



## KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

### การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องปรับระดับของเหลว ที่มีผลต่อการสอบเทียบสาขาอุณหภูมิ

### The effect of temperature distribution inside the fluid level adapter on the temperature calibration

มณฑิตา สมจันทร์ และ สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี \*

Montita Somjan and Sirivit Taechajedcadarungsri\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 400002

Received August 2012

Accepted December 2012

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของของเหลว ที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องปรับระดับของเหลว (Fluid Level Adapter, FLA) ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อช่วยยกระดับความสูงของของเหลวภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในการสอบเทียบด้านอุณหภูมิ เพื่อช่วยลดค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมมิเตอร์แบบแทงแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer, LIG) โดยในการศึกษานี้พบว่า เครื่องปรับระดับของเหลวที่สร้างขึ้นสามารถยกระดับของเหลวได้สูงสุด 5 เซนติเมตร และปรับอัตราการไหลของของไหลได้สูงสุด 299 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที พบว่าค่าความเป็นรูปร่างอันเดียวกัน (Uniformity) และค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ได้จากการสอบเทียบภายในเครื่องปรับระดับของเหลวดังกล่าวเพียงพอสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมมิเตอร์ชนิดที่ถูกกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดไม่เกิน  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  และหากเป็นกรณีสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแทงแก้วสามารถสอบเทียบ ASTM เทอร์โมมิเตอร์ประเภท 63C, 64C, 65C และ 66C เนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง  $-8^{\circ}\text{C}$  ถึง  $105^{\circ}\text{C}$  ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงอุณหภูมิใช้งานของอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษานี้ กล่าวได้ว่า เครื่องปรับระดับของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นมานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแทงแก้วได้

**คำสำคัญ :** เครื่องปรับระดับของเหลว เทอร์โมมิเตอร์แบบแทงแก้ว การสอบเทียบอ่างของเหลวที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน การสอบเทียบสาขาอุณหภูมิ

#### Abstract

The purpose of this work was to study the temperature distribution inside the fluid level adapter. This is the effect during thermometer calibration. The fluid level adapter is an accessory to lift the level of fluid inside the bath, for reducing the immersion errors. In this case, the maximum level that could be lift was about 5 cm from fluid reference level in the bath with the maximum flow rate 299  $\text{cm}^3/\text{s}$ . From the calibration results, it was found that the estimate uniformity and stability of measurement in the measuring zone are suitable to perform for thermometer which not over  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  accuracy require and some types of LIG thermometer calibration such as ASTM standard LIG thermometer model of 63C, 64C, 64C and 65C types, wherewith the range from  $-8^{\circ}\text{C}$  to  $105^{\circ}\text{C}$  thermometer.

**Keywords :** Fluid level adapter, Liquid-in-glass thermometer, Liquid calibration bath, Temperature calibration

\*Corresponding author. Tel.: +66 (0) 43 20 2 945 ; Fax: +66 (0) 43 20 2849

Email address: sirtae@kku.ac.th

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบมาตรฐานในการวัด และการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าระหว่างประเทศ และเป็นการสร้างมาตรฐานในการซื้อ-ขาย แลกเปลี่ยนสินค้าและการบริการในชีวิตประจำวันให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น กล่าวคือ มาตรฐานในการวัดและการสอบเทียบเครื่องมือวัด เป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญในระบบควบคุมคุณภาพของสินค้าและการบริการในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งยังรวมไปถึง พื้นฐานทางการศึกษา และงานทางด้านวิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ อีกด้วยการวัดและการสอบเทียบทางด้านอุณหภูมิ เป็นอีกสาขาหนึ่งของระบบมาตรฐานในการวัด และการสอบเทียบเครื่องมือวัด ที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นเครื่องบอกระดับความร้อน และความร้อนเป็นสิ่งที่สามารถให้ประโยชน์และโทษแก่สิ่งต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับและปริมาณของความร้อน [1] ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานและศาสตร์ทุกแขนง ทั้งภาคอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์งานทางด้านกายภาพ และในชีวิตประจำวันอื่น ๆ

เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดหนึ่ง ซึ่งยังคงเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นฐานที่ใช้งานราคาถูก เป็นเอกเทศในการอ่านผลของการวัด และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [2] ปัญหาความคลาดเคลื่อนในการวัดและการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วที่เกิดจากการจุ่ม (Immersion Errors) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระดับของเหลวในแท่งแก้วไม่สามารถรักษาค่าให้อยู่ในระดับเดียวกันกับของเหลวภายนอก (ระดับของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ) มีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัดและการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration)

ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของของเหลว ที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องปรับระดับของเหลว ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยยกระดับความสูงของของเหลวภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในการสอบเทียบด้านอุณหภูมิ ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว และเพื่อเป็นการลดค่าความ

คลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจุ่ม ซึ่งมีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัด โดยสาเหตุเกิดจากเครื่องกำเนิดอุณหภูมิ (Temperature source) ซึ่งในที่นี้ คือ อ่างควบคุมอุณหภูมิรุ่น Hart scientific Model 7025 (Oil Bath) มีข้อจำกัดในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วแบบจุ่มทั้งหมด (Total immersion) เนื่องจากขอบของเครื่องกำเนิด/ควบคุมอุณหภูมิที่มีอยู่ทั่วไปนั้น ถูกยกสูงขึ้นเพื่อป้องกันการไหลล้นของของเหลวภายใน แต่ทั้งนี้ก็เป็นการเพิ่มข้อจำกัดในการอ่านอุณหภูมิ และเพิ่มค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วยเช่นกัน

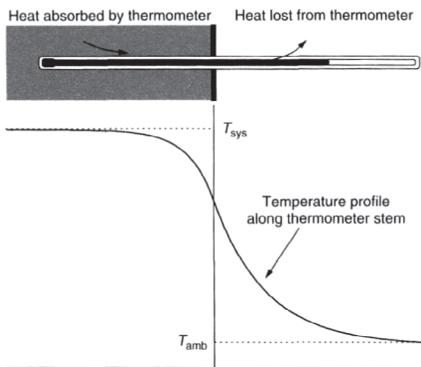
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว และปัจจัยที่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด

หากแบ่งประเภทของเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วตามสภาวะของการจุ่มเมื่อใช้งานแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ แบบจุ่มแช่อย่างสมบูรณ์ (Complete immersion) แบบจุ่มแช่ทั้งหมด (Total immersion) โดยให้ของเหลวที่อยู่ในแท่งและนอกแท่งแก้วอยู่ในระดับเดียวกัน และแบบจุ่มแช่เพียงบางส่วน (Partial immersion) ซึ่งในปัจจุบันเทอร์โมมิเตอร์แท่งแก้วแบบจุ่มแช่ทั้งหมดเป็นที่ได้รับความนิยมสูงสุดเนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและมีค่าความถูกต้องสูง [2]

ปัญหาความคลาดเคลื่อนในการวัดและการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วนั้น เกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการอ่าน (Error in reading) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจุ่ม (Immersion errors) และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสเกลวัดของเทอร์โมมิเตอร์ (Scale error) [2,3] โดยในบทความนี้ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจุ่มเท่านั้น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัดและการสอบเทียบ [4,5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วแบบจุ่มแช่ทั้งหมด เนื่องจากเป็นแบบที่กำหนดให้มีระยะการจุ่มของของเหลวในแท่งแก้วจะต้องมีระดับเท่ากับของเหลวที่ต่อภาควัดอุณหภูมิที่อยู่ด้านนอก หากระดับของเหลวในแท่งแก้วไม่อยู่ในระดับเดียวกันกับของเหลวด้านนอก จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนส่วนเกินระหว่างแท่งแก้วกับสิ่งแวดล้อมภายนอกเพิ่มขึ้นมาแทนดังรูป

ที่ 1 ทำให้ค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิของบรรยากาศมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดหรือการสอบเทียบ [6]



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจุ่มใช้งานและค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้ ของ LIG [2]

### 2.2 เครื่องปรับระดับของเหลว

จากปัจจัยที่มีผลต่อการวัดและการสอบเทียบดังกล่าว ดังนั้นสำหรับบทความนี้ ผู้เขียนจึงได้ทำการออกแบบและจะสร้างเครื่องปรับระดับของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2 ขึ้น ซึ่งหลักการการทำงานของเครื่องนี้ จะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับให้ใบพัดหมุน เพื่ออัดให้ของเหลวไหลยกสูงขึ้นภายในท่อ แล้วไหลล้นและวนกลับลงสู่อ่างเหมือนเดิม ซึ่งเครื่องนี้สามารถปรับขนาดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้ เพื่อใช้ในการปรับหาค่าความเร็วของมอเตอร์หรืออัตราการไหลวนที่เหมาะสม เครื่องปรับระดับของเหลวนี้จะช่วยยกระดับของเหลว ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะการจุ่มให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้งานจริงให้ได้มากที่สุด กรณีที่มีการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว อีกทั้งเครื่องนี้ยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วให้กับอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และหลังจากนั้นได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในชุดทดสอบดังกล่าวโดยใช้วิธีการทดลองสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอ้างอิงมาตรฐานการสอบเทียบอ่างควบคุมอุณหภูมิของสถาบันมาตรวัดวิทยาแห่งชาติ

### 3. การทดลอง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ทำการสอบเทียบทั้งกรณีอ่างเปล่า (bath only) และกรณีเพิ่มเครื่องปรับระดับของเหลวเข้าไป

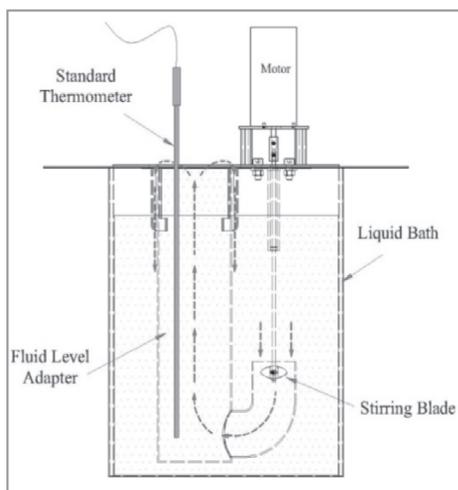
ในอ่าง (bath with FLA) เพื่อเปรียบเทียบค่าภาวะเอกรูป หรือค่าความเป็นรูปแบบเดียวกัน (uniformity) และค่าเสถียรภาพ (stability) ของอ่าง ซึ่งค่าดังกล่าวมีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัดและการสอบเทียบ (accuracy) ของเครื่องมือ [5]

#### 3.1 การจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์

อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน (liquid calibration bath) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Bath คือ รุ่น Hart Scientific Model 7025 ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -20°C ถึง 120°C โดยใช้ Dow Corning 200.50 Silicone Oil [7] เป็นของเหลวตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และใช้ Black Stack Thermometer Module 1560/2560 เป็นเครื่องมืออ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (platinum resistance thermometer ; PRT) [8]

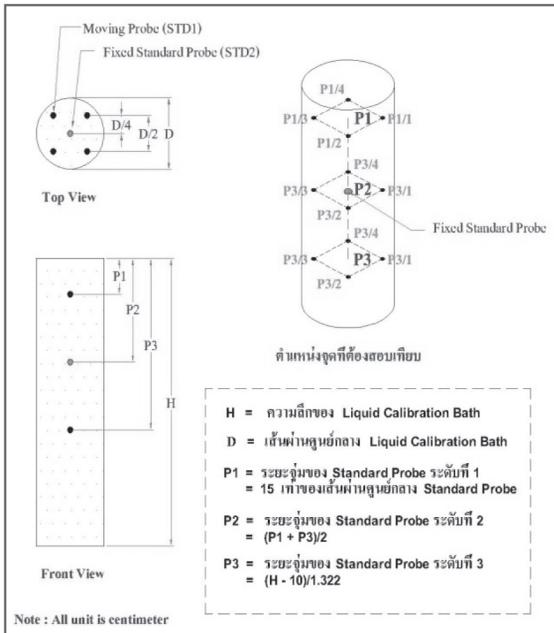
#### 3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบและการรายงานผลการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบ Bath แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาคุณสมบัติของ Bath (evaluation test) และการหาค่าความถูกต้องในการอ่านค่า (accuracy test) ของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (under unit calibration, UUC) [9,10] ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้คือ Bath นั้นเอง โดยขั้นตอนการสอบเทียบ Bath ที่จะกล่าวต่อไปนี้ อ้างอิงมาตรฐานการสอบเทียบแหล่งกำเนิดความร้อนของสถาบันมาตรวัดวิทยาแห่งชาติ [1,3]



รูปที่ 2 เครื่องปรับระดับของเหลว

(1) การหาคุณสมบัติของ Bath (evaluation test)  
 การหาคุณสมบัติของ Bath แยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาค่าความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของอุณหภูมิภายใน Bath และค่าความเสถียรภาพของอุณหภูมิภายใน Bath [3] โดยกำหนดพื้นที่ของ Bath และจุดสอบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกำหนดพื้นที่และจุดทดสอบภายใน Liquid Calibration Bath

ในการหาค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันเริ่มจากการตรวจสอบ เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (Standard Thermometer, STD) ตัวที่ 1 (STD1) และตัวที่ 2 (STD2) โดยจุ่มให้อยู่ในตำแหน่ง P2 และให้อยู่ใกล้กันมากที่สุดเพื่อหาค่าอุณหภูมิคลาดเคลื่อน (Temperature Correction :  $T_{CORR}$ ) ที่เกิดจากการอ่านค่าระหว่าง STD1 และ STD2 จากสมการ

$$T_{CORR} = Av_{STD1} - Av_{STD2} \quad (1)$$

เมื่อ  $T_{CORR}$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก STD1 และ STD2 ในส่วน  $Av_{STD1}$ ,  $Av_{STD2}$  คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก STD1 และ STD2 ตามลำดับ

หลังจากนั้น หาค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันของแต่ละจุดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบโดยจุ่ม Fixed Standard Probe (STD2) และ Moving Standard Probe (STD1) ที่

ตำแหน่งสอบเทียบต่างๆ ที่กำหนดไว้ (รูปที่ 3) จากนั้นบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านค่าได้จาก STD1 และ STD2 เพื่อหาค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันของแต่ละระดับ จากสมการ

$$T_{uni} = T_{Dmax} - T_{Dmin} \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } T_D = T_{STD2} - T_{STD1} \quad (3)$$

เมื่อ  $T_{uni}$  คือ ค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันที่ระดับเดียวกันของตำแหน่งจุดสอบเทียบ ซึ่งค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันของจุดอุณหภูมิสอบเทียบนั้นๆ จะเลือกใช้ค่าที่สูงที่สุดจากทั้ง 3 ระดับ

$T_{Dmax}$ ,  $T_{Dmin}$  คือ ผลต่างที่มากที่สุดและน้อยที่สุดระหว่าง STD1 และ STD2 ที่ระดับเดียวกันของตำแหน่งจุดสอบเทียบที่อุณหภูมินั้น ตามลำดับ

$T_{STD1}$ ,  $T_{STD2}$  คือ ค่าอุณหภูมิของ STD1 และ STD2 ที่ระดับเดียวกันของตำแหน่งจุดสอบเทียบที่ อุณหภูมินั้น ตามลำดับ

สำหรับขั้นตอนการหาค่าเสถียรภาพทำได้โดยการเก็บค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ STD2 ที่จุดกึ่งกลางที่ระดับ P2 โดยอ่านค่าอุณหภูมิในเวลาเท่ากัน ทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที [2,3] โดยที่ค่า เสถียรภาพ ( $T_s$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$T_s = \frac{T_{max,s} - T_{min,s}}{2} \quad (4)$$

เมื่อ  $T_{max,s}$ ,  $T_{min,s}$  คือ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่อ่านได้ในช่วงเวลา 30 นาที ตามลำดับ

(2) การหาค่าความถูกต้องในการอ่านค่าอุณหภูมิ (accuracy test)

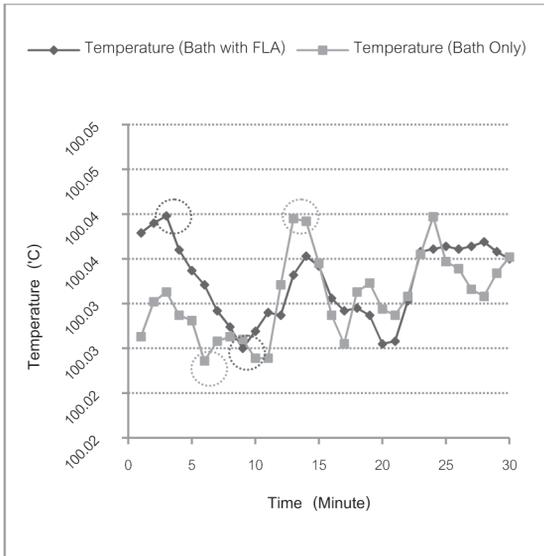
การหาค่าความถูกต้องในการวัด ทำได้โดยนำ STD2 วางใกล้กับ Sensor ของ Bath ให้ได้มากที่สุด ที่ระดับความลึก P2 จากนั้นเก็บค่าที่อ่านได้จาก STD2 และ UUC เพื่อคำนวณหาค่าปรับแก้ (correction) จากสมการ

$$\text{Correction} = T_{STD} - T_{UUC} \quad (5)$$

เมื่อ  $T_{STD}$  และ  $T_{UUC}$  คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่อ่านได้จาก STD2 และ UUC ตามลำดับ

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การหาค่าเสถียรภาพ นอกจากจะคำนวณหาจากสมการ (4) แล้วยังสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่อ่านค่าได้ในช่วง 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการเขียนกราฟเพื่อหาค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Stability ที่จุดสอบเทียบ 100.00°C



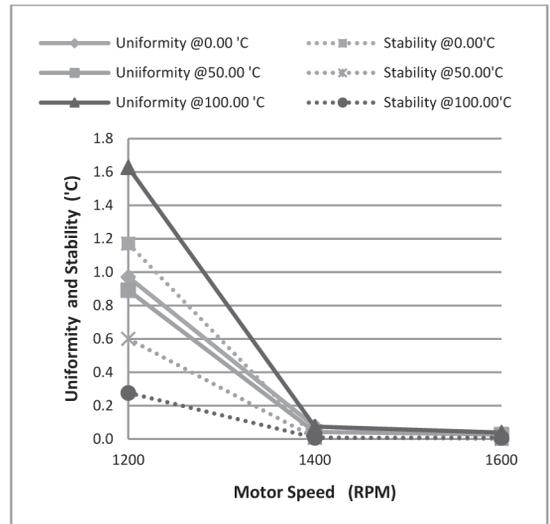
รูปที่ 4 Stability Test Result (for 100.00°C)

ซึ่งจากรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงเวลา 30 นาที ระหว่างการสอบเทียบแบบอ่างควบคุมอุณหภูมิเปล่า และสอบเทียบเมื่อเพิ่มเครื่องปรับระดับของเหลว พบว่าค่าเสถียรภาพกรณีสอบเทียบแบบอ่างควบคุมอุณหภูมิเปล่า และสอบเทียบเมื่อเพิ่มเครื่องปรับระดับของเหลวมีค่าเท่ากับ 0.0085°C และ 0.0074°C ตามลำดับ

4.1 ผลการหาค่าอัตราการไหลวนที่เหมาะสม

จากการทดลองพบว่า อัตราเร็วในการไหลวนของของเหลว เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าการวัด และการสอบเทียบภายในเครื่องปรับระดับของเหลวสังเกตได้จากค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกัน และค่าเสถียรภาพจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มรอบในการหมุนของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5 และจะพบว่าที่ระดับความเร็วมอเตอร์ 1200 รอบต่อนาที ค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพค่อนข้างสูงหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดสูง ทั้งนี้อาจเกิดจากกรณีนี้ของเหลวไม่มีการไหลล้นออกจาก

ท่อแต่เป็นการไหลกลับแทน ดังนั้นจึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายนอกสูงส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิที่จุดวัดมีค่าเปลี่ยนจากอุณหภูมิผนังมากนั่นเอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaluation Test และความเร็วยรอบของมอเตอร์

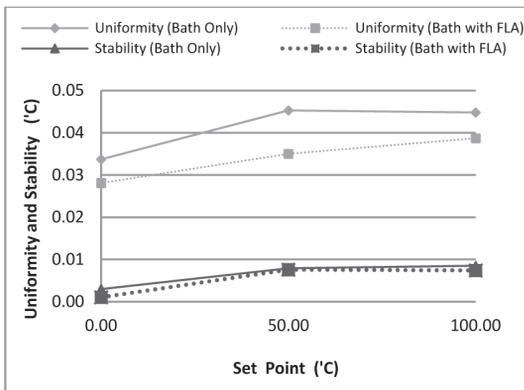
สำหรับการหาค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ทำได้โดยการทดลองโดยการกำหนดให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบค่าต่างๆ 3 ค่า ได้แก่ ที่ 1200 รอบต่อนาที เป็นจุดที่ไม่มีมีการไหลล้นของของเหลว, ที่ 1400 รอบต่อนาที คือตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างจุดที่ไม่มีมีการไหลล้น และจุดสูงสุดที่เครื่องสามารถปรับได้ และ ที่ 1600 รอบต่อนาที คือจุดสูงสุดที่เครื่องสามารถปรับได้โดยไม่ทำให้ของเหลวไหลล้นมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ ซึ่งในแต่ละค่าความเร็วได้กำหนดมวลของของเหลวคงที่ค่าหนึ่ง แล้วจับเวลาที่ใช้ในการไหล และคำนวณหาปริมาตรการไหลจากสมการ

$$V = \frac{m}{p} \tag{6}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตร), m คือ มวลของของไหลที่ไหลในช่วงเวลานั้นๆ และ p คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ซึ่งจากผลการทดลองและการคำนวณพบว่า ที่ค่าความเร็วรอบเฉลี่ยในการหมุนของมอเตอร์ที่ 1200, 1400 และ 1600 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 0, 57 และ 299 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

#### 4.2 เปรียบเทียบผลการสอบเทียบกรณีอ่างเปล่า และกรณีเพิ่มเครื่องปรับระดับของเหลว

ในการทดลองสอบเทียบกรณีอ่างเปล่า ทำการสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิใช้งาน 3 จุด คือ ที่อุณหภูมิ 0.00°C, 50.00°C และ 100.00°C เพื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพ ที่ได้จากการสอบเทียบกรณีเพิ่มเครื่องปรับระดับของเหลว ซึ่งเลือกใช้ความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ยที่ 1600 รอบต่อนาที หรือที่อัตราการไหลของของเหลวเฉลี่ยเท่ากับ 299 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพน้อยที่สุด พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 6 และจะเห็นว่าค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพกรณีสอบเทียบเครื่องปรับระดับของเหลวมีค่าเพียงพอสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ถูกระบุให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดไม่เกิน  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่า Evaluation Test ระหว่างกรณีสอบเทียบ Bath Only และ Bath with FLA

#### 4.3 ผลการสอบเทียบกรณี Bath with FLA ที่จุดอุณหภูมิใช้งานอื่น

หลังจากที่ได้ทำการทดลอง และเปรียบเทียบผลกรณี Bath Only และกรณี Bath with FLA ซึ่งพบว่าค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพทั้ง 2 กรณี มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสอบเทียบที่อุณหภูมิใช้งานภายใน เครื่องปรับระดับของเหลวเพิ่มเติมที่ความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ย 1600 รอบต่อนาที ซึ่งจากผลการสอบเทียบ สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการสอบเทียบ Evaluation Test และ Accuracy Test

กับจุดอุณหภูมิสอบเทียบ ได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลดังรูปที่ 7

#### 5. สรุป

จากผลการสอบเทียบภายในเครื่องปรับระดับของเหลว (Bath with FLA) พบว่าอัตราการไหลวนของของเหลวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าการวัด และการสอบเทียบภายในเครื่องปรับระดับของเหลวจะเห็นได้จากค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มรอบในการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นการศึกษารังนี้ เครื่องปรับระดับของเหลว ที่สร้างขึ้นสามารถยกระดับของเหลวให้สูงจากระดับเดิม 5 เซนติเมตร โดยปรับความเร็วรอบสูงสุดได้ 1600 รอบต่อนาที หรือที่อัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 299 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ทั้งนี้เครื่องปรับระดับของเหลวที่สร้างขึ้นนั้น มีข้อจำกัดอยู่ที่พื้นที่ทำงานจริงที่เกิดจากบริเวณช่องเปิดของอ่างควบคุมอุณหภูมิ และความสูงของระดับน้ำถึงขอบบนของอ่าง จึงทำให้การเพิ่มความเร็วยกของมอเตอร์หรือการเพิ่มอัตราการไหลมีขีดจำกัด

ซึ่งจากการพิจารณารูปที่แสดงในรูปที่ 7 สามารถคำนวณหาค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกัน, ค่าเสถียรภาพ และค่าปรับแก้ กรณีสอบเทียบที่จุดอุณหภูมิอื่นได้จากสมการต่อไปนี้

1. ค่า Uniformity (ค่าแกน y) คำนวณได้จากสมการ  $y = (7 \times 10^{-6})x^2 - 0.0005x + 0.0287$

โดยมี Correction R-value เท่ากับ 0.92

2. ค่า Stability (ค่าแกน y) คำนวณได้จากสมการ  $y = (6 \times 10^{-5})x + 0.004$

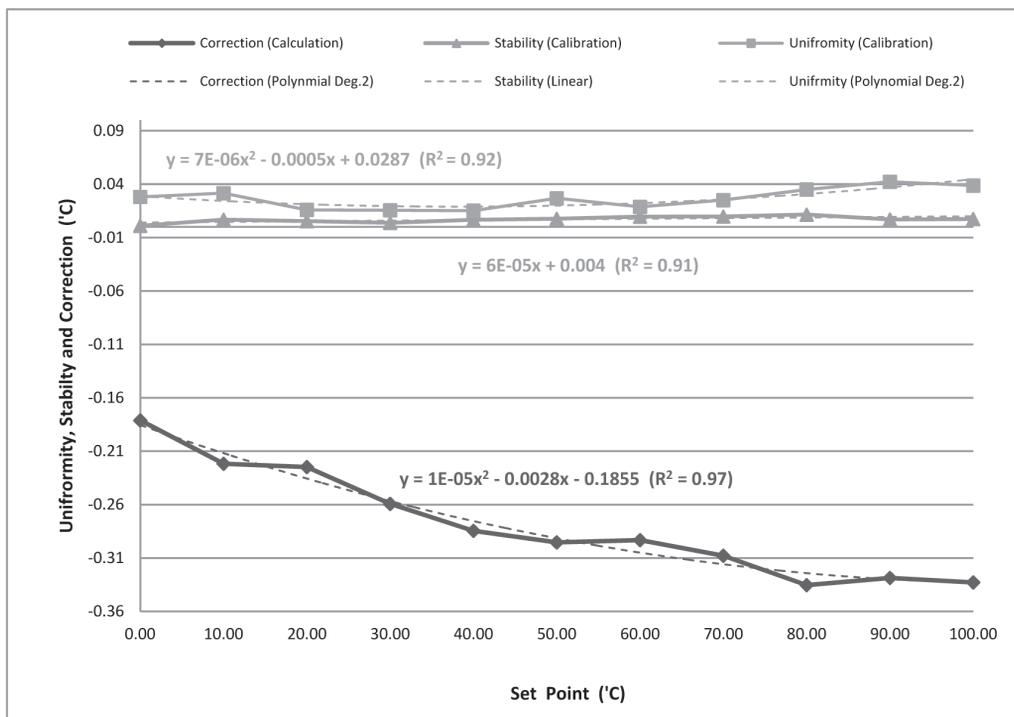
โดยมี Correction R-value เท่ากับ 0.91

3. ค่า Correction (ค่าแกน y) คำนวณได้จากสมการ  $y = (1 \times 10^{-5})x^2 - 0.0028x - 0.1855$

โดยมี Correction R-value เท่ากับ 0.97

เมื่อค่า x คือ ค่าจุดอุณหภูมิสอบเทียบ

โดยที่ค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกัน และค่าเสถียรภาพที่ได้จากสมการ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากผลการสอบเทียบ Bath รุ่นนี้ ของ Thai Heart Calibration Co.,LTD. (Certificate No. : THT-00138/12, 2012) เท่ากับ 2.1 เปอร์เซ็นต์ และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างผล Evaluation Test และ Accuracy Test กับจุดอุณหภูมิสอบเทียบ

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า เครื่องปรับระดับของเหลวที่สร้างขึ้นนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นอุปกรณ์เสริมของอ่างควบคุมอุณหภูมิในกรณีสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์แบบแท่งแก้วได้ดี เนื่องจากค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกัน และค่าเสถียรภาพดังกล่าวเพียงพอสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์มิสเตอร์ชนิดที่ถูกกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดไม่เกิน  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  และหากเป็นกรณีสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์แบบแท่งแก้วสามารถสอบเทียบ ASTM เทอร์มิสเตอร์ประเภท 63C, 64C, 65C และ 66C เนื่องจากมีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง  $-8^{\circ}\text{C}$  ถึง  $105^{\circ}\text{C}$  [2] ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงอุณหภูมิใช้งานของอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กล่าวได้ว่าเครื่องปรับระดับของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นมานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์แบบแท่งแก้วได้ และจากหลักการทำงานรวมทั้งส่วนประกอบของเครื่องปรับระดับของเหลวที่สร้างขึ้นนั้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอ่างควบคุมอุณหภูมิอื่นได้ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพการสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์แบบแท่งแก้วให้กับอ่างควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวด้วยเช่นเดียวกัน

### 6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่า อัตราการไหลวนของของเหลวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าการวัด และการสอบเทียบภายในเครื่องปรับระดับของเหลว นั้น จะเห็นได้จากค่าความเป็นรูปแบบอันเดียวกันและค่าเสถียรภาพมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มรอบในการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นการลดขนาดของท่อয়กระดับของเหลวลง (ขยายขนาดช่องการไหลออกของของเหลวให้ใหญ่ขึ้นอีก) เพื่อให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลวนของของเหลว น่าจะเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่ช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอ่างควบคุมอุณหภูมิกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบลดลงได้อีก แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การใช้งานภายในอ่างการสอบเทียบซึ่งหากลดขนาดท่อลงอีก จะทำให้เหลือพื้นที่ใช้งานในการสอบเทียบภายใน เครื่องปรับระดับของเหลวน้อยลงด้วยเช่นกัน

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ และห้องปฏิบัติการศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และสนับสนุนชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Technology Promotion Association (Thailand-Japan). Measuring Instrument Calibration. Bangkok, Thailand. 2008. (In Thai).
- [2] Nicholas J.V., and White D.R. Traceable Temperature An Introduction to Temperature Measurement and Calibration. 2nd ed. New Zealand: John Wiley & Sons, LTD. 2001.
- [3] National Institute of Metrology (Thailand). Digital Thermometer and Temperature Source Calibration. Bangkok, Thailand. 2008. (In Thai).
- [4] Merlone A., Lacomini L., Tiziani A., and Marcarino P. A liquid bath for accuracy temperature measurements. Science Direct. , 2007(40): 422-427.
- [5] Hill K.D., Gee D.J., Cross C.D., and Strouse G.F. NIST-NRC Comparison of Total Immersion Liquid-in-Glass Thermometers. Int J Thermophys, 2009(30): 341-350.
- [6] Hunter W., and David R. A liquid-in-glass thermometer read by an interferometer. Sensor and Actuators, 2005(A 121): 31-34.
- [7] Dow Corning Corporation. Dow Corning(R) 200 Fluid, 50 CST. Material Safety Data Sheet. Michigan. 2001.
- [8] Scientific H, inventor. Model 7025 Calibration Bath User Manual. Utah Valley Drive American Folk, Utah. 1996.
- [9] Loreface S. Traceability and uncertainty analysis in volume measurements. Measurement, 2009(42): 1510-1515.
- [10] Groselj D. Guidance on Instrumentation for Calibration Laboratories including RICs. Instruments and Observing Method Report No.101. World Meteorological Organization (WMO), Switzerland. 2010