervals for Laboratory standards (2019)-NIST
- [6] คณะทำงานจัดทำแนวทางการกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือวัด, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, สิงหาคม 2565
- [7] ASTM E1 Specification for ASTM Liquid in Glass Thermometers.
- [8] NATA General Accreditation Guidance: Liquid-in-glass thermometers - selection and use, July 2019
- [9] NIST Special Publication 1088 Maintenance, Validation, and Recalibration of Liquid-in-Glass Thermometers, 2009
- [10] EURAMET cg-08 Calibration of Thermocouples 2020
- [11] ASTM E220 Test method for calibration of thermocouple by comparison techniques
- [12] Monograph 11 Platinum Resistance thermometry, NMI, Australia 2014
- [13] DKD-R 5-8 Calibration of hygrometers for the direct measurement of relative humidity, DKD 2019
- [14] Traceable Temperatures. J.V. Nicholas and D.R. White