

การศึกษาผลการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วแบบจุ่มแช่ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน

นายเอกสิทธิ์ ตุ่มสิทธิ์¹ นายอนุเบศ เนินทอง² นายนริศ สำเร็จผล¹

บทคัดย่อ

การศึกษาผลการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วแบบจุ่มแช่ทั้งหมด (LIGT-total immersion) ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ตาม Guidelines of calibration of liquid in glass thermometer เลขที่ TM/CG02/TT01/V03 โดยใช้ digital thermometer with PRT 25 ohms เป็นเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ใช้อ่างสอบเทียบอุณหภูมิ ที่บรรจุน้ำมันซิลิโคนเป็นแหล่งสร้างอุณหภูมิ และเลือกใช้ LIGT-total immersion ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิที่ -38°C ถึง 2°C มีค่าความละเอียดที่ 0.1°C รุ่น ASTM 62C-86 จำนวน 3 แท่ง ดังนี้ S/N: 9714075 (LIGT1), S/N: 0678290 (LIG2) และ S/N: 8005-1528 (LIG3) เป็นตัวอย่างสอบเทียบในการศึกษาครั้งนี้ โดยทำการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่จุดอุณหภูมิ -30°C , -15°C และ 0°C ได้ผลการสอบเทียบ คือ ค่าแก้ค่าความไม่แน่นอนขยาย ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% โดยเรียงตามลำดับตัวอย่างดังนี้ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ที่อุณหภูมิ -30°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $(-0.0357)\pm 0.082^{\circ}\text{C}$, $(-0.0417)\pm 0.082^{\circ}\text{C}$ และ $0.0389\pm 0.085^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ -15°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $(-0.0275)\pm 0.082^{\circ}\text{C}$, $(-0.0319)\pm 0.082^{\circ}\text{C}$ และ $0.0185\pm 0.083^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 0°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $(-0.0148)\pm 0.078^{\circ}\text{C}$, $(-0.0189)\pm 0.078^{\circ}\text{C}$ และ $0.0175\pm 0.079^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C เท่ากับ 0.085°C และเมื่อทำการทวนสอบผลการสอบเทียบตาม ISO 14253-1 (2017) พบว่า ที่อุณหภูมิ -30°C และ -15°C ให้ผลไม่ผ่านเกณฑ์การทวนสอบ จึงต้องใช้ค่าแก้ในผลการวัดเมื่อนำไปใช้วัดที่จุดอุณหภูมิ -30°C และ -15°C แต่สำหรับจุดอุณหภูมิ 0°C ให้ผลผ่านการทวนสอบ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่าแก้เมื่อนำไปใช้วัดอุณหภูมิที่ 0°C จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า CMC มีค่าต่ำกว่า 1.2 เท่าของค่า MPE ที่ต่ำที่สุด หรือค่า tolerance ที่ต่ำที่สุด ตามมาตรฐาน ASTM E1-03a ดังนั้นจึงมีความสามารถให้บริการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่ช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C ได้นอกจากนี้เมื่อนำค่า CMC มาเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C จาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จะถูกจัดอยู่ในลำดับที่ 10 จาก 16 ห้องปฏิบัติการ โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษา ค่าแก้ค่าความไม่แน่นอน และค่า CMC ได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และสามารถใช้อาคารรับรอง ISO/IEC 17025 กับ สมอ. ได้

คำสำคัญ : สอบเทียบ, เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วแบบจุ่มแช่ทั้งหมด, อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C

เลขทะเบียนวิชาการ : 64(2)-0404-090

¹ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

² กลุ่มตรวจสอบคุณภาพยาสัตว์และวัตถุอันตรายด้านการปศุสัตว์ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์

91 หมู่ 4 ถนนติวานนท์ ตำบลบางกะดี อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

Study of the calibration results of the total immersion liquid in glass thermometers from -30 °C to 0 °C by comparison standard thermometer method

Aekasit Tumsit¹ Naruebeth Noentong² Naris Sumrejpul¹

Abstract

Study of the calibration results of the total immersion liquid in glass thermometers (LIGT-total immersion) from -30 °C to 0 °C was conducted by comparison method with standard thermometer according to Guideline of calibration of liquid in glass thermometer, guideline no. is TM/CG02/TT01/V03. The digital thermometer with 25 ohms PRT and silicone oil within calibration bath were used as standard thermometer and temperature source, respectively. Three bars of LIGT-total immersion, ASTM 62C-86 model with -38 °C to 2 °C range and 0.1 °C resolution, included, LIGT1 (S/N: 9714075), LIGT2 (S/ N: 0678290) and LIGT3 (S/N: 8005-1528) were selected in this study. All samples were calibrated at -30 °C, -15 °C and 0 °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, LIGT1, LIGT2 and LIGT3 were $(-0.0357) \pm 0.082$ °C, $(-0.0417) \pm 0.082$ °C and 0.0389 ± 0.085 °C, respectively, at -15 °C were $(-0.0275) \pm 0.082$ °C, $(-0.0319) \pm 0.082$ °C and 0.0185 ± 0.083 °C, respectively and at 0 °C were $(-0.0148) \pm 0.078$ °C, $(-0.0189) \pm 0.078$ °C and 0.0175 ± 0.079 °C, respectively.

Therefore, the CMC value in this study, which covers the temperature range -30 °C to 0 °C, was 0.085 °C. All calibration results were verified according to ISO 14253-1 (2017), the study found that at -30 °C and -15 °C, that calibration results failed to meet the verification criteria. Therefore, the correction value have to add when use at that temperature point. On the other hand, at 0 °C, the calibration results passed the verification criteria thus the correction value is unnecessary at 0 °C temperature point. This CMC value was compared with the lowest of MPE or the lowest tolerance of LIGT-total immersion. This study found that the CMC value had 1.2 times lower than the lowest of MPE or the lowest tolerance of LIGT-total immersion according to ASTM E1-03a, indicated the capability to calibrate LIGT- total immersion from -30 °C to 0 °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 10th out of 16th 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, liquid in glass thermometers (total immersion), temperature at -30 °C to 0 °C

Registered No. : 64(2)-0404-090

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

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว (Liquid in glass thermometer; LIGT) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล ด้วยหลักการขยายตัวหรือหดตัวของของเหลว เมื่อของเหลวได้รับความร้อน อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นของเหลวจะขยายตัว และหดตัวลงเมื่ออุณหภูมิของเหลวลดลง

ส่วนประกอบของ LIGT ประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระเปาะสำหรับบรรจุของเหลว (bulb) ก้านแก้ว (stem) หรือ ท่อทางเดินของเหลว (capillary) และ ขีดวัดอุณหภูมิ (scale) ซึ่งแบ่งเป็น ขีดวัดอุณหภูมิหลัก (main scale) และขีดวัดอุณหภูมิสำหรับอ่านอุณหภูมิอ้างอิง (auxiliary scale) แล้วยังมีห้องรองรับของเหลว 2 ชนิด ได้แก่ ห้องหดตัว (contraction chamber) อยู่ด้านล่างของขีดวัดอุณหภูมิหลัก มีจุดประสงค์เพื่อลดความยาวของเทอร์โมมิเตอร์ และ ห้องขยายตัว (expansion chamber) อยู่บริเวณส่วนท้ายของเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อป้องกันแรงดันของเหลวไหลขึ้นไปด้านบนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (KNAKE, 2011) ตามรูปที่ 1

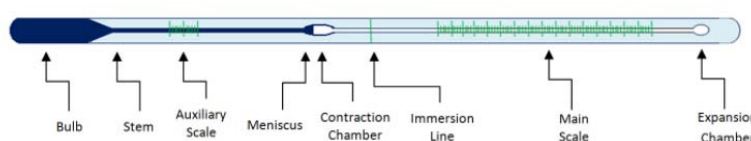


Figure 1: Anatomy of a LIG Thermometer

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว (KNAKE, 2011)

ของเหลวที่นิยมบรรจุภายใน LIGT ได้แก่ โปรท โปรท-แทลเลียมยูเทคติกอัลลอย โทลูอิน หรือของเหลวอื่นๆ ที่ย้อมด้วยสีแดง (ASTM, 2003) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วแบบโปรทสามารถใช้ได้ในช่วง -38°C ถึง 450°C เนื่องจากโปรทมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูง ส่วน LIGT ที่บรรจุแทลเลียม/โลหะผสมโปรท สามารถวัดได้ถึง -50°C แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า -38°C สามารถวัดได้โดยใช้ LIGT ที่บรรจุแอลกอฮอล์หรือโทลูอินซึ่งครอบคลุมช่วง -80°C ถึง 75°C และ -80°C ถึง 110°C (NATA, 2019)

LIGT แบบจุ่มแช่ทั้งหมด (total immersion) ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM E1-03a ใช้วัดอุณหภูมิในช่วง -38°C ถึง 405°C ซึ่งห้องปฏิบัติการของสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิในงานต่างๆ เช่น ใช้เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิอ้างอิงของน้ำในการสอบเทียบเครื่องแก้วและอุปกรณ์วัดปริมาตร ใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิงในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ใช้ตรวจสอบเครื่องมือในการทำ ice point และใช้อ้างอิงในการตรวจสอบหาค่า temperature coefficient of standard ในกระบวนการสอบเทียบตู้ควบคุมอุณหภูมิ ใช้ในการวัดอุณหภูมิในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เช่น ตู้เพาะเชื้อ ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งห้องปฏิบัติการทดสอบที่ใช้ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำสำหรับเก็บสารเคมี มาตรฐาน หรือ ตัวอย่างทดสอบ เช่น ที่ช่วงอุณหภูมิ -5°C ถึง -30°C มีการใช้ LIGT ในการเผื่อระวังอุณหภูมิของตู้แช่แข็งเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสารเคมีหรือมาตรฐานที่เก็บรักษาก่อนนำมาใช้งาน

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว เป็นอุปกรณ์ที่ต้องได้รับการสอบเทียบ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าค่าการวัดที่ถูกต้องและสามารถสอบย้อนกลับไปยังหน่วยระหว่างประเทศได้ การสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว ทำได้โดยวิธีเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ที่มีความสามารถในการวัดดีกว่า 3-10 เท่าของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วตามข้อกำหนดใน ISO 10012: 2003 ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ digital thermometer with Platinum Resistance Thermometer (DT with PRT) หรือ resistance temperature detector (RTD) เป็นเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบ LIGT และแหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่ใช้สอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว นิยมใช้อ่างที่มีของเหลวเป็นตัวกลาง (liquid bath) และมีความลึกเหมาะสมสอดคล้องกับเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (NIMT, 2012³) ของเหลวที่เป็นตัวกลาง เช่น แอลกอฮอล์จะนำมาใช้ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C ส่วนช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 0°C แต่ไม่เกิน 100°C จะใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลางและช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 100°C จะใช้น้ำมันซิลิโคน

(silicone oil) เป็นตัวกลาง ซึ่งน้ำมันซิลิโคนบางชนิดสามารถใช้เป็นตัวกลางได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ -80°C ถึง 250°C (NIMT, 2012^b)

วิธีการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว ทำได้โดยการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน โดยสามารถอ้างอิงวิธีได้หลายวิธี ได้แก่

วิธี Standard test method for inspection and verification of thermometers (ASTM E77-14) เป็นวิธีการตรวจสอบลักษณะภายนอกและขนาด ทดสอบความคงทนของสี ทดสอบเสถียรภาพของกระเปาะ และ ทดสอบความถูกต้องของสเกล ที่ใช้ในการทวนสอบ LIGT ซึ่งได้กำหนดไว้ในข้อกำหนด ASTM E1 และ ASTM E2251อย่างใดก็ตามวิธีการเหล่านี้ก็สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วแบบต่างๆได้ ซึ่งในมาตรฐานนี้ได้แบ่งลักษณะการจุ่ม เป็น 3 กลุ่ม คือ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดจุ่มแช่แบบสมบูรณ์ (LIGT-complete immersion) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดจุ่มแช่บางส่วน (LIGT-partial immersion) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดจุ่มแช่ทั้งหมด (LIGT-total immersion) แต่ LIGT-complete immersion นั้น ไม่ได้กำหนดไว้ในเอกสารของ ASTM ดังนั้นตามมาตรฐานนี้ จึงกำหนดไว้เป็น 2 กลุ่ม คือ LIGT-total immersion, LIGT-partial immersion และ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดจุ่มแช่บางส่วนแบบพิเศษ (LIGT- special use partial-immersion) ซึ่งจะมีการระบุค่าของอุณหภูมิของ emergent mercury column หรือ stem (ASTM, 2017)

วิธี Guideline of calibration of liquid in glass thermometer (TM/CG02/TT01/V03) ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ นั้น เป็นแนวทางสำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -80°C ถึง 400°C ซึ่งสามารถทำได้ 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะการจุ่ม คือ การสอบเทียบ LIGT-total immersion และ การสอบเทียบ LIGT-partial immersion ซึ่งการจุ่มทั้งสองแบบมีกระบวนการสอบเทียบที่ต่างกันตามลักษณะการจุ่มของตัวเทอร์โมมิเตอร์เอง ความแตกต่างในการจุ่มของเทอร์โมมิเตอร์นั้น เกิดจากการออกแบบเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำเทอร์โมมิเตอร์ไปใช้งาน ซึ่ง LIGT-total immersion จะเหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิในภาชนะที่มีความลึกเหมาะสมและสอดคล้องกับอุณหภูมิที่ทำการวัด ส่วน LIGT-partial immersion จะเหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิในภาชนะที่มีความลึกจำกัด แต่ต้องมีวิธีการแก้ค่าขณะนำไปใช้งาน ซึ่ง LIGT-total immersion จะให้ค่าการวัดที่ถูกต้องสูงกว่าการสอบเทียบ LIGT-partial immersion (NIMT, 2012^c)

และวิธี Liquid in glass thermometer calibration service (NIST SP250-23 (1998) เป็นมาตรฐานสำหรับให้บริการการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิที่ครอบคลุมช่วง -196°C ถึง 538°C ส่วนใหญ่เป็น LIGT แต่มีการสอบเทียบ เครื่องวัดอุณหภูมิประเภทอื่นด้วย เช่น thermistors, industrial platinum resistance thermometers, thermocouples and digital thermometer systems เทอร์โมมิเตอร์ของลูกค้าจะถูกสอบเทียบในอ่างควบคุมอุณหภูมิคงที่ ตามข้อกำหนดของ National Bureau of Standards Publications (NBS) ซึ่งลูกค้าจะได้รับรายงานการสอบเทียบซึ่งประกอบด้วยผลการสอบเทียบและอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมมิเตอร์ และค่าความไม่แน่นอนสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วที่แม่นยำที่สุด (WISE, 1988)

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือสาขาอุณหภูมิ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ (สตส.) เป็นห้องปฏิบัติการที่ให้การสนับสนุนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิของ สตส. จึงได้ทำการศึกษาค่าแก้ (correction) ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และค่าขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด (Calibration and Measurement Capability; CMC) ในการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C โดยวิธีการเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (comparison method) ตาม Guideline of calibration of liquid in glass thermometer (TM/CG02/TT01/V03). ซึ่งเป็นวิธีที่ สตส. ได้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญประจำปี 2019 กับ ศูนย์บริหารจัดการทดสอบความชำนาญ กรมวิทยาศาสตร์บริการ และได้ผลที่น่าพึงพอใจ (satisfactory) โดยมีค่า $|E_n|$ ratio < 1.0 .ทุกช่วงการสอบเทียบ โดยทำการศึกษาผลการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิ -30°C , -15°C และ 0°C ซึ่งเป็นจุดอุณหภูมิต่ำ กลาง และสูง ครอบคลุมค่าความไม่แน่นอนในช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C ซึ่งผลการสอบเทียบ ได้แก่ ค่าแก้ และ ค่าความไม่แน่นอน จะถูกนำมาศึกษาผ่านการทวนสอบตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด (error) และ uncertainty กับค่า

maximum permissible errors (MPE) หรือ tolerance ของ LIGT-total immersion ตาม ASTM E1-03a (2003) เพื่อประเมินเครื่องมือว่าผ่านเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ และจำเป็นต้องใช้ค่าแก้ไขในการวัดอุณหภูมิหรือไม่ และเลือกค่า CMC 1 ค่า จากค่าความไม่แน่นอนขยายที่ครอบคลุมช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C ตามข้อกำหนดของ ILAC (2013) มาเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือ ค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดของเครื่องมือใน สตส. ที่สำรวจในปี 2564 เพื่อพิจารณาความสามารถในการให้บริการสอบเทียบ LIGT-total immersion ของ สตส. และทำการเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา กับค่า CMC ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบอื่นในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ LIGT-total immersion ช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C กับ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เพื่อดูลำดับความสามารถในการให้บริการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เนื่องจากค่า CMC มีความสำคัญที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแสดงสำหรับการขอรับรอง ISO/IEC 17025 จาก สมอ. เพราะเป็นการแสดงความสามารถในการวัดของห้องปฏิบัติการในขอบข่ายที่ขอการรับรองและเป็นประโยชน์นำไปใช้พิจารณาเลือกห้องปฏิบัติการสำหรับสอบเทียบ LIGT-total immersion 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 แท่ง ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 5628-15-S S/N : 3540 (PRT_{cal})

1.1.2 PRT sensor 100 ohms จำนวน 2 แท่ง 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% ethanol สำหรับเช็ดทำความสะอาดเครื่องมือ

3. ตัวอย่างที่ศึกษา

LIGT-total immersion จำนวน 3 แท่ง ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิที่ -38°C ถึง 2°C และมีความละเอียด 0.1°C รุ่น ASTM 62C-86 ประกอบด้วย S/N: 9714075 (LIGT1), S/N: 0678290 (LIGT2) และ S/N: 8005-1528 (LIGT3)

4. วิธีศึกษา

4.1 ดำเนินการสอบเทียบ

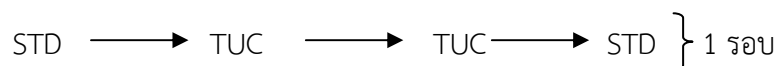
นำ LIGT-total immersion ที่กำหนดให้เป็น Thermometer Under Calibration (TUC) มาปรับสภาพในห้องสอบเทียบเป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมงก่อนทำการสอบเทียบ โดยเสียบ LIGT-total immersion ไว้บน

stand base และใช้ clamp จับยึดไว้ในแนวตั้งฉากกับพื้น เมื่อครบเวลาดำเนินการทำความสะอาด หัววัดอุณหภูมิ PRT_{cal} และตัวอย่าง LIGT1 ด้วย 95% ethanol ก่อนดำเนินการสอบเทียบ ต่อหัววัดอุณหภูมิ PRT_{cal} เข้ากับเครื่อง DT และจุ่มลงในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ โดยมีระยะจุ่มไม่น้อยกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของ PRT_{cal} และใช้ clamp จับยึด PRT_{cal} โดยกำหนดให้ DT with PRT_{cal} เป็น Standard Thermometer (STD) ในการศึกษารั้งนี้ทำการจุ่มหัววัดอุณหภูมิ ชนิด PRT_{cal} ที่ 120 มิลลิเมตร จากนั้นจุ่ม LIGT1 ตามการจุ่มแบบ total immersion ให้ใกล้กับหัววัดอุณหภูมิ PRT_{cal} มากที่สุด ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจุ่มเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน และเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้วที่นำมาสอบเทียบในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ

และตั้งค่าอุณหภูมิอ่างสอบเทียบให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการโดยเริ่มสอบเทียบจากอุณหภูมิ -30°C รอจนอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะสมดุล ทำการอ่านและบันทึกอุณหภูมิของ STD และ TUC ดังนี้

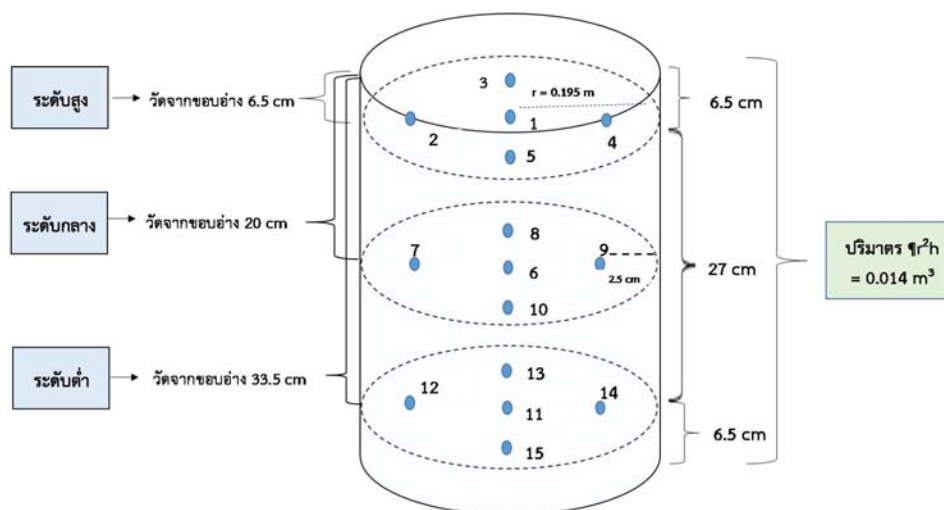


นับการอ่านเป็น 1 รอบ ทำการอ่านอุณหภูมิซ้ำอีก 4 รอบ โดยเว้นระยะห่างในแต่ละรอบ 30 วินาที เมื่อครบ 5 รอบ ให้ทำการสอบเทียบที่อุณหภูมิ -15°C , 0°C และทำการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิ -30°C อีกครั้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลหาค่า short term stability ในการสอบเทียบในแต่ละจุดอุณหภูมิจะได้จำนวนค่าการวัดของ STD จำนวน 10 ค่า และค่าการวัดของ TUC จำนวน 10 ค่า เมื่อสอบเทียบ LIGT1 เรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสอบเทียบ LIGT2 และ LIGT3 เช่นเดียวกัน

4.2 ดำเนินการหาค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งต่างๆสำหรับการสอบเทียบ (source of 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 3 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 3 การกำหนดจุดวัดอุณหภูมิภายใน Bath

4.2.1.1 หาค่า instability of bath; u_{sta} โดยหาจากค่า 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 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ 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 , -15°C และ 0°C รอจนอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ เข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจึงอ่านอุณหภูมิที่หน้าจอเครื่อง DT และเก็บข้อมูลที่ระดับสูง ตำแหน่งละ 3 ชั่วโมง 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.)	จุดที่วัดอุณหภูมิ ของ 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} โดยหาจากค่า uniformity

ทำการวัดโดยใช้ DT with PRT1 และ PRT2 100 ohms จุ่มลงใน silicone oil ตรงจุดที่กำหนด ตามตารางที่ 2 โดยจุ่มในลักษณะตั้งตรง และทำการวัดที่อุณหภูมิ -30°C , -15°C และ 0°C รอจนอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจึงอ่านอุณหภูมิที่หน้าจอเครื่อง DT โดยทำการวัดตามตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่ 1 ถึง 7 ตำแหน่งละ 3 ชั่วโมง 5 รอบ บันทึกผลค่าการวัดเพื่อนำไปคำนวณค่า uniformity ตามสูตรดังนี้

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

ตารางที่ 2 การกำหนดจุดวัดอุณหภูมิภายในอ่างสอบเทียบ สำหรับหาค่า uniformity

ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่	จุดที่วัดอุณหภูมิ ของ 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 หาได้จากค่า 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 หาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (non linearity; u_{nl})

นำผลการสอบเทียบ จากใบรับรองการสอบเทียบของ DT with PRT_{cal} มาใช้คำนวณหาค่า non linearity โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า STD value และ ค่า UUC reading ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ในโปรแกรม Microsoft Excel และใช้สมการ Polynomial equation จากเส้นกราฟมาหาค่า UUC fitting และหาค่า non linearity จาก $|UUC \text{ fitting} - STD \text{ value}|$

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

นำค่า uncertainty จากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} ที่จุดอุณหภูมิ -30 °C และ 0 °C มาใช้คำนวณหาค่า uncertainty of standard สำหรับที่อุณหภูมิ -15 °C ใช้ค่า uncertainty ที่สูงที่สุดของช่วงการวัดที่ครอบคลุมอุณหภูมิ -15 °C

4.2.2.5 หาค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำได้ 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 หาค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากความสามารถในการอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ (readability of TUC; $u_{\text{res_TUC}}$)

$$\text{readability of TUC} = \frac{\text{resolution ของ TUC}}{2}$$

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

นำข้อมูลการสอบเทียบ ที่อุณหภูมิ -30°C ในข้อ 4.1 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 (จากแหล่งความไม่แน่นอนต่างๆ ในข้อ 4.2) มาหารด้วยค่าการแจกแจง ซึ่งถ้าเป็นการแจกแจงแบบ rectangular distribution จะหารด้วย $\sqrt{3}$ หรือประมาณ 1.732 แต่ถ้าเป็นการแจกแจงแบบ normal distribution จะหารด้วย 1 ยกเว้น ค่า uncertainty of standard ที่ได้จากการรับรองการสอบเทียบ จะหารด้วยค่า 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

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

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

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

นำค่า 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 0°C มาสรุปเป็นค่า CMC

4.8 นำค่าความผิดพลาด และค่าความไม่แน่นอนขยาย ของการศึกษาการสอบเทียบ LIGT-immersion ทั้ง 3 แห่ง มาทวนสอบตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือ tolerance ตามมาตรฐาน ASTM E1-03a (2003) เพื่อศึกษาผลการทวนสอบเครื่องมือว่าผ่านตามเกณฑ์หรือไม่ และจำเป็นต้องนำค่าแก้ไขไปใช้ในการวัดหรือไม่

4.9 นำค่า CMC มาเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดตามมาตรฐาน ASTM E1-03a ของ เครื่องมือในสำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ เพื่อพิจารณาความสามารถในการให้บริการสอบเทียบเครื่องมือของ สตส. และค่า CMC ที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่า CMC ของห้องปฏิบัติการ สอบเทียบในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C กับสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เพื่อดูลำดับความสามารถในการให้บริการของห้องปฏิบัติการ สอบเทียบ

ผลและวิจารณ์ผล

1. ผลการสอบเทียบในส่วน ค่าแก้ไข และ ค่าความไม่แน่นอน ของการสอบเทียบ LIGT-total immersion

ในการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่อุณหภูมิ -30 °C, -15 °C และ 0 °C โดยการเปรียบเทียบกับ DT with PRT_{cal} ซึ่งได้รับการสอบเทียบจาก Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) ใบรับรองเลขที่ PSL-T 667/63 วันที่สอบเทียบ 27 เมษายน 2563 โดยที่อุณหภูมิ -30 °C และ 0 °C นำผลการวัดไปรวมค่าแก้ไขจากใบรับรองการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} ส่วนที่อุณหภูมิ -15 °C ใช้ค่าการวัดที่รวมค่าแก้ไขแล้ว จากการแทนค่าผลการวัดใน third-order polynomial equation (Inseok et al., 2015) ตามวิธี interpolate ที่ระบุใน ITS-90 โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า STD value และ ค่า UUC reading ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน จากใบรับรองการสอบเทียบลง สมการ polynomial ในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งจะได้สมการดังนี้ $y = 3E-10x^3 + 5E-07x^2 + 1x + 0.001$ ตามรูปที่ 4 (ภาคผนวก) และนำผลการวัด ทั้ง 3 จุดอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณผลการสอบเทียบ หาค่าเฉลี่ย (average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของ STD และ TUC และหาค่าแก้ไข (correction) ซึ่งเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของ STD – ค่าเฉลี่ยของ TUC

ผลการสอบเทียบของ LIGT-total immersion, S/N: 9714075 (LIGT1), S/N: 0678290 (LIGT2) และ S/N: 8005-1528 (LIGT3) โดยเปรียบเทียบกับ DT with PRT 25 ohms ที่อุณหภูมิ -30 °C, -15 °C และ 0 °C ได้ค่า correction และค่า SD ตามตารางที่ 3 เมื่อนำค่า SD จากตารางที่ 3 และค่า source of uncertainty ตามภาคผนวก ข้อที่ 2.1, 2.2, 3.1 และตารางที่ 9-16 (ภาคผนวก) มาคำนวณตามตารางที่ 4 และ 5 จะได้ค่า expanded uncertainty แต่ละจุดอุณหภูมิ ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า CMC ในการสอบเทียบ ของ LIGT-total immersion ที่ช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C ได้จาก LIGT3 ที่อุณหภูมิ -30 °C เพราะมีค่า expanded uncertainty สูงที่สุดในช่วงการวัด ซึ่งเท่ากับ ± 0.085 °C และพบว่าค่า source of uncertainty ที่มีค่าสูงและมีผลต่อค่า expanded uncertainty ในการสอบเทียบ LIGT-total immersion ได้แก่ค่า readability of TUC ดังนั้น หากมีอุปกรณ์ที่สามารถช่วยในการขยายและแบ่งขีดการวัดของ LIGT ก็จะช่วยเพิ่มความสามารถในการอ่านค่า TUC ทำให้สามารถลดค่า readability of TUC ได้ และทำให้ได้ค่า expanded uncertainty ลดน้อยลง อาจจะส่งผลให้ได้ค่า CMC ที่ลดลงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าค่า short term stability ของ LIGT3 มีค่าสูง จึงส่งผลต่อค่า CMC ในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นหากต้องการ ค่า CMC ที่ต่ำกว่านี้ในการยื่นขอการรับรองอาจพิจารณาด้วยวิธีอื่น มาใช้เป็นตัวแทนในการทำ CMC แทน LIGT3

ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบ และค่าแก้ ของ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ที่อุณหภูมิ -30 °C, -15 °C และ 0 °C

อุณหภูมิที่ สอบเทียบ		-30 °C						-15 °C						0 °C					
Round number	STD (°C)	TUC LIGT1 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT2 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT3 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT1 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT2 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT3 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT1 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT2 (°C)	STD (°C)	TUC LIGT3 (°C)	
1	-30.0416	-30.0	-30.0357	-30.0	-29.9599	-30.0	-15.0342	-15.0	-15.0353	-15.0	-14.9776	-15.0	-0.0146	0.0	-0.0233	0.0	0.0211	0.0	
2	-30.0387	-30.0	-30.0393	-30.0	-29.9757	-30.0	-15.0310	-15.0	-15.0335	-15.0	-14.9791	-15.0	-0.0186	0.0	-0.0253	0.0	0.0190	0.0	
3	-30.0355	-30.0	-30.0421	-30.0	-29.9550	-30.0	-15.0270	-15.0	-15.0319	-15.0	-14.9814	-15.0	-0.0181	0.0	-0.0164	0.0	0.0176	0.0	
4	-30.0329	-30.0	-30.0445	-30.0	-29.9472	-30.0	-15.0236	-15.0	-15.0303	-15.0	-14.9838	-15.0	-0.0157	0.0	-0.0161	0.0	0.0159	0.0	
5	-30.0299	-30.0	-30.0471	-30.0	-29.9676	-30.0	-15.0215	-15.0	-15.0286	-15.0	-14.9855	-15.0	-0.0068	0.0	-0.0136	0.0	0.0138	0.0	
Average	-30.0357	-30.0	-30.0417	-30.0	-29.9611	-30.0	-15.0275	-15.0	-15.0319	-15.0	-14.9815	-15.0	-0.0148	0.0	-0.0189	0.0	0.0175	0.0	
Repeatability (SD)	0.0045	0.0	0.0043	0.0	0.0105	0.0	0.0050	0.0	0.0025	0.0	0.0031	0.0	0.0045	0.0	0.0049	0.0	0.0027	0.0	
Correction		-0.0357		-0.0417		0.0389		-0.0275		-0.0319		0.0185		-0.0148		-0.0189		0.0175	

*ค่าอุณหภูมิของ STD และ TUC เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละรอบ

ตารางที่ 4 ค่าความไม่แน่นอน ของ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ที่อุณหภูมิ -30 °C และ 15 °C

อุณหภูมิที่สอบเทียบ							-30 °C						-15 °C					
Source of uncertainty							LIGT1		LIGT2		LIGT3		LIGT1		LIGT2		LIGT3	
Symbol (U _{xi})	Type	Probability Distribution	Divisor	C _i	V _i		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	1	1.0	9		0.0045	0.0045	0.0043	0.0043	0.0105	0.0105	0.0050	0.0050	0.0025	0.0025	0.0047	0.0047
u_{cal_STD}	B	Uncertainty of Standard	2	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	1.732	1.0	∞		0.030	0.017	0.030	0.017	0.030	0.017	0.030	0.017	0.030	0.017	0.030	0.017
u_{res_STD}	B	Resolution of Standard	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	1.732	1.0	∞		0.0223	0.0129	0.0223	0.0129	0.0223	0.0129	0.0234	0.0135	0.0234	0.0135	0.0234	0.0135
u_{sta}	B	Instability of bath	1.732	1.0	∞		0.0129	0.0074	0.0129	0.0074	0.0129	0.0074	0.0125	0.0072	0.0125	0.0072	0.0125	0.0072
u_{nl}	B	Non linearity	1.732	1.0	∞		0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012	0.0021	0.0012
u_{rep_TUC}	A	*Repeatability of TUC	1	1.0	9		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
u_{res_TUC}	B	Readability of TUC	1.732	1.0	∞		0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
u_{st}	B	Short term stability	1.732	1.0	∞		-0.0115	-0.0066	-0.0142	-0.0082	-0.0186	-0.0107	-0.0115	-0.0066	-0.0142	-0.0082	-0.0186	-0.0107
u_C	-	Combined Standard Uncertainty						0.0406		0.0408		0.0425		0.0408		0.0408		0.0415
$V_{eff} =$								60654.61		73457.73		2389.65		39167.61		643120.23		293868.26
$k =$								2		2		2		2		2		2
U	-	Expanded Uncertainty						0.0820		0.0816		0.0850		0.0816		0.0816		0.0830
		Uncertainty (report)						0.082		0.082		0.085		0.082		0.082		0.083

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

ตารางที่ 5 ค่าความไม่แน่นอน ของ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ที่อุณหภูมิ 0 °C

อุณหภูมิที่สอบเทียบ							0 °C					
Symbol (U _{xi})	Type	Source of uncertainty	Probability Distribution	Divisor	C _i	V _i	LIGT1		LIGT2		LIGT3	
							Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)	Value (°C)	U _i (°C)
u_{rep_STD}	A	*Repeatability of Standard	Normal	1	1.0	9	0.0045	0.0045	0.0049	0.0049	0.0027	0.0027
u_{cal_STD}	B	Uncertainty of Standard	Normal	2	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	0.017	0.030	0.017	0.030	0.017
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	∞	0.0149	0.0086	0.0149	0.0086	0.0149	0.0086
u_{sta}	B	Instability of bath	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0059	0.0034	0.0059	0.0034	0.0059	0.0034
u_{nl}	B	Non linearity	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002
u_{rep_TUC}	A	*Repeatability of TUC	Normal	1	1.0	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
u_{res_TUC}	B	Readability of TUC	Rectangular	1.732	1.0	∞	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
u_{st}	B	Short term stability	Rectangular	1.732	1.0	∞	-0.0115	-0.0066	-0.0142	-0.0082	-0.0186	-0.0107
u_C	-	Combined Standard Uncertainty	Normal					0.0388		0.0392		0.0396
$V_{eff} =$								48417.33		37289.41		424469.02
$k =$								2		2		2
U	-	Expanded Uncertainty	Normal					0.0776		0.0784		0.0792
		Uncertainty (report)						0.078		0.078		0.079

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

2. ผลการศึกษา ค่าแก้ และ ค่าความไม่แน่นอนผ่านการทวนสอบ LIGT-total immersion ทั้ง 3 แห่ง

จากการทวนสอบผลการสอบเทียบ LIGT-total immersion ตาม ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบกับค่า MPE หรือค่า tolerance ตามมาตรฐาน ASTM E1-03a (2003) ซึ่งค่า MPE หรือค่า tolerance ของ LIGT-total immersion รุ่น ASTM 62C-86 เท่ากับ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ได้ผลตามตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า ที่อุณหภูมิ -30°C และ -15°C LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 มีผลรวมของค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอน มากกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance แต่มีค่าความไม่แน่นอน น้อยกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance จึงให้ผลไม่ผ่านเกณฑ์การทวนสอบแต่สามารถนำ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ไปใช้งานที่อุณหภูมิ -30°C ได้แต่ต้องใช้ค่าแก้รวมกับค่าที่วัดได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 0°C LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 มีผลรวมของค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอน น้อยกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance จึงให้ผลผ่านเกณฑ์การทวนสอบซึ่งเมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิ 0°C จึงไม่จำเป็นต้องใช้ค่าแก้ไปรวมกับค่าที่วัดได้ แต่หากต้องการให้ผลการวัดมีความแม่นยำ ควรนำค่าแก้ไปใช้รวมกับค่าที่วัดได้ด้วย เพื่อให้เกิดความสอดคล้องตามข้อกำหนด 6.4.5 ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2017

ตารางที่ 6 แสดงการทวนสอบ ผลการสอบเทียบ LIGT-total immersion ทั้ง 3 แห่ง ตาม ISO 14253-1 (2017)

Temp ($^{\circ}\text{C}$)	MPE/tolerance $\pm (^{\circ}\text{C})$	S/N - LIG No.	Calibration results		Verification		Verification Results		Remark
			*Error ($^{\circ}\text{C}$)	$\pm$ Uncertainty ($^{\circ}\text{C}$)	E+U ($^{\circ}\text{C}$)	E+(-U) ($^{\circ}\text{C}$)	E+U	E+(-U)	usability
-30	0.1	9714075 - LIGT1	0.0357	0.082	0.1177	-0.0463	Fail	pass	have to add correction
		0678290 - LIGT2	0.0417	0.082	0.1237	-0.0403	Fail	pass	have to add correction
		8005-1528 - LIGT3	-0.0389	0.085	0.0461	-0.1239	pass	Fail	have to add correction
-15	0.1	9714075 - LIGT1	0.0275	0.082	0.1095	-0.0545	Fail	pass	have to add correction
		0678290 - LIGT2	0.0319	0.082	0.1139	-0.0501	Fail	pass	have to add correction
		8005-1528 - LIGT3	-0.0185	0.083	0.0645	-0.1015	pass	Fail	have to add correction
0	0.1	9714075 - LIGT1	0.0148	0.078	0.0928	-0.0632	pass	pass	need't to add correction
		0678290 - LIGT2	0.0189	0.078	0.0969	-0.0591	pass	pass	need't to add correction
		8005-1528 - LIGT3	-0.0175	0.079	0.0615	-0.0965	pass	pass	need't to add correction

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

3. ผลการศึกษาค่า CMC ที่ได้จากการศึกษา

3.1 ผลการเปรียบเทียบค่า CMC กับ ค่า MPE หรือ ค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดของ สตส.

จากผลการสำรวจ ปี 2564 เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2564 พบว่าค่า MPE หรือค่า tolerance ของ LIGT-total immersion ของ สตส. จำนวน 71 ชิ้น จำนวน 5 ยี่ห้อ พบว่า LIGT-total immersion ที่ใช้ในช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C มีเพียง 2 ยี่ห้อ และ 3 รุ่น ที่มีค่า MPE หรือค่า tolerance เท่ากับ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด ได้แก่ ASTM 62C-86, ASTM 63C-86 และ ASTM 90C-86 และเมื่อเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับค่า MPE หรือค่า tolerance พบว่า ค่า CMC จากการศึกษานี้ ต่ำกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance 1.2 เท่า ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่า MPE หรือ tolerance ของ LIGT-total immersion ของ สตส. จากการสำรวจ เมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2564 ที่ใช้ในช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C

Brand	Model	Range (°C)	Resolution (°C)	MPE หรือ Tolerance (± °C)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ MPE หรือ tolerance
AMA or Gold Brand	ASTM 62C-86	-38 to 2	0.1	0.1	<1.2 เท่า
	ASTM 63C-86	-8 to 32	0.1	0.1	<1.2 เท่า
	ASTM 90C-86	0 to 30	0.1	0.1	<1.2 เท่า
Barnstead ERTCO	R-020-1BLSR	-5 to 15	0.5	1	<11.6 เท่า
H-B Instrument	90300-67	-5 to 15	0.5	1	<11.6 เท่า
	F-010-1BLSR	-30 to 0	0.5	1	<11.6 เท่า
Fisher Scientific	-	-10 to 100	1	3	<34.9 เท่า

3.2 ผลการเปรียบเทียบค่า CMC จากการศึกษากับห้องปฏิบัติการอื่นที่ได้รับรอง ISO/IEC 17025

เมื่อนำค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาไปเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นในประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ LIGT-total immersion จาก สมอ. ซึ่งมีจำนวน 20 ห้องปฏิบัติการ แต่พบว่าห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรองการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C จำนวน 16 ห้องปฏิบัติการ ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาค้างนี้จึงจัดอยู่ในลำดับที่ 10 จาก 16 ห้องปฏิบัติการ ตามตารางที่ 8 ซึ่งในทางปฏิบัติ การเลือกห้องปฏิบัติการสำหรับการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่มีค่า CMC เท่ากับ หรือ สูงกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance ของเครื่องมือ จะส่งผลกระทบต่อการยอมรับเครื่องมือได้ เพราะห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่สามารถรายงานค่า uncertainty ต่ำกว่าค่า CMC ที่ได้รับการรับรองได้ ตามข้อกำหนดของ ILAC (2013) ทางลูกค้าจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่า CMC ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่จะใช้บริการให้เหมาะสมกับเกณฑ์การยอมรับของเครื่องมือด้วย

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษากับห้องปฏิบัติการอื่นในประเทศไทยที่ได้รับรอง ISO/IEC 17025 จาก สมอ. ปี 2564 (ข้อมูลวันที่ 19 มีนาคม 2564)

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	ช่วงการสอบเทียบ (°C)	ค่า CMC	ลำดับค่า CMC (จากน้อยไปมาก)	เปรียบเทียบค่า CMC กับ MPE หรือ tolerance ที่ ±0.1
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	-40 to 90	15 mK	1	<6.7 เท่า
ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพ บ.ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)	-45 to 151	0.020 °C	2	<5.0 เท่า
บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ศูนย์มาตรวิทยา	-38 to 80	0.032 °C	3	<3.1 เท่า
บริษัท ชัดเชสเทคเวย์ จำกัด	-40 to 25	0.040 °C	4	<2.5 เท่า
บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด	-40 to 250	0.044 °C	5	<2.3 เท่า
บริษัทมาสเตอร์ คาลิเบรชั่น จำกัด	-30 to 0	0.045 °C	6	<2.2 เท่า
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)	-50 to 0	0.054 °C	7	<1.9 เท่า
บริษัท ไทย-เกาหลี คาลิเบรชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด	-38 to 0	0.061 °C	8	<1.6 เท่า
บริษัท QUALITY CALIBRATION CO.,LTD.	-30 to <50	0.079 °C	9	<1.3 เท่า
สำนักตรวจสอบคุณภาพสินค้าปศุสัตว์	-30 to 0	0.085 °C	10	<1.2 เท่า*
อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร	-35 to 0	0.091 °C	11	<1.1 เท่า
บริษัท แคลิเบรชั่น แลบบอราทอรี	-30 to 100	0.10 °C	12	=1.0 เท่า
ศูนย์มาตรวิทยา บริษัท เอสซี ไอ อีโคเซอร์วิส เซส จำกัด	-30 to 70	0.12 °C	13	>0.8 เท่า
บริษัท ไทฮาท แคลิเบรชั่น จำกัด	-38 to 55	0.16 °C	14	>0.6 เท่า
บริษัท แคลิเบรเทค จำกัด	-30 to <-20	0.18 °C	15	>0.6 เท่า
	-20 to 200	0.092 °C		<1.1 เท่า
ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์ และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด	-30 to -10	0.30 °C	16	>0.3 เท่า
	>-10 to 34	0.089 °C		<1.1 เท่า

*ค่า CMC จากผลการศึกษาของ สตส.

สรุปผล

ผลการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่อุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C จำนวน 3 แห่ง โดยใช้ DT with PRT_{cal} 25 ohms เป็นเครื่องมือมาตรฐานใช้อ้างสอบเทียบอุณหภูมิ เป็นแหล่งสร้างอุณหภูมิ และใช้น้ำมันซิลิโคนเป็นตัวกลางในการนำอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 120°C โดยวิธีเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานตาม Guideline of calibration of liquid in glass thermometer (TM/CG02/TT01/V03) ซึ่งการศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิ -30°C , -15°C และ 0°C พบว่า ผลการสอบเทียบของ LIGT-total immersion S/N: 9714075 (LIGT1), S/N: 0678290 (LIGT2) และ S/N: 8005-1528 (LIGT3) ได้ผลการสอบเทียบ โดยรายงานตามรูปแบบ M3003 คือ $y \pm U$ โดยที่ y คือ correction และ U คือ expanded uncertainty ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ซึ่งเรียงตามลำดับตัวอย่าง LIGT1, LIGT2 และ LIGT3

- ที่อุณหภูมิ -30°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $(-0.0357) \pm 0.082^{\circ}\text{C}$, $(-0.0417) \pm 0.082^{\circ}\text{C}$ และ $0.0389 \pm 0.085^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ -15°C ได้ผลการสอบเทียบเท่ากับ $(-0.0275) \pm 0.082^{\circ}\text{C}$, $(-0.0319) \pm 0.082^{\circ}\text{C}$ และ $0.0185 \pm 0.083^{\circ}\text{C}$

- ที่อุณหภูมิ 0°C ได้ผลการสอบเทียบ เท่ากับ $(-0.0148) \pm 0.078^{\circ}\text{C}$, $(-0.0189) \pm 0.078^{\circ}\text{C}$ และ $0.0175 \pm 0.079^{\circ}\text{C}$

ดังนั้นค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้ในการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C เท่ากับ 0.085°C

ในการศึกษา ค่าแก้ และค่าความไม่แน่นอน ผ่านการทวนสอบ LIGT-total immersion ตามมาตรฐาน ISO 14253-1 (2017) โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาด และ ค่าความไม่แน่นอน กับค่า MPE หรือค่า tolerance ตามมาตรฐาน ASTM E1-03a พบว่า LIGT1, LIGT2 และ LIGT3 ที่จุดอุณหภูมิ -30°C และ -15°C ให้ผลไม่ผ่านเกณฑ์การทวนสอบแต่สามารถนำเครื่องมือไปใช้ได้โดยต้องใช้ค่าแก้ ส่วนที่จุดอุณหภูมิ 0°C พบว่า LIGT ทั้ง 3 แห่งผ่านเกณฑ์การทวนสอบ และเมื่อเปรียบเทียบค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้กับค่า MPE หรือค่า tolerance ที่ต่ำที่สุดตามมาตรฐาน ASTM E1-03a ของเครื่องมือใน สตส. ปี 2564 ซึ่งเท่ากับ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ปรากฏว่า ค่า CMC ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้ ต่ำกว่าค่า MPE หรือค่า tolerance 1.2 เท่า ดังนั้นจึงสามารถให้บริการสอบเทียบ LIGT-total immersion ของ สตส. ได้ และเมื่อนำค่า CMC ไปเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการอื่นๆของประเทศไทยที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 ในขอบข่ายการสอบเทียบ LIGT-total immersion ที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิ -30°C ถึง 0°C จาก สมอ. ปี 2564 (ข้อมูลวันที่ 19 มีนาคม 2564) จะถูกจัดอยู่ในระดับที่ 10 จาก 16 ห้องปฏิบัติการ

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาค้นคว้านี้ พบว่าค่า readability of TUC เป็นแหล่งค่าความไม่แน่นอนที่มีค่าสูงที่สุด มีผลต่อค่า expanded uncertainty หากต้องการลดค่า readability of TUC ห้องปฏิบัติการต้องจัดหาอุปกรณ์สำหรับการขยายสเกลของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดแท่งแก้ว เพื่อเพิ่มความสามารถในการอ่านค่าของ TUC จึงจะสามารถลดค่า uncertainty ของการสอบเทียบให้น้อยลงได้และอาจส่งผลให้ได้ค่า CMC ที่ต่ำลง ซึ่งค่า CMC นั้น จะแสดงอยู่ในใบรับรองที่ สมอ. ออกให้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ หากมีค่า CMC ที่ต่ำในขอบข่ายการรับรองนั้น จะเป็นข้อได้เปรียบทางการค้าสำหรับการให้บริการสอบเทียบ เนื่องจากการมีค่า CMC ที่ต่ำจะบ่งบอกถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการ และเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการเลือกใช้บริการห้องปฏิบัติการสอบเทียบของลูกค้า และในการศึกษาค้นคว้านี้ใช้ตัวอย่าง LIGT-total immersion ที่มีค่าความละเอียด 0.1°C ดังนั้นหากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบมีค่าความละเอียดที่ต่ำกว่านี้ อาจได้ค่าความไม่แน่นอนที่สูงขึ้นกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้

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 คุณกำชัย สิงห์วิวัฒน์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดร.อ้อยใจ อ่องห่วย และ ดร.จริยา บัวเจริญ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาในการทำการศึกษาดทดลอง

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

ขอขอบคุณบุคลากรงานสอบเทียบเครื่องมือสาขาอุณหภูมิ กลุ่มพัฒนาระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการในความร่วมมือปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2562. ข้อเสนอแนะประกอบ การตรวจประเมิน ตาม มอก.17025-2561 (GLA-23). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2564. ข้อเสนอแนะการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (GLA-26). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- ASTM. 2003. Standard specification for ASTM liquid-in-glass thermometers ASTM E1-03a. ASTM International. United States.
- ASTM. 2010. Standard specification for liquid-in-glass ASTM thermometers with low-hazard precision liquids ASTM E 2251. ASTM International. United States.
- ASTM. 2017. International standard test method for inspection and verification of thermometers ASTM E77-14. ASTM International. United States.
- BIPM. 2018. Guide to the realization of the ITS-90 platinum resistance thermometry. The International Bureau of Weights and Measures. France.
- 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.
- ILAC. 2013. ILAC policy for uncertainty in calibration ILAC-P14:01. International Laboratory Accreditation Cooperation. Australia.
- INSEOK, Y., Suherlan., Kee Sool, G., Yong-Gyoo K. 2015. Interpolating equation of industrial platinum resistance thermometers in the temperature range between 0 °C and 500 °C. Korea Research Institute of Standards and Science. Korea.
- 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.
- KNAKE, M. 2011. The anatomy of a liquid-in-glass thermometer. Retrieved February 22, 2021. from AASHTO re:source. <http://aashtoresource.org/university/newsletters/newsletters/2016/08/02/the-anatomy-of-a-liquid-in-glass-thermometer>.
- NATA. 2019. General accreditation guidance: Liquid-in-glass thermometers - selection and use. National Association of Testing Authorities. Australia
- NIMT. 2012^a. Guideline of calibration of liquid-In-glass thermometer (TM/CG02/TT01/V03). First edition, Thermometry Metrology Department, National Institute of Metrology.Thailand.
- NIMT. 2012^b. Calibration of digital thermometer with temperature sensor (TM/CG01/TT01/V04). First edition, Thermometry Metrology Department, National Institute of Metrology.Thailand.
- UKAS. 2019. The expression of uncertainty and confidence in measurement M3003. 4th edition, United Kingdom Accreditation Service. United Kingdom.
- WISE, J. 1998. NIST measurement services: Liquid-in-glass thermometer calibration service. Special Publication 250-23, National Institute of Standards and Technology. United States.

ภาคผนวก

ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ

1.1 ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ จากอ่างสอบเทียบอุณหภูมิ

1.2 ค่าความเสถียรภาพของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (stability)

ตารางที่ 9 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 10 ค่า stability ที่อุณหภูมิ -15 °C

Stability at -15 °C															
จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maximum	-14.9950	-14.9603	-14.9493	-14.9613	-14.9530	-14.9669	-14.9514	-14.9714	-14.9561	-14.9585	-14.9600	-14.9641	-14.9635	-14.9461	-14.9574
Minnimum	-14.9750	-14.9669	-14.9717	-14.9732	-14.9715	-14.9834	-14.9725	-14.9874	-14.9780	-14.9743	-14.9784	-14.9815	-14.9885	-14.9648	-14.9741
Stability	0.0100	0.0033	0.0112	0.0060	0.0093	0.0083	0.0106	0.0080	0.0110	0.0079	0.0092	0.0087	0.0125	0.0094	0.0084
Max of Stability	0.0125														

ตารางที่ 11 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														

1.2 ค่าความเป็นหนึ่งเดียวกันของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (uniformity)

ตารางที่ 12 ค่า uniformity ที่อุณหภูมิ -30 °C และ -15 °C

Temp	-30 °C							-15 °C						
จุดที่	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
Maximum	0.0222	0.0223	0.0182	0.0144	0.0187	0.0221	0.0183	0.0232	0.0221	0.0191	0.0234	0.0150	0.0232	0.0218
Max of Uniformity	0.0223							0.0234						

ตารางที่ 13 ค่า uniformity ที่อุณหภูมิ 0 °C

Temp	0 °C						
จุดที่	6 กับ 2	6 กับ 4	6 กับ 12	6 กับ 14	2 กับ 14	4 กับ 12	1 กับ 11
Maximum	0.0149	0.0070	0.0036	0.0063	0.0070	0.0057	0.0077
Max of Uniformity	0.0149						

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

2.1 ค่าการเลื่อนค่าของเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน (drift of standard)

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

2.2 ค่าความละเอียดของเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน (resolution of standard)

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

2.3 ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (non-linearity)

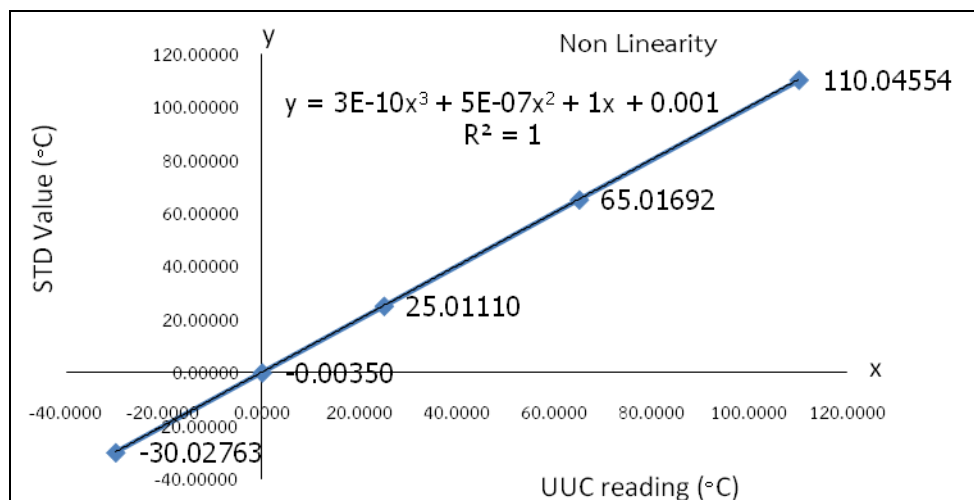
ตารางที่ 14 ค่า non-linearity

*STD Value (°C) (แกน y)	*UUC Value (°C) (แกน x)	*Correction (°C) (แกน y – แกน x)	UUC Fitting (°C) (y Fitting)	Non Linearity (°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

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

** ใช้ค่า non linearity เท่ากับ 0.0021 °C ในการหาค่า uncertainty ที่อุณหภูมิ -15 °C เนื่องจากเป็นค่าที่สูงที่สุดในช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C

อุณหภูมิ 15 °C ใช้ค่า non linearity ที่สูงที่สุดซึ่งครอบคลุมช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -30 °C ถึง 0 °C ซึ่งเท่ากับ 0.0021



หมายเหตุ	
STD Value :	แกน y คือ ค่าอุณหภูมิของ Reference standard จากใบรับรองผลการสอบเทียบ
UUC Reading :	แกน x คือ ค่าอุณหภูมิของ Sensor จากใบรับรองผลการสอบเทียบ
UUC Reading Fitting :	ค่าอุณหภูมิของ Sensor ที่ได้จากการแทนค่าในสมการเชิงเส้น
Non Linearity :	ค่าการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นของ Sensor จากทุกช่วงอุณหภูมิ ที่สอบเทียบ คำนวณได้จาก y Fitting - แกน y

รูปที่ 4 กราฟแสดงค่า Non Linearity

2.4 ค่าความไม่แน่นอนจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน DT with PRT_{cal}

ตารางที่ 15 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

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

** ที่อุณหภูมิ -15 °C ใช้ค่า Uncertainty เท่ากับ 0.030 °C เนื่องจากค่า uncertainty ของผลการสอบเทียบ DT with PRT_{cal} มีค่า 0.030 °C เท่ากันทุกช่วงอุณหภูมิ

3. ค่าแหล่งความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบ จากตัวอย่างสอบเทียบ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3

3.1 ค่าความสามารถในการอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ที่สอบเทียบ (readability of TUC)

$$\text{readability of TUC} = 0.1/2 = 0.05$$

3.2 ค่าความเสถียรของเครื่องมือในเวลาสั้นๆ (short term stability)

ตารางที่ 16 ค่า short term stability ของ LIGT1, LIGT2 และ LIGT3

	LIGT1 (S/N: 9714075)				LIGT2 (S/N: 678290)				LIGT3 (S/N: 8005-1528)			
	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	-30.0357	-30.0	-30.0203	-30.0	-30.0417	-30.0	-30.0275	30.0	-29.9611	-30.0	-29.9425	-30.0
Correction	-0.0357		-0.0242		-0.0417		-0.0275		0.0389		0.0575	
Short term Stability			-0.0115				-0.0142				-0.0186	