

การศึกษาผลการสอบเทียบ digital thermometer with RTD sensor ที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน

นายเอกสิทธิ์ ตุ่มสิทธิ์¹ นายณฤเบศ เนินทอง²

บทคัดย่อ

การศึกษาผลการสอบเทียบ digital thermometer with RTD sensor (DT with RTD) ที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ตาม Calibration of digital thermometer with temperature sensor เลขที่ TM/CG01/TT01/V04 โดยใช้ digital Thermometer with PRT 25 ohms เป็นเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ใช้อ่างสอบเทียบอุณหภูมิที่บรรจุน้ำมันซิลิโคนเป็นแหล่งสร้างอุณหภูมิ และใช้ DT with RTD ที่มีค่าความละเอียดที่ 0.01 °C จำนวน 3 เครื่อง ดังนี้ ID No. CAL_LIG32-ch2 (RTD1), ID No. CAL_LIG33-ch1 (RTD2) และ ID No. CAL_LIG34-ch2 (RTD3) เป็นตัวอย่างสอบเทียบในการศึกษาค้างนี้ โดยทำการสอบเทียบ DT with RTD ที่จุดอุณหภูมิ -30 °C, 0 °C, 25 °C, 65 °C และ 100 °C ได้ผลการสอบเทียบ คือ ค่าแก้ ± ค่าความไม่แน่นอนขยาย ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% โดยเรียงตามลำดับตัวอย่าง RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ -30 °C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ 0.0014 ± 0.057 °C, $(-0.0091) \pm 0.059$ °C และ $(-0.0048) \pm 0.059$ °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 0 °C ได้ผลการสอบเทียบ 0.0069 ± 0.059 °C, 0.0789 ± 0.060 °C และ 0.0364 ± 0.060 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 °C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ 0.0143 ± 0.054 °C, $(-0.0272) \pm 0.054$ °C และ $(-0.0779) \pm 0.056$ °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 65 °C ได้ผลการสอบเทียบ 0.0000 ± 0.055 °C, $(-0.0795) \pm 0.059$ °C และ $(-0.0665) \pm 0.059$ °C ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 100 °C ได้ผลการสอบเทียบ 0.0084 ± 0.058 °C, $(-0.0542) \pm 0.059$ °C และ $(-0.0774) \pm 0.061$ °C ตามลำดับ

ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาค้างนี้ ซึ่งครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C เท่ากับ 0.061 °C และเมื่อทำการทวนสอบผลการสอบเทียบตาม ISO 14253-1 (2017) พบว่า ที่จุดอุณหภูมิ -30 °C, 0 °C, 25 °C, 65 °C และ 100 °C ให้ผลผ่านการทวนสอบทุกจุดอุณหภูมิ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่าแก้เมื่อนำไปใช้วัดอุณหภูมิ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า CMC มีค่าต่ำกว่า 2.5 เท่าของค่า MPE ที่ต่ำที่สุด หรือค่า tolerance ที่ต่ำที่สุด ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ดังนั้นจึงมีความสามารถให้บริการสอบเทียบ DT with RTD ที่ช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C ได้ นอกจากนี้เมื่อนำค่า CMC มาเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ DT with RTD ที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จะถูกจัดอยู่ในลำดับที่ 17 จาก 45 ห้องปฏิบัติการ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาค่าแก้ค่าความไม่แน่นอน และค่า CMC ได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และสามารถใช้อ้างอิงการรับรอง ISO/IEC 17025 กับ สมอ. ได้

คำสำคัญ : สอบเทียบ, digital thermometer with RTD sensor, อุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C

เลขทะเบียนวิชาการ : 64(2)-0404-091

¹ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

² กลุ่มตรวจสอบคุณภาพยาสัตว์และวัตถุอันตรายด้านการปศุสัตว์ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

Study of result of digital thermometer with RTD sensor calibration from -30 °C to 100 °C by comparison standard thermometer method

Aekasit Tumsit¹ Narubeth Noenthong²

Abstract

Study of the calibration results of the digital thermometer with RTD sensor (DT with RTD) from -30 °C to 100 °C was conducted by comparison method with standard thermometer according to Calibration of Digital Thermometer with Temperature sensor, guideline no. is TM/CG01/TT01/V04. The digital thermometer with 25 ohms PRT and silicone oil within calibration bath were used as standard thermometer and were used as standard thermometer and temperature source, respectively. Three of DT with RTD, 0.01 °C resolution, included, ID NO. LIG_32-ch2(RTD1), ID NO. LIG_33-ch1(RTD2) and ID NO. LIG_34-ch2(RTD3) were selected in this study. All samples were calibrated at -30 °C, 0 °C, 25 °C, 65 °C and 100 °C temperature points. The calibration results were reported as correction values $\pm$ expanded uncertainty at a confidence level of approximately 95% as follow at -30 °C were 0.0014 ± 0.057 °C, $(-0.0091) \pm 0.059$ °C and $(-0.0048) \pm 0.059$ °C, respectively. At 0 °C were 0.0069 ± 0.059 °C, 0.0789 ± 0.060 °C and 0.0364 ± 0.060 °C, respectively. At 25 °C were 0.0143 ± 0.054 °C, $(-0.0272) \pm 0.054$ °C and $(-0.0779) \pm 0.056$ °C, respectively. At 65 °C were 0.0000 ± 0.055 °C, $(-0.0795) \pm 0.059$ °C and $(-0.0665) \pm 0.059$ °C, respectively and at 100 °C were 0.0084 ± 0.058 °C, $(-0.0542) \pm 0.059$ °C and $(-0.0774) \pm 0.061$ °C, respectively.

Therefore, the CMC value in this study, which covers the temperature range of -30 °C to 100 °C, is 0.061 °C. All calibration results according to ISO 14253-1 (2017), the study found that at -30 °C, 0 °C, 25 °C, 65 °C and 100 °C, the calibration results passed the verification criteria thus the correction value is unnecessary at that temperature point. This CMC value was compared with the lowest of MPE or the lowest tolerance of RTD. This study found that the CMC value had 2.5 times lower than the lowest of MPE or the lowest tolerance of RTD, according to IEC 60751 (2008), indicated the capability to calibrate DT with RTD in the range -30 °C to 100 °C. Moreover, this CMC value was also compared with the Thai Industrial Standards Institute (TISI) accredited laboratories in the same temperature range. The CMC value from this study was ranked 17th out of 45th laboratories. In conclusion, this study demonstrated the correction values, the uncertainty and CMC that fulfilled the intended objective and can be used for ISO/IEC 17025 accreditation with TISI.

Keyword : calibration, digital thermometer with RTD sensor, temperature at -30 °C to 100 °C

Registered No. : 64(2)-0404-091

¹Laboratory Quality System Development Division, Bureau of Quality Control of Livestock Products

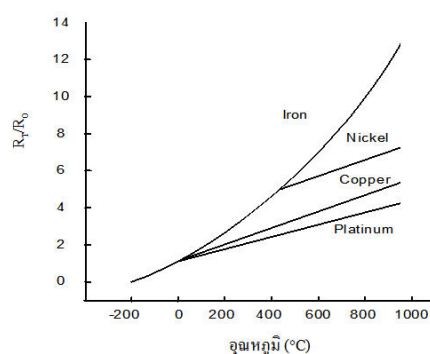
²Veterinary Drug and Hazardous Substances Assay Division, Bureau of Quality Control of Livestock Products

91 Moo 4, Tiwanon Rd., Bangkadi, Mueang, Pathumthani 12000

บทนำ

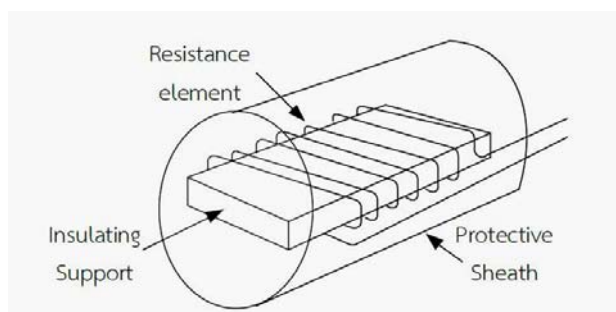
Digital thermometer with RTD sensor (DT with RTD) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้วัดอุณหภูมิในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้งานได้ง่าย และให้ค่าการวัดที่มีความถูกต้องสูง โดยหัววัดอุณหภูมิที่ต่อกับ digital thermometer เป็นประเภท resistance temperature detector (RTD)

DT with RTD ประกอบด้วยหน่วยแสดงผล เรียกว่า digital thermometer (DT) และ หัววัดอุณหภูมิประเภท RTD ซึ่งย่อมาจาก resistance temperature detector (NIMT, 2012) หรือ RT ย่อมาจาก resistance thermometer หัววัดประเภท RTD นิยมทำด้วยลวดโลหะ เช่น ทองแดง นิกเกิล และ แพลตตินัม เป็นต้น หากทำจากทองแดง จะเรียกว่า copper resistance thermometer หรือ CRT ถ้าทำจากนิกเกิล จะเรียกว่า Nickel resistance thermometer หรือ NRT และถ้าทำจากแพลตตินัม จะเรียกว่า platinum resistance thermometer หรือ PRT (OIML R 84, 2003) สำหรับทองแดงและนิกเกิลเป็นวัสดุที่มีราคาถูก ประกอบง่าย จึงนิยมใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปการใช้งานในอุตสาหกรรมและในห้องปฏิบัติการนิยมใช้อาร์ทีดีที่ทำมาจากแพลตตินัมมากที่สุด เนื่องจากมีความเที่ยงตรง (precision) และมีความเป็นเชิงเส้น (linearity) สูงที่สุด แต่มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น และเมื่อพิจารณากราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิของทองแดงและแพลตตินัม จากรูปที่ 1 พบว่า มีลักษณะเป็นเส้นตรงในย่านของอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นชัดเจน ซึ่งทองแดงง่ายต่อการทำปฏิกิริยาเคมี จึงนิยมเลือกใช้แพลตตินัม (นวกัทร และ ทวีพล, 2555)



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิของวัสดุต่าง ๆ (นวกัทร และ ทวีพล, 2555)

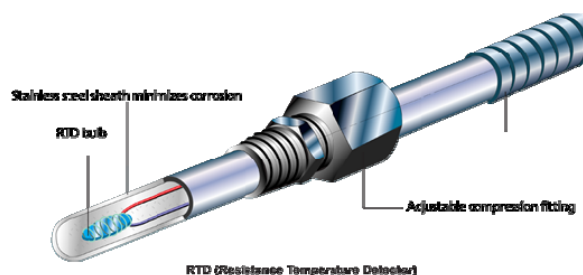
โครงสร้างของ RTD ประกอบด้วยขดลวดความต้านทานที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ พันรอบแกนหรือหลอดที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อความร้อน ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างภายในของอาร์ทีดี (นวกัทร และ ทวีพล, 2555)

จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ขดลวดร้อนจนอ่อนตัวและนำไปอบร้อนเพื่อคลายความเครียดของเส้นลวด แกนสำหรับพันเส้นลวดส่วนใหญ่ทำมาจากสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว หรือแพลตตินัมที่เคลือบด้วยเซรามิก โดยแกนที่ใช้พันขดลวดต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวใกล้เคียงและสัมพันธ์กับการขยายตัวของ

เส้นลวด RTD ที่นำไปใช้งานอยู่ในรูปของชีตอาร์ทีดี (sheath RTD) บางครั้งเรียกว่า ปลอกโลหะ (metal sheath) หรือ โพรบ (probe) (นวกัทร และ ทวีพล, 2555) ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ RTD (ที่มา: http://www.tutco.com/temperature_sensors/rtds.php)

RTD สามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200°C ถึง 850°C แต่ถ้าเป็นชนิด PRT จะวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -196°C ถึง 650°C (OIML R 84, 2003)

DT และ หัววัดอุณหภูมิ ต้องมีการสอบเทียบก่อนการใช้งาน เพื่อให้ทราบค่าจริงของเครื่องมือในจุดอุณหภูมิที่ใช้งาน และทราบค่าความไม่แน่นอน เมื่อนำมาใช้วัดอุณหภูมิ โดยที่เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ DT with RTD ควรมีความสามารถในการวัดดีกว่า 3-10 เท่าของ DT with RTD ตามมาตรฐาน ISO 10012:2003

วิธีการสอบเทียบ DT with RTD ทำได้โดยการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ซึ่งสามารถอ้างอิงวิธีได้หลายวิธี ได้แก่

วิธี Standard test methods for testing industrial resistance thermometers (ASTM E644-11) เป็นวิธีมาตรฐานที่ครอบคลุมถึงหลักการ เครื่องมือ และขั้นตอนในการสอบเทียบและทดสอบ industrial resistance Thermometers โดยแบ่งการสอบเทียบเป็น 2 วิธี วิธีแรก คือ วิธีการเปรียบเทียบ (comparison method) เป็นวิธีสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงซึ่งอาจเป็นเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว หรือ เทอร์โมมิเตอร์อื่นที่มีความแม่นยำ และได้รับการสอบเทียบโดยวิธีที่ได้รับการรับรองแล้ว และ วิธีที่สอง คือ วิธีจุดคงที่ (fixed point method) เป็นวิธีสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิที่สมดุลและเป็นจุดอุณหภูมิที่จำเพาะของคุณสมบัติของสารบริสุทธิ์หรือส่วนผสมของสารบริสุทธิ์นั้น (ASTM, 2019)

วิธี Calibration of digital thermometer with temperature sensor (TM/CG01/TT01/V04) ใช้เป็นแนวทางในการสอบเทียบ DT with temperature sensor โดยเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -80°C ถึง 960°C โดยแบ่งตามชนิดของหัววัดที่ต่อร่วม ได้แก่ DT with RTD และ การสอบเทียบ DT with TC sensor (DT with TC) ซึ่งวิธีการสอบเทียบทั้งสองแบบมีกระบวนการสอบเทียบเหมือนกัน อาจต่างกันที่องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด สาเหตุดังกล่าวเกิดจากหัววัดอุณหภูมิที่ต่อร่วมอยู่กับ DT มีลักษณะการทำงานที่ต่างกัน กล่าวคือ ถ้าใช้หัววัดแบบ RTD sensor ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดของเครื่องมือเกิดจากปัจจัยสองส่วน คือ DT กับ หัววัด RTD sensor แต่ถ้าใช้หัววัดอุณหภูมิแบบ TC sensor ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดของเครื่องมือเกิดจากปัจจัยสามส่วน คือ digital thermometer หัววัด TC sensor และ อุณหภูมิแวดล้อมรอบเครื่องอ่านและแสดงผล ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นจะนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด ซึ่งการสอบเทียบ DT with RTD สามารถใช้แหล่งกำเนิดอุณหภูมิได้สองชนิด คือ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการนำอุณหภูมิ ได้แก่ อ่างสอบเทียบอุณหภูมิ หรือ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบใช้อากาศเป็นตัวกลางในการนำอุณหภูมิ ได้แก่ dry block (NIMT, 2012)

และวิธี Guidelines on the calibration of temperature indicators and simulators by electrical simulation and measurement (EURAMET/cg-11/v.02) เป็นแนวทางการสอบเทียบเครื่องวัดและแสดงค่าไฟฟ้า และ เครื่องวัดและแสดงค่าอุณหภูมิและเครื่องจำลองอุณหภูมิที่ต่อร่วมกับหัววัดประเภทความต้านทานหรือ

เทอร์โมคัปเปิลที่ได้มาตรฐาน โดยการแปลงค่าอุณหภูมิไปเป็นค่าทางไฟฟ้า แล้วเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (EURAMET, 2011)

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสาขาอุณหภูมิ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ (สตส.) เป็นห้องปฏิบัติการที่ให้การสนับสนุนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิของ สตส. จึงได้ทำการศึกษาค่าแก้ (correction) ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และค่าขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (Calibration and Measurement Capability; CMC) ในการสอบเทียบ DT with RTD ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ตาม Calibration of digital thermometer with temperature sensor (TM/CG01/TT01/V04) โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาผลการสอบเทียบ 5 จุด อุณหภูมิ คือที่จุดอุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C ซึ่งครอบคลุมค่าความไม่แน่นอนในช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C ผลการสอบเทียบ ได้แก่ ค่าแก้ และ ค่าความไม่แน่นอน จะถูกนำมาศึกษาผ่านการทวนสอบตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบ ค่าความผิดพลาด (error) และค่า uncertainty กับค่า maximum permissible errors (MPE) หรือค่า tolerance ของ DT with RTD ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) เพื่อประเมินเครื่องมือว่าผ่านเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ และจำเป็นต้องใช้ค่าแก้ในการวัดอุณหภูมิหรือไม่ และเลือกค่า CMC 1 ค่า จากค่าความไม่แน่นอนขยายที่ครอบคลุมช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C ตามข้อกำหนดของ ILAC (2013) มาเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือ ค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดของเครื่องมือใน สตส. ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) เพื่อพิจารณาความสามารถในการให้บริการสอบเทียบ DT with RTD ของ สตส. และทำการเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา กับค่า CMC ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบอื่นในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ DT with RTD ช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C กับสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เพื่อดูลำดับความสามารถในการให้บริการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เนื่องจากค่า CMC มีความสำคัญที่ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแสดงสำหรับการขอรับรอง ISO/IEC 17025 จาก สมอ. เพราะเป็นการแสดงความสามารถในการวัดของห้องปฏิบัติการในขอบข่ายที่ขอการรับรองและเป็นประโยชน์นำไปใช้พิจารณาเลือกห้องปฏิบัติการสำหรับสอบเทียบ DT with RTD ได้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 เครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐานพร้อมหัววัด ชนิด PRT (Digital Thermometer with PRT; DT with PRT) Brand FLUKE model 1529-R, Serial No. B73678) มีค่าความละเอียด 0.0001°C โดยมีหัววัดดังนี้
 - 1.1.1 PRT sensor 25 ohms จำนวน 1 แห่ง ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 5628-15-S S/N: 3540 (PRT_{cal})
 - 1.1.2 PRT sensor 100 ohms จำนวน 2 แห่ง ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 5609-15-S S/N: 04529 (PRT1) และ S/N: 04532 (PRT2)
- 1.2 อ่างสอบเทียบอุณหภูมิ (calibration bath) ยี่ห้อ Lauda รุ่น UB40JL ความลึก 40 เซนติเมตร
- 1.3 นาฬิกาจับเวลา
- 1.4 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (digital thermohygrometer) ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง $23.0 \pm 3^{\circ}\text{C}$ มีค่าความละเอียด 0.1°C และสามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง $50 \pm 10\% \text{RH}$ มีค่าความละเอียด $0.1\% \text{RH}$ ยี่ห้อ Testo รุ่น 608-H2 S/N: 30025541
- 1.5 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมประมวลผล Microsoft excel

2. สารเคมี

- 2.1 น้ำมันซิลิโคน (silicone oil) ยี่ห้อ DOW ชื่อผลิตภัณฑ์ XIAMETER™ PMX-200 Silicone Fluid 5 cst (CASRN: 63148-62-9) สำหรับใช้เป็นตัวกลางในการนำอุณหภูมิ ได้ในช่วง -40°C ถึง 120°C
- 2.2 95% เอทานอล (95% ethanol) สำหรับเช็ดทำความสะอาดเครื่องมือ

3. ตัวอย่างที่ศึกษา

- DT with RTD จำนวน 3 แห่ง ที่มีค่าความละเอียด 0.01°C ประกอบด้วย
 - 3.1 DT with RTD 25 ohms ID NO. LIG_32 (ch2) - (RTD1)
 - 3.2 DT with RTD sensor 100 ohms ID NO. LIG_33 (ch1) - (RTD2)
 - 3.3 DT with RTD 100 ohms ID NO. LIG_34 (ch2) - (RTD3)

4. วิธีศึกษา

- 4.1 ดำเนินการสอบเทียบ

นำ DT with RTD ที่กำหนดให้เป็น thermometer under calibration (TUC) มาปรับสภาพในห้องสอบเทียบเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงก่อนทำการสอบเทียบ โดยจับยึด DT with RTD ด้วย clamp บน stand base ในแนวตั้งฉากกับพื้น และเมื่อครบเวลาดำเนินการทำความสะอาดหัววัดอุณหภูมิของ PRT_{cal} และ ตัวอย่างสอบเทียบ RTD1, RTD2 และ RTD3 ด้วย 95% ethanol ก่อนดำเนินการสอบเทียบ จากนั้นต่อ PRT_{cal} และ RTD1 เข้ากับเครื่อง DT และจุ่มลงในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ โดยมีระยะจุ่มไม่น้อยกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของ PRT_{cal} โดยกำหนดให้ DT with PRT_{cal} เป็น Standard Thermometer (STD) และใช้ clamp จับยึดทั้ง PRT_{cal} และ RTD1 ไว้ให้ตั้งตรง ในการศึกษาค้างนี้ทำการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ ชนิด PRT_{cal} และ RTD1 ที่ 120 มิลลิเมตร โดยจุ่มหัววัด RTD1 ให้ใกล้กับ PRT_{cal} มากที่สุด ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การจุ่มเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน และ digital thermometer with RTD sensor ในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ จากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิอ่างสอบเทียบให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการโดยเริ่มสอบเทียบจากอุณหภูมิ -30°C รอจนอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะสมดุล ทำการอ่านและบันทึกอุณหภูมิของ DT with PRT_{cal} และ DT with RTD1 ดังนี้

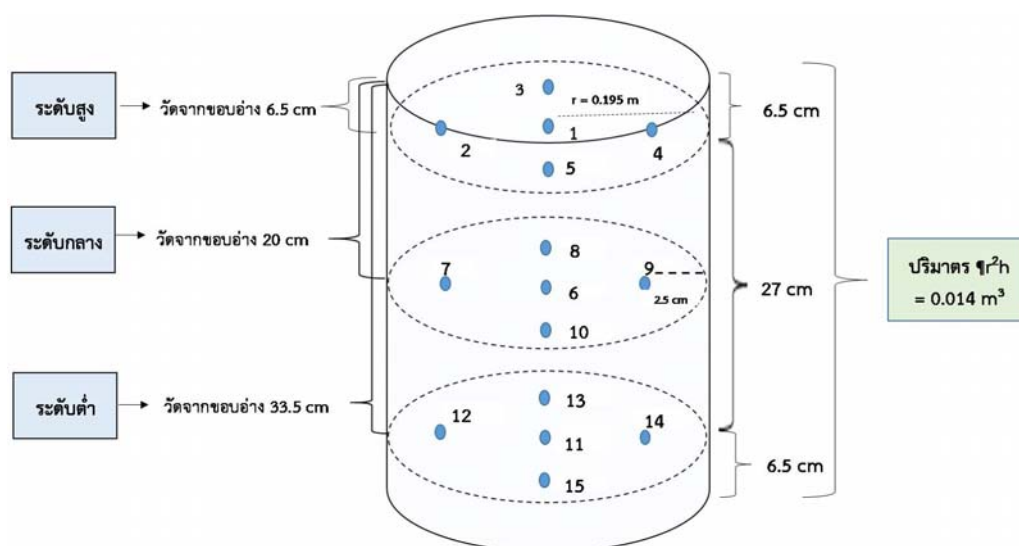
STD $\longrightarrow$ TUC $\longrightarrow$ TUC $\longrightarrow$ STD } 1 รอบ

นับการอ่านเป็น 1 รอบ ทำการอ่านอุณหภูมิซ้ำอีก 4 รอบ โดยเว้นระยะห่างในแต่ละรอบ 30 วินาที เมื่อครบ 5 รอบ ให้ทำการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 0°C , 25°C , 65°C , 100°C และทำการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิ -30°C อีกครั้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลหาค่า short term stability ในการสอบเทียบในแต่ละจุดอุณหภูมิ จะได้จำนวนค่าการวัดของ STD จำนวน 10 ค่า และค่าการวัดของ TUC จำนวน 10 ค่า เมื่อสอบเทียบ RTD1 เรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสอบเทียบ RTD2 และ RTD3 เช่นเดียวกัน

4.2 ดำเนินการหาค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งต่างๆสำหรับการสอบเทียบ (source uncertainty)

4.2.1 ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ จากอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอนจากความไม่เสถียรภาพ (instability) โดยหาจากค่าความเสถียรภาพ (stability) และ ค่าความไม่แน่นอนจากความไม่เป็นหนึ่งเดียวกัน (non-uniformity) หาจากค่าความเป็นหนึ่งเดียวกัน (uniformity) โดยทำการตรวจสอบตามระดับความลึก 3 ระดับ ดังนี้ วัดระดับความลึกด้านใน 40 เซนติเมตร แบ่งช่วงการใช้งานตามระยะการจุ่ม (working space) ออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ ตามรูปที่ 5 ดังนี้

- ที่ระดับสูง โดยวัดระยะต่ำจากขอบอ่างสอบเทียบด้านบนลงมา 6.5 เซนติเมตร กำหนดจุดกึ่งกลาง 1 จุด ให้เป็นจุดที่ 1 และบริเวณรอบๆ จุดกึ่งกลางอีก 4 จุด ให้เป็นจุดที่ 2, 3, 4 และ 5
- ที่ระดับกลาง โดยวัดระยะต่ำจากขอบอ่างสอบเทียบด้านบนลงมา 20 เซนติเมตร กำหนดจุดกึ่งกลาง 1 จุด ให้เป็นจุดที่ 6 และบริเวณรอบๆ จุดกึ่งกลางอีก 4 จุด ให้เป็นจุดที่ 7, 8, 9 และ 10
- ที่ระดับต่ำ โดยวัดระยะต่ำจากขอบอ่างสอบเทียบด้านบนลงมา 33.5 เซนติเมตร กำหนดจุดกึ่งกลาง 1 จุด ให้เป็นจุดที่ 11 และบริเวณรอบๆ จุดกึ่งกลางอีก 4 จุด ให้เป็นจุดที่ 12, 13, 14 และ 15 ตามรูปที่ 2 โดยจุดที่อยู่บริเวณรอบๆ จุดกึ่งกลางจะอยู่ห่างจากขอบอ่างสอบเทียบ 2.5 เซนติเมตร



รูปที่ 5 การกำหนดจุดวัดอุณหภูมิภายใน Bath

4.2.1.1 หาค่า instability of bath; u_{sta} โดยหาค่า stability

ทำการต่อหัววัด PRT1 และ PRT2 100 ohms เข้ากับ DT และใช้ stand, base, clamp จับยึดแท่ง PRT1 และ PRT2 นำมาจุ่มลงใน silicone oil ตามระดับความลึกและจุดที่กำหนด ตามตารางที่ 1 โดยจุ่มในลักษณะตั้งตรง และเปิดอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ ทำการตั้งค่าช่วงอุณหภูมิที่ต้องการให้เครื่องทำงาน ตามอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ PRT1 วัดอุณหภูมิ ตรงจุดที่ 1, 6 และ 11 ส่วน PRT2 ใช้วัดอุณหภูมิ ตรงจุดที่ 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 และ 15 โดยตั้งที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C รอจนอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ เข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจึงอ่านอุณหภูมิที่หน้าจอเครื่อง DT และเก็บข้อมูลที่ระดับสูง ตำแหน่งละ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 รอบ และทำที่ ระดับกลาง และระดับต่ำ เช่นเดียวกัน บันทึกผลค่าการวัดเพื่อนำไปคำนวณค่า stability ตามสูตรดังนี้

$$\text{stability} = \frac{(\text{maximum} - \text{minimum}) \text{ ของค่าเฉลี่ยแต่ละจุด}}{2}$$

ตารางที่ 1 การกำหนดจุดวัดอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบ สำหรับหาค่า stability

ที่ระดับ	ความลึก (cm)	จุดที่วัดอุณหภูมิของ PRT1 กับ PRT2			
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
สูง	6.5	จุดที่ 1 กับ จุดที่ 2	จุดที่ 1 กับ จุดที่ 3	จุดที่ 1 กับ จุดที่ 4	จุดที่ 1 กับ จุดที่ 5
กลาง	20.0	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 7	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 8	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 9	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 10
ต่ำ	33.5	จุดที่ 11 กับ จุดที่ 12	จุดที่ 11 กับ จุดที่ 13	จุดที่ 11 กับ จุดที่ 14	จุดที่ 11 กับ จุดที่ 15

4.2.1.2 หาค่า non-uniformity of bath; u_{uni} โดยหาค่า uniformity

ทำการวัดโดยใช้ DT with PRT1 และ PRT2 100 ohms จุ่มลงใน silicone oil ตรงจุดที่กำหนด ตามตารางที่ 2 โดยจุ่มในลักษณะตั้งตรง และทำการวัดที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C รอจนอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจึงอ่านอุณหภูมิที่หน้าจอเครื่อง DT โดยทำการวัดตามตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ 1 ถึง 7 ตำแหน่งละ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 รอบ บันทึกผลค่าการวัดเพื่อนำไปคำนวณค่า uniformity ตามสูตรดังนี้

$$\text{uniformity} = \text{maximum ของผลต่างของการวัดแต่ละตำแหน่ง}$$

ตารางที่ 2 การกำหนดจุดวัดอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบ สำหรับหาค่า uniformity

ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่	จุดที่วัดอุณหภูมิของ PRT1 กับ PRT2
1	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 2
2	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 4
3	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 12
4	จุดที่ 6 กับ จุดที่ 14
5	จุดที่ 2 กับ จุดที่ 14
6	จุดที่ 4 กับ จุดที่ 12
7	จุดที่ 1 กับ จุดที่ 11

นำค่า stability และ ค่า uniformity มาใช้คำนวณหาค่า instability และ non-uniformity

4.2.2 ค่าแหล่งความไม่แน่นอนของการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐาน (DT with PRT_{cal})

4.2.2.1 หาค่าความไม่แน่นอนจากการเลื่อนค่าของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (drift of standard; $u_{\text{drift_STD}}$)

ค่า drift of standard หาได้จาก specification ของ DT with PRT_{cal}

4.2.2.2 หาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการอ่านค่าความละเอียดของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (resolution of standard; $u_{\text{res_STD}}$) หาได้ดังนี้

$$\text{resolution of standard} = \frac{\text{resolution ของ DT with PRT}_{\text{cal}}}{2}$$

4.2.2.3 ค่าความผิดพลาดจากสมการในการคำนวณค่าแก้ (error of interpolation equation; $u_{\text{Error_Inter}}$)

นำผลการสอบเทียบ จากใบรับรองการสอบเทียบของ DT with PRT_{cal} มาใช้คำนวณหาค่า error of interpolation equation โดยการสร้างกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า STD value และ ค่า UUC reading ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ในโปรแกรม Microsoft Excel และใช้สมการ Polynomial equation จากเส้นกราฟมาหาค่า UUC fitting และหาค่า error of interpolation equation จาก $|UUC \text{ fitting} - STD \text{ value}|$

4.2.2.4 ค่าความไม่แน่นอนจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (uncertainty of standard; $u_{\text{cal_STD}}$)

นำค่า uncertainty จากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} ที่จุดอุณหภูมิ -30 °C, 0 °C, 25 °C, 65 °C และ 100 °C มาใช้คำนวณหาค่า uncertainty of standard

4.2.2.5 ค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำได้ ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (repeatability of standard; $u_{\text{rep_STD}}$)

นำค่า standard deviation; SD ของ STD จากการสอบเทียบในข้อ 4.1 มาคำนวณหาค่า repeatability of standard

4.2.3 ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ TUC

4.2.3.1 ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากความสามารถในการอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ (resolution of TUC; $u_{\text{res_TUC}}$) สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{resolution of TUC} = \frac{\text{resolution ของ DT with RTD}}{2}$$

4.2.3.2 ค่าความไม่แน่นอนจากความเสถียรของเครื่องมือในเวลาสั้นๆ (short term stability; u_{st})

นำข้อมูลการสอบเทียบในข้อ 4.1 ที่จุดอุณหภูมิ -30°C มาหาค่า short term stability ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{short term stability} = \text{correction อุณหภูมิต่ำสุดครั้งแรก} - \text{correction อุณหภูมิต่ำสุดครั้งหลัง}$$

4.2.3.3 ค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำได้ ของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ (repeatability of TUC; $u_{\text{rep_TUC}}$)

นำค่า standard deviation; SD ของ TUC จากการสอบเทียบในข้อ 4.1 มาคำนวณหาค่า repeatability of TUC

4.3 หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty)

นำค่า SD (จากการสอบเทียบในข้อ 4.1) และค่าความไม่แน่นอน (จากแหล่งความไม่แน่นอนต่างๆในข้อ 4.2) มาหารด้วยค่าการแจกแจง ซึ่งถ้าเป็นการแจกแจงแบบ rectangular distribution จะหารด้วย $\sqrt{3}$ หรือ ประมาณ 1.732 แต่ถ้าเป็นการแจกแจงแบบ normal distribution จะหารด้วย 1 ยกเว้น ค่า uncertainty of standard ที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบ จะหารด้วย ค่า coverage factor; k เนื่องจากเป็นค่า expanded uncertainty จากนั้นนำมาคูณด้วยค่า sensitivity coefficient ; C_i ซึ่งคือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง output ต่อ Input หากไม่มีการแปลงหน่วย ค่า C_i จะเท่ากับ 1.0 หากมีการแปลงหน่วยการวัด ค่า C_i จะมีค่าเปลี่ยนไปตามการแปลงหน่วยการวัดนั้น

4.4 หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty; u_c) ได้จากการรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานต่างๆ ซึ่งมีสูตร ดังนี้

$$u_c = \sqrt{u_{\text{rep_STD}}^2 + u_{\text{cal_STD}}^2 + u_{\text{drift_STD}}^2 + u_{\text{res_STD}}^2 + u_{\text{uni}}^2 + u_{\text{sta}}^2 + u_{\text{Error_Inter}}^2 + u_{\text{rep_TUC}}^2 + u_{\text{res_TUC}}^2 + u_{\text{st}}^2}$$

4.5 หาค่า coverage factor ; k จาก ค่า Effective degree of freedom (V_{eff}) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$V_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{V_i}} \quad \text{โดย Degree of freedom } (V_i) = n-1$$

และนำค่า V_{eff} ไปหาค่า k จากตาราง t -distribution ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% (โดยใช้ที่ 95.45 %) ตาม M3003 (UKAS, 2019)

4.6 หาค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty; U) โดย $U = u_c \cdot k$ ซึ่งต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนตามข้อแนะนำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด GLA-26 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2564)

4.7 นำค่าความไม่แน่นอนขยายที่ครอบคลุมช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C มาสรุปเป็นค่า CMC

4.8 นำค่าความผิดพลาด และค่าความไม่แน่นอนขยาย ของการศึกษาการสอบเทียบ DT with RTD ทั้ง 3 เครื่อง มาทวนสอบตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือ tolerance ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) เพื่อศึกษาผลการทวนสอบเครื่องมือว่าผ่านตามเกณฑ์หรือไม่ และจำเป็นต้องนำค่าแก้ไขใช้ในการวัดหรือไม่

4.9 นำค่า CMC มาเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ของเครื่องมือใน สตส. เพื่อพิจารณาความสามารถในการให้บริการสอบเทียบเครื่องมือของ สตส. และนำค่า CMC ที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับ ค่า CMC ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ DT with RTD ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C กับสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เพื่อดูลำดับความสามารถในการให้บริการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ผลและวิจารณ์ผล

1. ผลการสอบเทียบในส่วน ค่าแก้ไข และ ค่าความไม่แน่นอน ของการสอบเทียบ DT with RTD

ในการสอบเทียบ DT with RTD ที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C โดยการเปรียบเทียบกับ DT with PRT_{cal} ซึ่งได้รับการสอบเทียบจาก Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) ใบรับรองสอบเทียบเลขที่ PSL-T 667/63 วันที่สอบเทียบ 27 เมษายน 2563 โดยที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C นำผลการวัดไปรวมค่าแก้ไขจากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} และนำผลการวัดทั้ง 5 จุดอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณผลการสอบเทียบ หาค่าเฉลี่ย (average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของ STD และ TUC และหาค่าแก้ไข (correction) ซึ่งเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของ STD – ค่าเฉลี่ยของ TUC

ผลการสอบเทียบ DT with RTD, ID No. CAL_LIG32 (ch2)-(RTD1), ID No. CAL_LIG33 (ch1)-(RTD2) และ ID No. CAL_LIG34 (ch2)-(RTD3) โดยเปรียบเทียบกับ DT with PRT 25 ohms ที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C ได้ค่า correction และ SD ตามตารางที่ 3 และ 4 เมื่อนำค่า SD จากตารางที่ 3 และ 4 และค่า source of uncertainty ตามภาคผนวก ข้อ 2.1, 2.2 และ 3.1 และ ตารางที่ 11-22 (ภาคผนวก) มาคำนวณตามตารางที่ 5, 6 และ 7 จะได้ค่า expanded uncertainty แต่ละจุดอุณหภูมิ ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่า CMC ในการสอบเทียบ DT with RTD ที่ช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C ได้จาก RTD3 ที่อุณหภูมิ 100°C เพราะมีค่า expanded uncertainty สูงที่สุดในช่วงการวัด เท่ากับ $\pm 0.061^{\circ}\text{C}$ และพบว่า ค่า source of uncertainty ที่มีค่าสูงและมีผลต่อค่า expanded uncertainty ในการสอบเทียบ DT with RTD ได้แก่ ค่า drift of standard และ ค่า uncertainty of standard ดังนั้นหากเครื่องมือมาตรฐานมีค่าการเลื่อนค่าที่ต่ำ จะทำให้ได้ค่าความไม่แน่นอนขยายลดน้อยลง ส่งผลให้อาจจะได้ค่า CMC ที่ต่ำลง แต่สำหรับค่า uncertainty of standard สามารถลดลงได้โดยส่งเครื่องมือมาตรฐานสอบเทียบแบบ direct comparison ซึ่งเป็นการสอบเทียบ แยกกันระหว่าง digital thermometer และ PRT ซึ่งการส่งสอบเทียบแบบนี้จะมีข้อดีคือจะได้ค่า uncertainty ต่ำ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงในการบริการสอบเทียบ และ มีความยุ่งยากในการคำนวณเมื่อนำผลการสอบเทียบมาใช้งาน

ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบ และค่าแก้ ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ -30 °C, 0 °C และ 25 °C

อุณหภูมิที่ สอบเทียบ		-30 °C					0 °C					25 °C						
Round number	STD (°C)	TUC RTD1 (°C)	STD (°C)	TUC RTD2 (°C)	STD (°C)	TUC RTD3 (°C)	STD (°C)	TUC RTD1 (°C)	STD (°C)	TUC RTD2 (°C)	STD (°C)	TUC RTD3 (°C)	STD (°C)	TUC RTD1 (°C)	STD (°C)	TUC RTD2 (°C)	STD (°C)	TUC RTD3 (°C)
1	-29.9856	-29.99	-30.0019	-30.00	-30.0024	-30.00	-0.0902	-0.09	-0.1313	-0.20	-0.0228	-0.06	24.7955	24.78	24.6042	24.63	24.6525	24.74
2	-29.9826	-29.98	-30.0053	-30.00	-29.9983	-30.00	-0.0963	-0.10	-0.1364	-0.20	-0.0294	-0.06	24.7993	24.78	24.6078	24.64	24.6557	24.74
3	-29.9789	-29.98	-30.0079	-30.00	-29.9944	-29.99	-0.1030	-0.11	-0.1425	-0.22	-0.0345	-0.08	24.8028	24.79	24.6126	24.64	24.6589	24.74
4	-29.9749	-29.98	-30.0138	-30.01	-29.9914	-29.99	-0.1102	-0.12	-0.1466	-0.23	-0.0390	-0.08	24.8084	24.79	24.6179	24.64	24.6700	24.74
5	-29.9708	-29.98	-30.0166	-30.01	-29.9877	-29.99	-0.1157	-0.12	-0.1488	-0.23	-0.0424	-0.09	24.8153	24.79	24.6218	24.64	24.6737	24.75
Average	-29.9786	-29.98	-30.0091	-30.00	-29.9948	-29.99	-0.1031	-0.11	-0.1411	-0.22	-0.0336	-0.07	24.8043	24.79	24.6128	24.64	24.6621	24.74
Repeatability (SD)	0.0057	0.00	0.0061	0.01	0.0054	0.01	0.0098	0.01	0.0069	0.01	0.0074	0.01	0.0075	0.01	0.0069	0.00	0.0087	0.00
Correction		0.0014		-0.0091		-0.0048		0.0069		0.0789		0.0364		0.0143		-0.0272		-0.0779

ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบ และค่าแก้ ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ 65 °C และ 100 °C

อุณหภูมิที่ สอบเทียบ	65 °C						100 °C					
	Round number	STD (°C)	TUC RTD1 (°C)	STD (°C)	TUC RTD2 (°C)	STD (°C)	TUC RTD3 (°C)	STD (°C)	TUC RTD1 (°C)	STD (°C)	TUC RTD2 (°C)	STD (°C)
1	64.6599	64.66	64.5782	64.66	64.6081	64.67	99.5826	99.58	99.5800	99.63	99.6002	99.67
2	64.6649	64.66	64.5845	64.66	64.6002	64.66	99.5864	99.58	99.5778	99.63	99.6047	99.67
3	64.6693	64.67	64.5905	64.67	64.5908	64.66	99.5889	99.58	99.5760	99.63	99.6053	99.68
4	64.6750	64.67	64.5973	64.67	64.5862	64.66	99.5906	99.58	99.5737	99.64	99.6030	99.68
5	64.6808	64.67	64.6022	64.68	64.5821	64.66	99.5935	99.58	99.5719	99.64	99.5998	99.69
Average	64.6700	64.67	64.5905	64.67	64.5935	64.66	99.5884	99.58	99.5758	99.63	99.6026	99.68
Repeatability (SD)	0.0078	0.01	0.0092	0.01	0.0103	0.00	0.0040	0.00	0.0031	0.01	0.0026	0.01
Correction		0.0000		-0.0795		-0.0665		0.0084		-0.0542		-0.0774

ตารางที่ 5 ค่าความไม่แน่นอน ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ -30 °C และ 0 °C

อุณหภูมิที่สอบเทียบ							-30 °C						0 °C					
Symbol (U _x i)	Type	Source of uncertainty	Probability Distribution	Divisor	C _i	V _i	RTD1		RTD2		RTD3		RTD1		RTD2		RTD3	
							Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)
<i>u_{rep_STD}</i>	A	*Repeatability of Standard	Normal	1.0	1.0	9	0.0057	0.0057	0.0061	0.0061	0.0054	0.0054	0.0098	0.0098	0.0069	0.0069	0.0074	0.0074
<i>u_{cal_STD}</i>	B	Uncertainty of Standard	Normal	2.0	1.0	∞	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015
<i>u_{drift_STD}</i>	B	Drift of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173
<i>u_{res_STD}</i>	B	Resolution of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003
<i>u_{uni}</i>	B	Non-Uniformity of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0223	0.0129	0.0223	0.0129	0.0223	0.0129	0.0149	0.0086	0.0149	0.0086	0.0149	0.0086
<i>u_{sta}</i>	B	Instability of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0129	0.0074	0.0129	0.0074	0.0129	0.0074	0.0059	0.0034	0.0059	0.0034	0.0059	0.0034
<i>u_{Error_Inter}</i>	B	Error of interpolation equation	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002
<i>u_{rep_TUC}</i>	A	*Repeatability of TUC	Normal	1.0	1.0	9	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>u_{res_TUC}</i>	B	Resolution of TUC	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003
<i>u_{st}</i>	B	Short term stability	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0023	0.0013	-0.0086	-0.0050	-0.0137	-0.0079	0.0023	0.0013	-0.0086	-0.0050	-0.0137	-0.0079
<i>u_C</i>	-	Combined Standard Uncertainty	Normal					0.0285		0.0295		0.0297		0.0296		0.0299		0.0299
<i>V_{eff}</i> =								5847.37		4813.86		8095.08		744.04		3121.42		2354.58
<i>k</i> =								2		2		2		2		2		2
<i>U</i>	-	Expanded Uncertainty	Normal					0.0570		0.0590		0.0594		0.0592		0.0598		0.0598
		Uncertainty (report)						0.057		0.059		0.059		0.059		0.060		0.060

*ค่า Repeatability of Standard และ Repeatability of TUC จากค่า SD ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 6 ค่าความไม่แน่นอน ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ 25 °C และ 65 °C

อุณหภูมิที่สอบเทียบ							25 °C						65 °C					
Symbol (Uxi)	Type	Source of uncertainty	Probability Distribution	Divisor	C_i	V_i	RTD1		RTD2		RTD3		RTD1		RTD2		RTD3	
							Value (°C)	U_i (°C)	Value (°C)	U_i (°C)	Value (°C)	U_i (°C)	Value (°C)	U_i (°C)	Value (°C)	U_i (°C)	Value (°C)	U_i (°C)
u_{rep_STD}	A	*Repeatability of Standard	Normal	1.0	1.0	9	0.0075	0.0075	0.0069	0.0069	0.0087	0.00873	0.0078	0.0078	0.0092	0.0092	0.0103	0.0103
u_{cal_STD}	B	Uncertainty of Standard	Normal	2.0	1.0	∞	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015
u_{drift_STD}	B	Drift of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173
u_{res_STD}	B	Resolution of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003
u_{uni}	B	Non-Uniformity of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0130	0.0075	0.0130	0.0075	0.0130	0.0075	0.0189	0.0109	0.0189	0.0109	0.0189	0.0109
u_{sta}	B	Instability of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0113	0.0065	0.0113	0.0065	0.0113	0.0065	0.0084	0.0048	0.0084	0.0048	0.0084	0.0048
u_{Error_Inter}	B	Error of interpolation equation	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012
u_{rep_TUC}	A	*Repeatability of TUC	Normal	1.0	1.0	9	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
u_{res_TUC}	B	Resolution of TUC	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003
u_{st}	B	Short term stability	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0023	0.0013	-0.0086	-0.0050	-0.0137	-0.0079	0.0023	0.0013	-0.0086	-0.0050	-0.0137	-0.0079
u_c	-	Combined Standard Uncertainty	Normal					0.0268		0.0269		0.0281		0.0277		0.0296		0.0294
$V_{eff} =$								1452.45		2084.44		964.37		1409.10		956.30		596.13
$k =$								2		2		2		2		2		2
U	-	Expanded Uncertainty	Normal					0.0536		0.0538		0.0562		0.0554		0.0592		0.0588
Uncertainty (report)								0.054		0.054		0.056		0.055		0.059		0.059

*ค่า Repeatability of Standard และ Repeatability of TUC จากค่า SD ตามตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 7 ค่าความไม่แน่นอน ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 ที่อุณหภูมิ 100 °C

อุณหภูมิที่สอบเทียบ							100 °C					
Symbol (U _x i)	Type	Source of uncertainty	Probability Distribution	Divisor	C _i	V _i	RTD1		RTD2		RTD3	
							Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)
u _{rep_STD}	A	*Repeatability of Standard	Normal	1.0	1.0	9	0.0040	0.0040	0.0031	0.0031	0.0026	0.0026
u _{cal_STD}	B	Uncertainty of Standard	Normal	2.0	1.0	∞	0.030	0.015	0.030	0.015	0.030	0.015
u _{drift_STD}	B	Drift of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.030	0.0173	0.030	0.0173	0.030	0.0173
u _{res_STD}	B	Resolution of Standard	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003	0.00005	0.00003
u _{uni}	B	Non-Uniformity of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0254	0.0147	0.0254	0.0147	0.0254	0.0147
u _{sta}	B	Instability of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0131	0.0076	0.0131	0.0076	0.0131	0.0076
u _{Error_inter}	B	Error of interpolation eqation	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0038	0.0022	0.0038	0.0022	0.0038	0.0022
u _{rep_TUC}	A	*Repeatability of TUC	Normal	1.0	1.0	9	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
u _{res_TUC}	B	Resolution of TUC	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003
u _{st}	B	Short term stability	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0023	0.0013	-0.0086	-0.0050	-0.0137	-0.0079
u _c	-	Combined Standard Uncertainty	Normal					0.0288		0.0295		0.0305
V _{eff} =								25171.67		72998.79		166981.94
k =								2		2		2
U	-	Expanded Uncertainty	Normal					0.0576		0.0590		0.0610
Uncertainty (report)								0.058		0.059		0.061

*ค่า Repeatability of Standard และ Repeatability of TUC จากค่า SD ตามตารางที่ 4

2. ผลการศึกษาค่าแก้ และค่าความไม่แน่นอนผ่านการทวนสอบ DT with RTD ทั้ง 3 เครื่อง

จากการทวนสอบผลการสอบเทียบ DT with RTD ตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือค่า tolerance ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ซึ่งค่า MPE หรือค่า tolerance ของ RTD (Pt100) class A มีค่าเท่ากับ $0.15 + 0.002 |t|$ ตามตารางที่ 8 พบว่า ที่จุดอุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C ของ RTD1, RTD2 และ RTD3 มีผลรวมของค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance ทุกจุดอุณหภูมิ จึงให้ผลผ่านเกณฑ์การทวนสอบซึ่งเมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C ทำให้สามารถใช้ค่าการวัดนั้นได้โดยไม่ต้องใช้ค่าแก้ไขไปใช้ร่วมกับค่าที่วัดได้ แต่หากต้องการให้ผลการวัดมีความแม่นยำ ควรนำค่าแก้ไขไปใช้ร่วมกับค่าที่วัดได้ ด้วย เพื่อให้เกิดความสอดคล้องตามข้อกำหนด 6.4.5 ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017

ตารางที่ 8 แสดงการทวนสอบผลการสอบเทียบ DT with RTD ตาม ISO 14253-1 (2017) เปรียบเทียบกับค่า MPE หรือค่า tolerance ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008)

Temp ($^{\circ}\text{C}$)	MPE or tolerance $\pm (^{\circ}\text{C})$	RTD No.	Calibration results			Verification		Verification Results		*Remark usability
			*Error ($^{\circ}\text{C}$)	$\pm$ Uncertainty ($^{\circ}\text{C}$)		E+U ($^{\circ}\text{C}$)	E+(-U) ($^{\circ}\text{C}$)	E+U	E+(-U)	
-30	0.21	RTD1	-0.0014	0.057	-0.060	0.0556	-0.0584	pass	pass	need't to add correction
		RTD2	0.0091	0.059	-0.061	0.0681	-0.0499	pass	pass	need't to add correction
		RTD3	0.0048	0.059	-0.060	0.0638	-0.0542	pass	pass	need't to add correction
0	0.15	RTD1	-0.0069	0.059	-0.060	0.0521	-0.0659	pass	pass	need't to add correction
		RTD2	-0.0789	0.060	-0.060	-0.0189	-0.1389	pass	pass	need't to add correction
		RTD3	-0.0364	0.060	-0.060	0.0236	-0.0964	pass	pass	need't to add correction
25	0.20	RTD1	-0.0143	0.054	-0.055	0.0397	-0.0683	pass	pass	need't to add correction
		RTD2	0.0272	0.054	-0.059	0.0812	-0.0268	pass	pass	need't to add correction
		RTD3	0.0779	0.056	-0.056	0.1339	0.0219	pass	pass	need't to add correction
65	0.28	RTD1	-0.0000	0.055	-0.056	0.0550	-0.0550	pass	pass	need't to add correction
		RTD2	0.0795	0.059	-0.059	0.1385	0.0205	pass	pass	need't to add correction
		RTD3	0.0665	0.059	-0.058	0.1255	0.0075	pass	pass	need't to add correction
100	0.35	RTD1	-0.0084	0.058	-0.060	0.0496	-0.0664	pass	pass	need't to add correction
		RTD2	0.0542	0.059	-0.061	0.1132	-0.0048	pass	pass	need't to add correction
		RTD3	0.0774	0.061	-0.060	0.1384	0.0164	pass	pass	need't to add correction

*Error = measured quantity value minus a reference quantity value (BIPM, 2012)

3. ผลการเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา

3.1 ผลการเปรียบเทียบค่า CMC กับค่า MPE หรือค่า tolerance ของ RTD ที่ต่ำที่สุดตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ของ สตส.

จากการเปรียบเทียบ ค่า CMC กับค่า MPE หรือค่า tolerance ของ RTD ที่ต่ำที่สุดของ สตส. ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ที่จุดอุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C พบว่าค่า MPE หรือค่า Tolerance ที่ต่ำที่สุดในช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C คือที่อุณหภูมิ 0°C มีค่าเท่ากับ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปเปรียบเทียบพบว่า ค่า CMC มีค่าต่ำกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance ของ RTD 2.5 เท่า ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่า MPE หรือ tolerance ของ DT with RTD ที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C ของสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008)

Type of sensor	Range (°C)	Resolution (°C)	Temperature	MPE or tolerance = $(\pm) 0.15 + 0.002 t $	เปรียบเทียบค่า CMC กับ MPE หรือ tolerance
RTD	-30 to 100	0.01	-30	0.21	< 3.4 เท่า
			0	0.15	< 2.5 เท่า
			25	0.20	< 3.3 เท่า
			65	0.28	< 4.6 เท่า
			100	0.35	< 5.7 เท่า

3.2 ผลการเปรียบเทียบค่า CMC กับ ห้องปฏิบัติการอื่นที่รับรอง ISO /IEC17025

เมื่อเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาไปเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ DT with RTD จาก สมอ. ซึ่งมีจำนวน 74 ห้องปฏิบัติการ พบว่ามีห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองการสอบเทียบ DT with RTD ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 100 °C จำนวน 45 ห้องปฏิบัติการ ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จึงจัดอยู่ในลำดับที่ 17 จาก 45 ห้องปฏิบัติการ ตามตารางที่ 10 ซึ่งในทางปฏิบัติ การเลือกห้องปฏิบัติการสำหรับการสอบเทียบ DT with RTD ที่มีค่า CMC เท่ากับ หรือสูงกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance ของเครื่องมือ จะส่งผลต่อการยอมรับเครื่องมือได้ เพราะห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่สามารถรายงานค่า uncertainty ต่ำกว่าค่า CMC ที่ได้รับการรับรองได้ ตามข้อกำหนดของ ILAC (2013) ทางลูกค้าจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่า CMC ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่จะใช้บริการให้เหมาะสมกับเกณฑ์การยอมรับของเครื่องมือด้วย

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา กับ ห้องปฏิบัติการอื่นในประเทศไทยที่ได้รับรอง ISO/IEC 17025 จาก สมอ. ปี 2564 (ข้อมูลเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2564)

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	ช่วงการสอบเทียบ (°C)	ค่า CMC (°C)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ ค่า MPE หรือ tolerance ที่ ± 0.15	เรียงลำดับค่า CMC	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	ช่วงการสอบเทียบ (°C)	ค่า CMC (°C)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ ค่า MPE หรือ tolerance ที่ ± 0.15	เรียงลำดับค่า CMC
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	(-60) to 90	15 mK	< 10.0 เท่า	1	บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ศูนย์มาตรวิทยา	(-38) to 80	0.046	<3.3 เท่า	12
	>90 to 250	20 mK	< 7.5 เท่า			>80 to 250	0.054	<2.8 เท่า	
ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพ บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)	-70 to 190	0.020	< 7.5 เท่า	2	บริษัท เอสพีซีอาร์ จำกัด	(-30) to 100	0.055	<2.7 เท่า	13
ห้องปฏิบัติการมาตรฐานทางแสงและอุณหภูมิ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	-80 to < 0	0.025	<6.0 เท่า	3	อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร	-40 to 0	0.056	<2.7 เท่า	14
	0 to 250	0.020	< 7.5 เท่า			>0 to 100	0.051	<2.9 เท่า	
ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี บริษัท ควอลิตี้ รีบอร์น จำกัด	(-30) to 200	0.027	< 5.6 เท่า	4	สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)	(-38) to 400	0.060	<2.5 เท่า	15
	(-90) to 200	0.028	< 5.4 เท่า	5	บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด	-30 to 100	0.060	<2.5 เท่า	16
บริษัท ชัคเซสเททเวย์ จำกัด	(-40) to 25	0.028	< 5.4 เท่า	6	สำนักงานตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์	(-30) to 100	0.061	<2.5 เท่า	17
	25 to 100	0.032	< 4.7 เท่า			> -50 to 250	0.062	<2.4 เท่า	18
บริษัท มิราเคิล อินเตอร์เนชั่นแนล เทคโนโลยี จำกัด	> -38 to 200	0.032	4.7 เท่า	7	บริษัท ไทย-เกาหลี คาลิเบรชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด	-38 to 120	0.063	<2.4 เท่า	19
บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด	-40 to 250	0.034	< 4.4 เท่า	8	บริษัท คริสตัล คาลิเบรชั่น เซลส์แอนด์ เซอร์วิส จำกัด	(-82) to 50	0.060	<2.5 เท่า	20
บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)	(-50) to 0	0.040	< 3.8 เท่า	9	บริษัท ทิปปิกซ์แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน)	>50 to 150	0.065	<2.3 เท่า	
	> 0 to 420	0.025	< 6.0 เท่า			(-38) to 0	0.068	<2.2 เท่า	21
บริษัท อินเตอร์เทมปี เซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด	-38 to 200	0.043	< 3.5 เท่า	10		>0 to 150	0.050	<3.0 เท่า	
บริษัท เมเซอร์โทรนิคส์ จำกัด	(-80) to 0	0.030	< 5.0 เท่า	11	บริษัท ลิทธิพรแอสโซซิเอต จำกัด	(-40) to < 0	0.068	<2.2 เท่า	22
	> 0 to 300	0.050	< 3.0 เท่า			0 to 100	0.065	<2.3 เท่า	

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา กับ ห้องปฏิบัติการอื่นในประเทศไทยที่ได้รับรอง ISO/IEC 17025 จาก สมอ. ปี 2564 (ข้อมูลเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2564)
(ต่อ)

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	ช่วงการสอบเทียบ (°C)	ค่า CMC (°C)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ ค่า MPE หรือ tolerance ที่ ± 0.15	เรียงลำดับค่า CMC	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	ช่วงการสอบเทียบ (°C)	ค่า CMC (°C)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ ค่า MPE หรือ tolerance ที่ ± 0.15	เรียงลำดับค่า CMC
บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัย	(-30) to 50	0.070	<2.1 เท่า	23	บริษัท ไทยฮาท แคลิเบรชั่น จำกัด	(-38) to 55	0.14	> 1.1 เท่า	35
ทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด	> 50 to 150	0.061	<2.5 เท่า	24		> 55 to 200	0.16	>0.9 เท่า	
บริษัท ไอโซแคล เทคโนโลยี จำกัด	(-15) to 0	0.076	<2.0 เท่า	25	บริษัท เอสเอ็มไอ อินสตรูเมนต์ จำกัด	(-40) to 200	0.16	> 0.9 เท่า	36
	0 to 50	0.065	<2.3 เท่า		บริษัท อซ์บลิ (ประเทศไทย) จำกัด	(-200) to <200	0.17	> 0.9 เท่า	37
	50 to 100	0.074	<2.0 เท่า		บริษัท แคลลิเบรเทค จำกัด	(-30) to <-20	0.18	> 0.8 เท่า	38
						(-20) to 200	0.095	< 1.6 เท่า	
บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเชส (ประเทศไทย) จำกัด	(-30) to 125	0.078	<1.9 เท่า	26	บริษัท ไทยคาลิเบรชั่นเซอร์วิส จำกัด	(-40) to 100	0.20	> 0.8 เท่า	39
บริษัท พรีเมียร์ซิสเต็มเอ็นจิเนียริง จำกัด	-30 to 250	0.082	<1.8 เท่า	27					
บริษัท จิรณี แอสโซซิเอตส์ จำกัด	(-30) to 150	0.082	<1.8 เท่า		บริษัท โปรเฟสชั่นแนล แคริเบรชั่น แอนด์เซอร์วิสเชส จำกัด	(-30) to 25	0.22	> 0.7 เท่า	40
บริษัท ดีเคเอสเอช (ประเทศไทย) จำกัด	(-30) to 200	0.085	<1.8 เท่า	28		>25 to 100	0.20	> 0.8 เท่า	
บริษัท เซาท์เทิร์น คาลิเบรชั่น เซอร์วิส จำกัด	(-50) to 150	0.090	<1.7 เท่า	29	บริษัท แคล. แล็บ. เมทโรโลยี จำกัด	(-40) to 0	0.098	< 1.5 เท่า	41
บริษัท ซิสทอนิกส์ จำกัด	(-40) to 100	0.10	<1.5 เท่า	30	งานอุปกรณ์การแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล	- 30 to 100	0.22	> 0.7 เท่า	42
บริษัท แคลิเบรชั่น แลบบอราทอรี จำกัด	(-40) to 220	0.11	<1.4 เท่า	31	บริษัท ยูไนเต็ด อินสตรูเมนต์ แอนด์ เมโทรโลยี จำกัด	(-30) to 160	0.22	> 0.7 เท่า	43
บริษัท เอส เค เซลส์แอนด์เซอร์วิส จำกัด	(-30) to 125	0.11	<1.4 เท่า	32	บริษัท ยูนิไทย กรุป จำกัด	(-40) to <-20	0.11	< 1.4 เท่า	44
ศูนย์มาตรวิทยา บริษัท เอส ซีไอ อีโคโนมิค เซอร์วิสเชส จำกัด	(-80) to 70	0.08	<1.9 เท่า	33		20 to 250	0.030	>0.5 เท่า	
	>70 to 290	0.14	>1.1 เท่า		บริษัท ออโตเมชั่น เซอร์วิส จำกัด	(-200) to 850	0.30	< 0.5 เท่า	45
บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์ จำกัด	(-40) to 420	0.15	=1.0 เท่า	34					

สรุปผล

ผลการสอบเทียบ digital thermometer with RTD sensor (DTwith RTD) ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C จำนวน 3 เครื่อง โดยใช้ DT with $\text{PRT}_{\text{cal}} 25 \text{ ohms}$ เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ใช้อ่างสอบเทียบอุณหภูมิ เป็นแหล่งสร้างอุณหภูมิ และใช้น้ำมันซิลิโคน เป็นตัวกลางในการนำอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 120°C โดยวิธีเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ตาม Calibration of digital thermometer with temperature sensor (TM/CG01/TT01/V04) ซึ่งศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C พบว่า ผลการสอบเทียบของ DTwith RTD ID NO. LIG_32-ch2 (RTD1), ID NO. LIG_33-ch1 (RTD2) และ ID NO. LIG_34-ch2 (RTD3) ได้ผลการสอบเทียบ โดยรายงานตามรูปแบบ M3003 คือ $y \pm U$ โดยที่ y คือ correction และ U คือ expanded uncertainty ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ซึ่งเรียงตามลำดับตัวอย่าง RTD1, RTD2 และ RTD3

- ที่อุณหภูมิ -30°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $0.0014 \pm 0.057^{\circ}\text{C}$, $(-0.0091) \pm 0.059^{\circ}\text{C}$ และ $(-0.0048) \pm 0.059^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ 0°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $0.0069 \pm 0.059^{\circ}\text{C}$, $0.0789 \pm 0.060^{\circ}\text{C}$ และ $0.0364 \pm 0.060^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $0.0143 \pm 0.054^{\circ}\text{C}$, $(-0.0272) \pm 0.054^{\circ}\text{C}$ และ $(-0.0779) \pm 0.056^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ 65°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $0.0000 \pm 0.055^{\circ}\text{C}$, $(-0.0795) \pm 0.059^{\circ}\text{C}$ และ $(-0.0665) \pm 0.059^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ 100°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $0.0084 \pm 0.058^{\circ}\text{C}$, $(-0.0542) \pm 0.059^{\circ}\text{C}$ และ $(-0.0774) \pm 0.061^{\circ}\text{C}$

ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ในการสอบเทียบ DT with RTD ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C เท่ากับ 0.061°C

ในการศึกษา ค่าแก้ และค่าความไม่แน่นอน ผ่านการทวนสอบ DT with RTD1 ตามมาตรฐาน ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด และ ค่าความไม่แน่นอน กับค่า MPE หรือค่า tolerance ตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) พบว่า RTD1, RTD2 และ RTD3 ทั้ง 3 เครื่อง ที่จุดอุณหภูมิ -30°C , 0°C , 25°C , 65°C และ 100°C ให้ผลผ่านเกณฑ์การทวนสอบ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่าแก้ในการใช้วัดอุณหภูมิที่จุดอุณหภูมิดังกล่าว แต่ถ้าต้องการความแม่นยำสูงก็สามารถนำค่าแก้ไปใช้ได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับค่า MPE หรือค่า tolerance ของ RTD ที่มีค่าต่ำที่สุดตามมาตรฐาน IEC 60751 (2008) ของเครื่องมือใน สตส. เท่ากับ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ (ที่จุดอุณหภูมิ 0°C) ปรากฏว่า ค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ต่ำกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance 2.5 เท่า ดังนั้นจึงสามารถให้บริการสอบเทียบ DT with RTD ของ สตส.ได้ และเมื่อค่า CMC ไปเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นของประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ DT with RTD ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 100°C จาก สมอ. ปี 2564 (ข้อมูลวันที่ 19 มีนาคม 2564) จะจัดอยู่ในระดับที่ 17 จาก 45 ห้องปฏิบัติการ

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าการเลื่อนค่า (drift of standard) และค่า uncertainty of standard เป็นแหล่งค่าความไม่แน่นอนที่มีค่าสูงที่สุด ที่มีผลต่อค่า expanded uncertainty ดังนั้นหากต้องการลดค่า drift of standard ห้องปฏิบัติการควรจัดหาเครื่องมือมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงและมีค่าการเลื่อนค่าที่ต่ำกว่านี้มาใช้งาน และหากมีงบประมาณเพียงพออาจพิจารณาการส่งเครื่องมือมาตรฐานไปสอบเทียบแบบ direct comparison ซึ่งจะสามารถลดค่า uncertainty of standard ของการสอบเทียบให้ต่ำลง ส่งผลให้ค่า expanded uncertainty ต่ำลง เพราะอาจทำให้ได้ค่า CMC ที่ต่ำลงด้วย เนื่องจากค่า CMC นั้น จะถูกแสดงอยู่ในใบรับรองที่ทาง สมอ. รับรองให้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ หากมีค่า CMC ที่ต่ำในขอบข่ายการรับรองนั้น จะเป็นข้อได้เปรียบทางการค้าสำหรับการให้บริการสอบเทียบ เนื่องจากบ่งบอกถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการ และเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการเลือกใช้บริการห้องปฏิบัติการสอบเทียบของลูกค้า และในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ตัวอย่าง DT with RTD ที่มีค่าความละเอียด $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นหากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบมีค่าความละเอียดที่มีค่าต่ำกว่านี้ อาจได้ค่าความไม่แน่นอนที่สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ น.สพ.เลิศชัย จินตพิทักษ์สกุล ผู้อำนวยการสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ และ ส.พญ.ดร.พัชรี ทองคำคุณ ผู้อำนวยการสถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ (อดีตผู้อำนวยการสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์) ที่ให้โอกาสและการสนับสนุนในการศึกษาทดลอง

ขอขอบคุณ น.สพ.สมชาย วงศ์สมุทร ผู้เชี่ยวชาญด้านตรวจสอบคุณภาพน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม คุณวิภาดา สิริสมภพชัย รักษาการผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์คุณภาพสินค้าปศุสัตว์ คุณกัญญา สิงห์วัฒน์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดร.อ้อยใจ อ่องหรั่ง และ ดร.จริยา บัวเจริญ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาในการทำการศึกษาดทดลอง

ขอขอบคุณ น.สพ.ชัยวุฒิ วิสุทธิ น.สพ.สิริพงศ์ สุขถาวรเจริญพร และคณะกรรมการวิชาการ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในการทำการศึกษาดทดลอง

ขอขอบคุณบุคลากรงานสอบเทียบเครื่องมือสาขาอุณหภูมิ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการในความร่วมมือปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- นวภัทรา และ ทวีพล. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Measurement and Instrumentation). First edition. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2562. ข้อเสนอแนะประกอบ การตรวจประเมิน ตาม มอก.17025-2561 (GLA-23). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2564. ข้อเสนอแนะการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (GLA-26). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- ASTM. 2019. Standard test methods for testing industrial resistance thermometers ASTM E644-11. ASTM International. United States.
- BIPM. 2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition. JCGM 200:2012. The International Bureau of Weights and Measures. France.
- EURAMET. 2011. Guidelines on the calibration of temperature indicators and simulators by electrical simulation and measurement (EURAMET/cg-11/v.02). The European Association of National Metrology Institutes. Germany
- IEC. 2008. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors IEC 60751. 2nd edition. International Electrotechnical Commission. Switzerland.
- ILAC. 2013. ILAC policy for uncertainty in calibration ILAC-P14:01. International Laboratory Accreditation Cooperation. Australia.
- ISO. 2003. Measurement management systems-Requirements for measurement processes and measuring equipment ISO 10012:2003. First edition. The International Organization for Standardization. Switzerland.
- ISO. 2017. International Standard, Geometrical product specifications (GPS)-inspection by measurement of workpieces and measuring instruments-Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specification ISO 14253-1(2017). The International Organization for Standardization. Switzerland.
- NIMT. 2012. Calibration of digital thermometer with temperature sensor (TM/CG01/TT01/V04). First edition. Thermometry Metrology Department, National Institute of Metrology. Thailand.
- OIML. 2003. Platinum, copper, and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use) OIML R 84. The International Organization of Legal Metrology (OIML). France.
- TUTCO HEATING SOLUTIONS GROUP. RTDs.[Image]. 2521, March 24. Retrieved from http://www.tutco.com/temperature_sensors/rtds.php.
- UKAS. 2019. THE expression of uncertainty and confidence in measurement M3003. 4th edition, United Kingdom Accreditation Service. United Kingdom.

ภาคผนวก

ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ

1. ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ จากอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ

1.1 ค่าความเสถียรภาพของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (stability)

ตารางที่ 11 ค่า stability ที่อุณหภูมิ -30 °C

Stability at -30 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	-29.9994	-30.0035	-29.9979	-30.0042	-30.0007	-29.9993	-30.0045	-30.0132	-30.0085	-30.0017	-30.0040	-30.0031	-30.0060	-30.0112	-30.0129
Minnimum	-30.0252	-30.0193	-30.0234	-30.0268	-30.0224	-30.0214	-30.0179	-30.0188	-30.0263	-30.0210	-30.0250	-30.0270	-30.0258	-30.0259	-30.0191
Stability	0.0129	0.0079	0.0128	0.0113	0.0109	0.0111	0.0067	0.0028	0.0089	0.0097	0.0105	0.0120	0.0099	0.0074	0.0031
Max of Stability	0.0129														

ตารางที่ 12 ค่า stability ที่อุณหภูมิ 0 °C

Stability at 0 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	0.0088	0.0051	0.0050	0.0096	0.0050	0.0096	0.0075	0.0065	0.0092	0.0056	0.0088	0.0058	0.0069	0.0095	0.0058
Minnimum	-0.0030	0.0007	-0.0012	0.0007	-0.0012	-0.0008	0.0026	-0.0005	0.0048	-0.0007	-0.0010	0.0015	-0.0024	0.0039	-0.0019
Stability	0.0059	0.0022	0.0031	0.0045	0.0031	0.0052	0.0025	0.0035	0.0022	0.0032	0.0049	0.0022	0.0047	0.0028	0.0039
Max of Stability	0.0059														

ตารางที่ 13 ค่า stability ที่อุณหภูมิ 25 °C

Stability at 25 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	25.0153	25.0085	25.0106	25.0074	25.0041	25.0124	25.0075	25.0055	25.0158	25.0026	25.0022	25.0025	25.0012	25.0016	25.0035
Minnimum	25.0027	25.0029	25.0030	25.0040	25.0024	24.9899	24.9993	24.9945	24.9958	24.9934	24.9925	24.9938	24.9934	24.9989	24.9943
Stability	0.0063	0.0028	0.0038	0.0017	0.0009	0.0113	0.0041	0.0055	0.0100	0.0046	0.0049	0.0044	0.0039	0.0014	0.0046
Max of Stability	0.0113														

ตารางที่ 14 ค่า stability ที่อุณหภูมิ 65 °C

Stability at 65 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	65.0174	65.0019	65.0023	65.0115	65.0060	65.0064	65.0064	65.0068	65.0046	65.0035	65.0066	65.0035	65.0040	65.0009	65.0062
Minnimum	65.0006	65.0002	65.0003	65.0055	65.0006	64.9997	65.0001	65.0005	64.9994	65.0003	64.9943	65.0003	65.0005	64.9971	65.0004
Stability	0.0084	0.0009	0.0010	0.0030	0.0027	0.0034	0.0032	0.0032	0.0026	0.0016	0.0062	0.0016	0.0018	0.0019	0.0029
Max of Stability	0.0084														

ตารางที่ 15 ค่า stability ที่อุณหภูมิ 100 °C

Stability at 100 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	100.0263	100.0097	100.0139	100.0118	100.0086	100.0151	100.0143	100.0179	100.0139	100.0176	100.0265	100.0264	100.0266	100.0093	100.0263
Minnimum	100.0002	100.0038	100.0000	100.0049	100.0035	100.0000	100.0043	99.9985	100.0023	100.0003	100.0003	100.0114	100.0085	100.0009	100.0094
Stability	0.0131	0.0030	0.0070	0.0035	0.0026	0.0076	0.0050	0.0097	0.0058	0.0087	0.0131	0.0075	0.0091	0.0042	0.0085
Max of Stability	0.0131														

1.2 ค่าความเป็นหนึ่งเดียวกันของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (uniformity)

ตารางที่ 16 ค่า uniformity ที่อุณหภูมิ -30 °C และ 0 °C

Uniformity at -30 °C								Uniformity at 0 °C						
จุดที่	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ12	6 กับ14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ 11	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ 12	6 กับ 14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ11
Average	0.0144	0.0174	0.0059	0.0041	0.0132	0.0167	0.0109	0.0073	0.0056	0.0023	0.0050	0.0045	0.0043	0.0053
SD	0.0068	0.0033	0.0050	0.0052	0.0029	0.0039	0.0044	0.0022	0.0007	0.0008	0.0007	0.0020	0.0010	0.0015
Maximum	0.0222	0.0223	0.0182	0.0144	0.0187	0.0221	0.0183	0.0149	0.0070	0.0036	0.0063	0.0070	0.0057	0.0077
Max of Uniformity	0.0223							0.0149						

ตารางที่ 17 ค่า uniformity ที่อุณหภูมิ 25 °C และ 65 °C

จุดที่	Uniformity at 25 °C							Uniformity at 65 °C						
	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ 12	6 กับ 14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ 11	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ 12	6 กับ 14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ 11
Average	0.0036	0.0017	0.0021	0.0019	0.0036	0.0016	0.0026	0.0046	0.0130	0.0013	0.0031	0.0054	0.0120	0.0122
SD	0.0035	0.0019	0.0021	0.0017	0.0016	0.0018	0.0010	0.0000	0.0033	0.0011	0.0017	0.0020	0.0041	0.0044
Maximum	0.0130	0.0072	0.0059	0.0056	0.0076	0.0058	0.0039	0.0046	0.0187	0.0035	0.0063	0.0094	0.0161	0.0189
Max of Uniformity	0.0130							0.0189						

ตารางที่ 18 ค่า uniformity ที่อุณหภูมิ 100 °C

จุดที่	Uniformity at 100 °C						
	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ 12	6 กับ 14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ 11
Average	0.0182	0.0198	0.0208	0.0218	0.0134	0.0226	0.0198
SD	0.0017	0.0032	0.0019	0.0016	0.0043	0.0020	0.0017
Maximum	0.0206	0.0252	0.0243	0.0240	0.0219	0.0254	0.0222
Max of Uniformity	0.0254						

2. ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ จากเครื่องมือมาตรฐาน (standard thermometer), DT with PRT_{cal}

2.1 ค่าการเลื่อนค่าของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (drift of standard)

drift of standard = specification of DT with $PRT_{cal} = (\pm) 0.030\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.2 ค่าความละเอียดของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (resolution of standard)

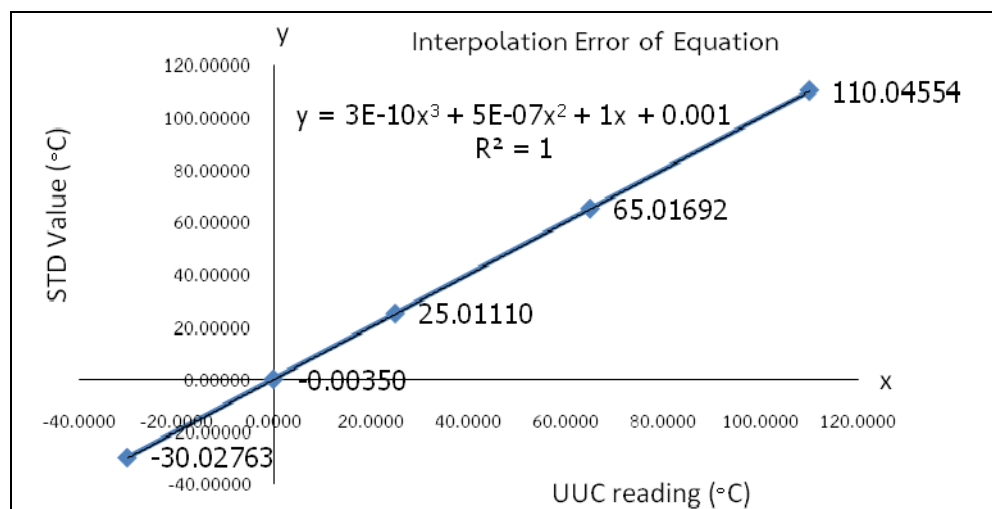
resolution of standard = $0.0001/2 = 0.00005\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.3 ค่าความผิดพลาดจากสมการในการคำนวณค่าแก้ (interpolation error of equation)

ตารางที่ 20 ค่า Interpolation error of equation

*STD Value (°C) (แกน y)	*UUC Value (°C) (แกน x)	*Correction (°C) (แกน y – แกน x)	UUC Fitting (°C) (y Fitting)	Interpolation error of equation (°C) (y Fitting – แกน y)
-30.02763	-30.0311	0.0035	-30.0297	0.0021
-0.00350	-0.0048	0.0013	-0.0038	0.0003
25.01110	25.0095	0.0016	25.0108	0.0003
65.01692	65.0158	0.0011	65.0190	0.0021
110.04554	110.0418	0.0037	110.0493	0.0038

* เป็นข้อมูลที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} Cer No. PSL-T 667/63 วันที่สอบเทียบ 27 เมษายน 2563 โดย TISTR



หมายเหตุ	
STD Value :	แกน y คือ ค่าอุณหภูมิของ Reference standard จากใบรับรองผลการสอบเทียบ
UUC Reading :	แกน x คือ ค่าอุณหภูมิของ Sensor จากใบรับรองผลการสอบเทียบ
UUC Reading Fitting :	ค่าอุณหภูมิของ Sensor ที่ได้จากการแทนค่าในสมการเชิงเส้น
Interpolation Error of Equation	ค่าการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นของ Sensor จากทุกช่วงอุณหภูมิ ที่สอบเทียบ คำนวณได้จาก y Fitting - แกน y

รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า interpolation error of equation

2.4 ค่าความไม่แน่นอนจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน DT with PRT_{cal}

ตารางที่ 21 ค่า Uncertainty of standard

*STD Value (°C)	*UUC Value (°C)	*Correction (°C)	*Uncertainty (°C)
-30.02763	-30.0311	0.0035	0.030
-0.00350	-0.0048	0.0013	0.030
25.01110	25.0095	0.0016	0.030
65.01692	65.0158	0.0011	0.030
110.04554	110.0418	0.0037	0.030

* เป็นข้อมูลที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} Cer No. PSL-T 667/63 วันที่สอบเทียบ 27 เมษายน 2563 โดย TISTR

3. ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ จากตัวอย่างสอบเทียบ RTD1, RTD2 และ RTD3

3.1 ค่าความสามารถในการอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ (resolution of TUC)

$$\text{resolution of TUC} = 0.01/2 = 0.005$$

3.2 ค่าความเสถียรของเครื่องมือในเวลาสั้นๆ (short term stability)

ตารางที่ 22 ค่า short term stability ของ RTD1, RTD2 และ RTD3

	DT with RTD1 (ID NO. LIG_32 (ch2))				DT with RTD2 (ID NO. LIG_33 (ch1))				DT with RTD3 (ID NO. LIG_34 (ch2))			
	Temp ครั้งแรก (°C)		Temp ครั้งหลัง(°C)		Temp ครั้งแรก (°C)		Temp ครั้งหลัง(°C)		Temp ครั้งแรก (°C)		Temp ครั้งหลัง(°C)	
	STD	UUC	STD	UUC	STD	UUC	STD	UUC	STD	UUC	STD	UUC
Average	-29.9786	-29.98	-29.9921	-29.99	-30.0091	-30.00	-30.0105	-30.01	-29.9948	-29.99	-29.9511	-29.96
Correction		0.0002		-0.0021		-0.0091		-0.0005		-0.0048		0.0089
Short term Stability				0.0023				-0.0086				-0.0137