

การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องปรับระดับของเหลว ที่มีผลต่อการวัดในการ สอบเทียบสาขาอุณหภูมิ

The Effect of Temperature Distribution inside the Fluid Level Adapter on the Temperature Calibration

มณฑิตา สมจันทร์¹ และ สิริวิชัย เตชะเจษฎารังษี^{2*}

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
จ. ขอนแก่น 40002

*ติดต่อ: โทรศัพท์: 043 202 945, โทรสาร: 043 202 849

E-mail : sirtae@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของของเหลว ที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องปรับระดับของเหลว (Fluid Level Adapter, FLA) ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น เพื่อช่วยยกระดับความสูงของของเหลวภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในการสอบเทียบด้านอุณหภูมิ โดยเครื่องปรับระดับของเหลวนี้ช่วยแก้ปัญหาในการอ่านค่าอุณหภูมิ ซึ่งทำได้ลำบากในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีจำหน่ายทั่วไป และช่วยลดค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer) ทั้งนี้อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีช่วงอุณหภูมิใช้งานในช่วง -20°C ถึง 120°C และได้ทำการสอบเทียบ 3 จุด ได้แก่ 0.00°C , 50.00°C และ 100.00°C โดยทำการควบคุมอัตราการไหลเข้าของของเหลวสู่เครื่องปรับระดับของเหลวเป็นแบบคงที่ค่าเดียว และให้ของเหลวมีการไหลวน (Over Flow) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งชุด Fluid Level Adapter นี้สามารถยกระดับของเหลวให้สูงจากระดับเดิม 5 cm พบว่าค่าความเป็นรูปแบบเดียวกันของอุณหภูมิ (Uniformity) ของเครื่องมือค่าเท่ากับ 0.0706°C , 0.1566°C , 0.0952°C และค่าเสถียรภาพ (Stability) มีค่าเท่ากับ 0.0283°C , 0.0806°C , 0.0094°C เมื่อสอบเทียบ ณ อุณหภูมิ 0.00°C , 50.00°C และ 100.00°C ตามลำดับ ซึ่งค่า Uniformity และค่า Stability ดังกล่าวเพียงพอสำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว ASTM ประเภท 63C, 64C, 65C และ 66C ซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Error) ไม่ควรเกิน 0.1°C [3] และมีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -8°C ถึง 105°C [3] ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าว อยู่ในช่วงอุณหภูมิใช้งานของอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กล่าวได้ว่า เครื่องปรับระดับของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นมานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วได้

คำสำคัญ : เครื่องปรับระดับของเหลว, เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว, 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 (FLA) 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. The calibrated temperature was set to 0.00°C, 50.00°C and 100.00°C with constant overflow rate from fluid level adapter. From the calibration results, it was found that the estimate uniformity were 0.0706°C, 0.1566°C, 0.0952°C and stability of measurement were 0.0283°C, 0.0806°C, 0.0094°C for 0.00°C, 50.00°C and 100.00°C set point respectively. The temperature stability and uniformity in the measuring zone are suitable to perform some types of ASTM liquid-in-glass thermometer calibration such as LIG standard model of 63C, 64C, 64C and 65C types. From the results, it's indicated that the in-house fluid level adapter can be applied to use with any liquid bath on the purpose of uncertainty reduction.

Keywords : Fluid Level Adapter, Liquid-in-Glass Thermometer, Temperature Calibration

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบมาตรฐานในการวัด และการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าระหว่างประเทศ และเป็นการสร้างมาตรฐานในการซื้อ - ขาย แลกเปลี่ยนสินค้า และการบริการในชีวิตประจำวันให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น การวัดและการสอบเทียบทางด้านอุณหภูมิ เป็นอีกสาขาหนึ่งของระบบมาตรฐานในการวัด และการสอบเทียบเครื่องมือวัด ที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นเครื่องบอกระดับความร้อน และความร้อนเป็นสิ่งที่สามารถสร้าง และทำลายสิ่งต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับและปริมาณของความร้อน [1] ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานและศาสตร์ทุกแขนง ทั้งทางภาคอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ งานทางด้านการแพทย์ และในชีวิตประจำวันอื่น ๆ

เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดหนึ่ง ซึ่งยังคงเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นฐานที่ใช้งาน ราคาถูก เป็นเอกเทศในการอ่านผลของการวัด และ

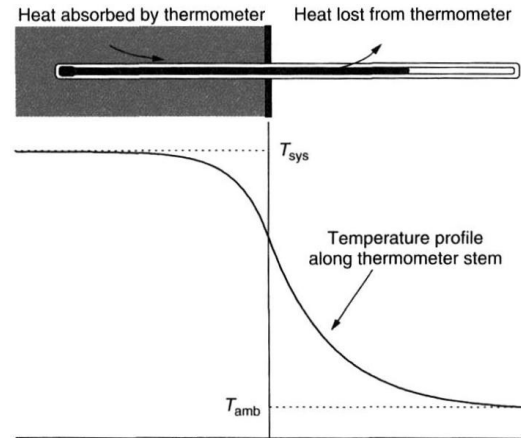
ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [3] ปัญหาความคลาดเคลื่อนในการวัดและการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วที่เกิดจากการจุ่ม (Immersion Errors) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระดับของเหลวในแท่งแก้วไม่สามารถรักษให้อยู่ในระดับเดียวกันกับของเหลวภายนอก (ระดับของเหลวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ) มีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัดและการสอบเทียบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของของเหลว ที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องปรับระดับของเหลว (Fluid Level Adapter, FLA) ซึ่งเป็นชุดทดสอบที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อช่วยยกระดับความสูงของของเหลวภายในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในการสอบเทียบด้านอุณหภูมิ ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer) และเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจุ่ม ซึ่งมีผลต่อ

ค่าความถูกต้องในการวัด และการสอบเทียบ อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อชุดอุปกรณ์เพิ่มเติมดังกล่าว เนื่องจากเป็นอุปกรณ์นำเข้า มีราคาค่อนข้างสูง

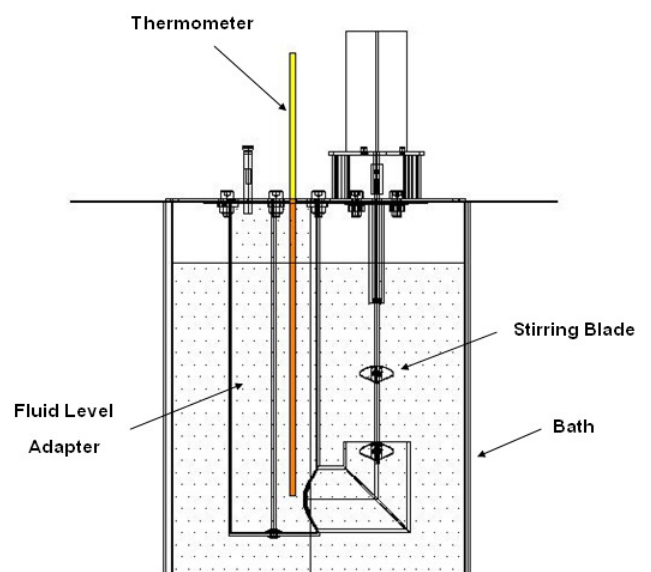
2. ทฤษฎี

หากแบ่งประเภทของเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วตามลักษณะ หรือสภาวะของการจุ่มเมื่อใช้งานแล้ว สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ได้แก่ แบบจุ่มหมดทั้งแท่ง (Complete Immersion), แบบจุ่มทั้งหมด (Total Immersion) โดยให้ของเหลวที่อยู่ในแท่งและนอกแท่งแก้วอยู่ในระดับเดียวกัน และแบบจุ่มบางส่วน (Partial Immersion) ซึ่งในปัจจุบันเทอร์โมมิเตอร์แท่งแก้วแบบ Total Immersion เป็นที่ได้รับความนิยมสูงสุดเนื่องจากมีค่าความถูกต้องสูง [3] ปัญหาความคลาดเคลื่อนในการวัดและการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วนั้น เกิดจากหลายปัจจัย และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจุ่ม (Immersion Errors) ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ที่มีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัดและการสอบเทียบ [6,7] โดยเฉพาะกับเทอร์โมมิเตอร์แท่งแก้วแบบ Total Immersion เนื่องจากเป็นแบบที่กำหนดให้มีระยะการจุ่มของของเหลวในแท่งแก้วจะต้องมีระดับเท่ากับของเหลวที่ต้องการวัดอุณหภูมิที่อยู่ด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 1 หากระดับของเหลวในแท่งแก้วไม่อยู่ในระดับเดียวกันกับของเหลวด้านนอก จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ระหว่างแท่งแก้วกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ทำให้ค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้จะมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิของบรรยากาศมากขึ้นเรื่อย ๆ และมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดหรือการสอบเทียบ [5]



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจุ่มและค่าของอุณหภูมิ ตลอดช่วงของเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่อง FLA ดังรูปที่ 2 ขึ้นเพื่อช่วยยกระดับของเหลว เพื่อเป็นการเพิ่มระยะการจุ่มให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้จริงให้ได้มากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometer) และได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในชุดทดสอบดังกล่าว โดยใช้หลักการอัดของเหลวด้วยใบพัด เพื่อยกระดับของเหลวให้สูงขึ้น



รูปที่ 2 ชุดเครื่องปรับระดับของเหลว (Fluid Level Adapter)

3. การทดลอง

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ในงานวิจัยนี้ คือรุ่น Hart Scientific Model 7205 ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -20°C ถึง 120°C [3] โดยใช้ Dow Corning 200.50 Silicone Oil เป็นของเหลวตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทำการทดลองโดยสอบเทียบ Bath ที่อุณหภูมิ 0.00°C, 50.00°C และ 100.00 °C เพื่อเปรียบเทียบค่าภาวะเอกรูป หรือค่าความเป็นรูปแบบเดียวกัน (Uniformity) และค่าเสถียรภาพ (Stability) ของ Bath ซึ่งค่าดังกล่าวมีผลต่อค่าความถูกต้องในการวัด และการสอบเทียบ (Accuracy) ของเครื่องมือ [8] ระหว่างกรณีที่ยังไม่ได้ใส่เครื่อง FLA (สอบเทียบ Bath เปล่า) และกรณีที่เพิ่มเครื่อง FLA ลงไป ใน Bath โดยเครื่อง FLA นี้สามารถยกระดับของเหลวขึ้นจากระดับของเหลวเดิมภายในอ่างได้สูงสุด 5 cm โดยควบคุมการไหลเข้าของของเหลวแบบคงที่ โดยให้มีการไหลวน (Over Flow) ระหว่างของเหลวภายในชุด Fluid Level Adapter กับภายใน Bath

3.1 Evaluation Test

Evaluation Test แยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาค่า Uniformity หรือค่าความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิภายใน Bath และค่า Stability ซึ่งก็คือ ค่าความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายใน Bath [2]

ในการหาค่า Uniformity ทำได้โดยการจุ่ม Thermometer 1 : STD1 (Fixed Standard) ไว้ที่ตำแหน่ง P2 และ Standard Thermometer 2 : STD2 (Moving Standard) ย้ายไปตามตำแหน่งที่ถูกกำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3 บันทึกค่าที่อ่านได้จาก STD1 และ STD2 และหาค่า Uniformity, T_{uni} จาก

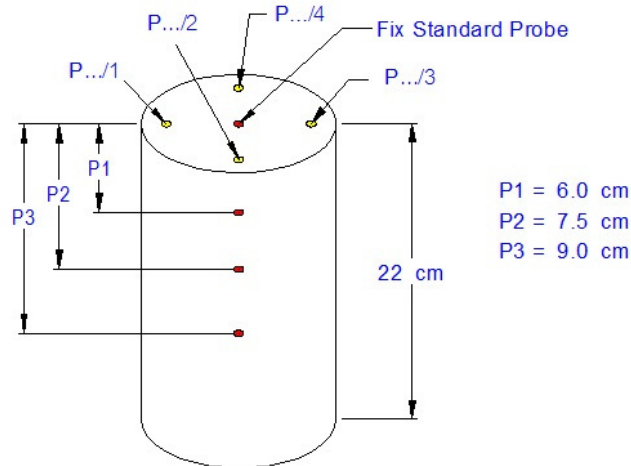
$$T_{uni} = T_{D/Max} - T_{D/Min} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_D = (T_{STD1} - T_{STD2}) - T_{corr} \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ $T_{D/Max}$, $T_{D/Min}$ คือ ผลต่างที่มากและน้อยที่สุดระหว่าง STD1 และ STD2 ณ ตำแหน่งที่ทำการสอบเทียบ ที่อุณหภูมินั้น ๆ ตามลำดับ

T_{STD1} , T_{STD2} คือ ผลการวัดอุณหภูมิของ STD1 และ STD2 ในแต่ละตำแหน่ง

T_{corr} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก STD1 และ STD2 ณ ตำแหน่ง P2 ที่อุณหภูมินั้น ๆ [2]



ตำแหน่งและระยะจุ่มที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น P1/2 หมายถึง ระดับความลึกที่ 1 ตำแหน่งที่ 2

รูปที่ 3 ตำแหน่งของจุดที่สอบเทียบ

ส่วนค่า Stability หาได้จากการเก็บค่าที่อ่านได้จาก STD1 (ณ ตำแหน่ง P2) โดยเก็บค่าในเวลาเท่ากันทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 30 นาที โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการสอบเทียบ [2, 3] ซึ่งค่า Stability, T_s คำนวณได้จาก

$$T_s = (T_{Max,s} - T_{Min,s})/2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่

$T_{Max,s}$ = อุณหภูมิสูงสุดที่อ่านได้ในช่วงเวลา 30 นาที

$T_{Min,s}$ = อุณหภูมิต่ำสุดที่อ่านได้ในช่วงเวลา 30 นาที

3.2 Accuracy Test

Accuracy Test เป็นการสอบเทียบความถูกต้องในการอ่านค่าอุณหภูมิของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Under Unit Calibration, UUC) และเครื่องมือมาตรฐาน (Standard Probe) ทำได้โดยนำ STD1 วางใกล้กับ Sensor ของ Bath ให้ได้มากที่สุด (ณ ระดับ

P2) จากนั้นเก็บค่าที่อ่านได้จาก STD1 และ UUC เพื่อคำนวณหาค่าปรับแก้ (Correction) จาก

$$\text{Correction} = \text{STD} - \text{UUC} \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่ STD คือ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก STD1
UUC ค่า อุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมือ [2]

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 0.00°C , 50.00°C และ 100.00°C โดยให้มีการไหลวนของของเหลว ระหว่างชุดทดสอบกับ Bath ในอัตราเร็วคงที่ ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

4.1 Evaluation Test Result ในการสอบเทียบหาค่า Uniformity และ Stability เมื่อสอบเทียบ Bath เปลา่ และเมื่อเพิ่มเครื่อง FLA มีผลการสอบเทียบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Evaluation Test Result

Set Point (°C)	Item	Uniformity ± (°C)	Stability ± (°C)
0.00	Bath Only	0.0203	0.0030
	Bath with FLA	0.0706	0.0283
50.00	Bath Only	0.0484	0.0791
	Bath with FLA	0.1566	0.0806
100.00	Bath Only	0.0337	0.0085
	Bath with FLA	0.0952	0.0094

4.2 Accuracy Test Result

ผลการสอบเทียบหาค่า Accuracy พบว่าค่าปรับแก้ (Correction) ณ จุดสอบเทียบ 0.00°C , 50.00°C และ 100.00°C เมื่อสอบเทียบ Bath เปลา่ และเมื่อเพิ่มชุด Fluid Level Adapter มีผลการสอบเทียบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Accuracy Test Result

Set Point (°C)	Item	STD (°C)	UUC (°C)	Correction (°C)
0.00	Bath Only	0.1628	0.3500	-0.1872
	Bath with FLA	0.17765	0.3510	-0.17335
50.00	Bath Only	50.0504	50.347	-0.2965
	Bath with FLA	50.0304	50.3500	-0.3195
100.00	Bath Only	100.0394	100.3990	-0.3595
	Bath with FLA	100.0795	100.401	-0.3214

จากผลการสอบเทียบดังกล่าวจะพบว่า ค่า Uniformity และค่า Stability เมื่อสอบเทียบใน FLA จะมีค่าสูงกว่า (หรือแย่กว่า) กรณีที่สอบเทียบ Bath เปลา่ ที่ทุกจุดอุณหภูมิที่ใช้สอบเทียบ เนื่องจากระดับของเหลวได้ถูกยกขึ้นมาจากระดับอ้างอิงเดิม ทำให้เกิดการคายความร้อนออกไปสู่บรรยากาศภายนอก ส่งผลให้ค่า Uniformity และ Stability เพิ่มขึ้น

5. สรุป

จากผลการสอบเทียบเครื่องปรับระดับของเหลว (Fluid Level Adapter) ณ จุดอุณหภูมิสอบเทียบ 3 จุด ได้แก่ 0.00°C, 50.00°C และ 100.00°C โดยทำการควบคุมอัตราการไหลเข้าของของเหลวสู่เครื่องปรับระดับของเหลวเป็นแบบคงที่ค่าเดียว และให้ของเหลวมีการไหลวน (Over Flow) อย่างต่อเนื่อง กรณีที่ยกระดับของเหลวให้สูงจากระดับเดิม 5 cm พบว่าค่า Uniformity ของเครื่องมีค่าเท่ากับ 0.0706°C, 0.1566°C และ 0.0952°C และค่า Stability มีค่าเท่ากับ 0.0283°C, 0.0806°C และ 0.0094°C เมื่อสอบเทียบ ณ อุณหภูมิ 0.00°C, 50.00°C และ 100.00°C ตามลำดับ ซึ่งค่า Uniformity และค่า Stability ดังกล่าวเพียงพอสำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว ASTM ประเภท 63C, 64C, 65C และ 66C ซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Error) ไม่ควรเกิน 0.1°C [3] และเทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้วดังกล่าว

มีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $105\text{ }^{\circ}\text{C}$
[3] ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าว อยู่ในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
ของอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Bath) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
กล่าวได้ว่า เครื่องปรับระดับของเหลวที่ถูกสร้างขึ้นมา
นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อเพิ่มขีด
ความสามารถในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบ
แท่งแก้วได้

6. ข้อเสนอแนะ

ในการสอบเทียบควรทำการปรับเปลี่ยนค่า
อัตราเร็วในการไหลวนของของเหลวภายในเครื่อง
FLA ให้เร็วขึ้น ด้วยการลดขนาดของท่อয়กระดับ
ของเหลวลง (ขยายขนาดช่องการไหลออกของ
ของเหลว) เพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนระหว่าง
อ่างควบคุมอุณหภูมิกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลให้ค่า
ความคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบลดลง แต่ทั้งนี้
ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การใช้งานภายใน
อ่างการสอบเทียบซึ่งหากลดขนาดท่อয়กระดับ
ของเหลวของชุด FLA ลงจะทำให้เหลือพื้นที่ใช้งานใน
การสอบเทียบเครื่องมือน้อยลง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการศูนย์สอบ
เทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ และสนับสนุนชุดอุปกรณ์ที่ใช้ใน
การทดสอบในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] การสอบเทียบเครื่องมือวัด. กรุงเทพมหานคร :
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551
- [2] เอกสารประกอบการสอนหลักสูตร การสอบเทียบ
Digital Thermometer & Temperature Source
Digital Thermometer & Temperature Source
Calibration. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ National
Institute of Metrology (Thailand), 2551

- [3] J.V. Nicholas, D.R. White (2001) Traceable
Temperatures An Introduction to Temperature
Measurement and Calibration 2nd- ed.
Measurement Standard of New Zealand.
- [4] Model 7025 Calibration Bath User Manual.
Hart Scientific. Utah : 9
- [5] R. David, Ian W. Hunter. 2005 . A liquid-in-
glass thermometer read by an interferometer.
Sensors and Actuators A 121 (2005) 31–34.
- [6] A.Merlone, L.Iacomini, A.Tiziani, P. Marcarino.
2007. A liquid bath for accurate temperature
measurements. Measurement 40 (2007) 422–427.
- [7] K.D. Hill, D. J. Gee, C. D. Cross, G. F.
Strouse. 2009. NIST–NRC Comparison of Total
Immersion Liquid-in-Glass Thermometers. Int J
Thermophys (2009) 30:341–350.
- [8] S.Lorefice. 2009. Traceability and uncertainty
analysis in volume measurements. Measurement
42 (2009) 1510–1515.