

การวิเคราะห์ระบบฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการสอบเทียบ  
อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD เป็นกรณีศึกษา

DATABASE ANALYSIS FOR TEMPERATURE INSTRUMENT  
CALIBRATION PROCESS: A CASE OF RTD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวารสารศึกษาศาสตร์และนิตยสารปริทัศน์วารสารกรรมสารธรรมทานบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMUTL-2009-EN-M-060-899

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ระบบฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการสอบเทียบ  
อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD เป็นกรณีศึกษา

DATABASE ANALYSIS FOR TEMPERATURE INSTRUMENT  
CALIBRATION PROCESS: A CASE OF RTD



อาทิตย์ ตันประเสริฐ  
ARTHIT TONPRASERT

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....87093  
วัน,เดือน,ปี.....30 ส.ค. 2552

b.....  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-060-399

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DATABASE ANALYSIS FOR TEMPERATURE INSTRUMENT CALIBRATION**

**PROCESS: A CASE OF RTD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2008**

**KMITL-2008-EN-M-060-399**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2008**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ระบบฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการสอบเทียบอุปกรณ์  
ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD เป็นกรณีศึกษา

Database Analysis for Temperature Calibration Process : A Case of RTD

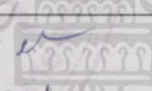

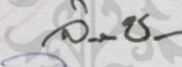
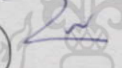
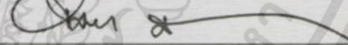
นักศึกษา นายอาทิตย์ ต้นประเสริฐ

รหัสประจำตัว 47060651

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	
ผศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์	
รศ.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม	
รศ.ไสว พงศ์สวัสดิ์	
ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 20 พฤษภาคม 2551 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....1.....เดือน.....สิงหาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ระบบฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
สำหรับการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้  
RTD เป็นกรณีศึกษา

นักศึกษา

นายอาทิตย์ ดันประเสริฐ

รหัสประจำตัว

47060651

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

พ.ศ.

2551

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. วิสชุด ศิริรัตน์ะ

### บทคัดย่อ

การสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดและควบคุมปริมาณตัวแปรต่างๆ ทางอุตสาหกรรมนั้น โดยปกติแล้วจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขและสภาวะแวดล้อมที่ถูกควบคุมให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิห้องหรือความชื้นสัมพัทธ์ รวมไปถึงบุคลากรผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ ความเชี่ยวชาญตลอดจนมีทักษะและความชำนาญในการสอบเทียบเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพื่อให้ผลที่ได้จากการสอบเทียบมีความเที่ยงตรงและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอถึงระบบ กระบวนการและวิธีการสอบเทียบอุปกรณ์ในส่วนของตัวแปรที่เป็นอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์ชนิด PT100 เป็นกรณีศึกษา อันจะประกอบด้วยชุดกำเนิดอุณหภูมิคงที่ในช่วงตั้งแต่ 25 °C ถึง 100 °C และ PT100 จำนวน 3 ตัว ทำการทดสอบภายในเวลาเดียวกันภายใต้สภาวะแวดล้อมของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 สถานที่ พร้อมกับเก็บข้อมูลทุกๆ 5 °C ด้วย Data Logger ก่อนที่จะส่งผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงของการทดสอบโดยอัตโนมัติ จากโปรแกรมระบบฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ นอกจากนี้ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นยังสามารถทำการสอบเทียบอุปกรณ์ได้พร้อมกัน 8 ตัว โดยอ้างอิงกับอุปกรณ์มาตรฐาน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและลดช่วงเวลาในการสอบเทียบให้น้อยลง

**Thesis Title** Database Analysis for Temperature Instrument Calibration Process :  
A case of RTD

**Student** Arthit Tonprasert

**Student ID.** 47060651

**Degree** Master of Engineering

**Program** Instrumentation Engineering

**Year** 2008

**Thesis Advisor** Asst. Prof. Witsarut Sriratana

### ABSTRACT

According to standard requirement, the calibration of instrument for industrial measurement and process control needs to perform under specific conditions and controlled environment not only room ambient temperature and relative humidity but also operators of such activity. The appropriate skill and experience of the operator are essentially required for accurate and reliable process system. This study presents the calibration procedure for temperature measurement using PT100 as a case study. The model developed consists of a temperature stabilizer which can provide the fixed temperature ranging from 25 °C to 100 °C and 3 sets of PT100. The experiment was simultaneously performed under 3 different conditions and data were collected by data logger for 5 °C increment and then transmitted to a computer via RS-232 serial port. For statistical analysis, mean, standard deviation, statistical error, and uncertainty of each measured range were automatically estimated by database system developed. Moreover, the calibration system proposed in this study can also used with 8 calibration modules simultaneously by referring with the standard instrument for ease and time use reduction.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสรุต ศรีรัตนะ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ รศ.จิรศักดิ์ ชาญวุฒิชิธรรม ผศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์ รศ.ไสว พงศ์สวัสดิ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการสอบเทียบทางอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์มาใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณและขอบใจ พี่ เพื่อน และน้อง ทั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และที่บริษัท ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัยและคอยเป็นกำลังใจให้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ พ่อและแม่ บุพการีผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัยและคอยเป็นกำลังใจตลอดมา

อาทิตย์ ต้นประเสริฐ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและความสำคัญของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน.....	5
2.1 คุณลักษณะของอาร์ทีดี.....	5
2.2 การวัดและการสอบเทียบ.....	12
2.2.1 วิธีการสอบเทียบที่ใช้ในปัจจุบัน.....	13
2.3 ความไม่แน่นอนของการวัด.....	14
2.3.1 นิยามความคลาดเคลื่อนของการวัด.....	15
2.3.2 ชนิดของความคลาดเคลื่อน.....	16
2.3.3 ความไม่แน่นอนของการวัด.....	16
2.4 วิธีประเมินค่าความไม่แน่นอน.....	16
2.4.1 ประเมินค่าความไม่แน่นอน “Type A”.....	17
2.4.2 ประเมินค่าความไม่แน่นอน “Type B”.....	18
2.5 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดของ Type B.....	18
2.5.1 Rectangular Probability Distribution.....	18
2.5.2 Triangular Probability Distribution.....	19
2.5.3 U-Shape Probability Distribution.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.4 Normal or Gaussian Probability Distribution.....	20
2.5.5 Combined Standard Uncertainty.....	21
2.5.6 Expanded Uncertainty .....	21
2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับ Dry Well (รุ่น 9105 -25-140°C) .....	22
2.7 ข้อมูลเกี่ยวกับ Analog Input Module (AI210) .....	23
2.8 การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และ Visual Basic.....	24
2.9 การเชื่อมต่อ Visual Basic เข้ากับ Access.....	26
<b>บทที่ 3 การออกแบบและทดสอบระบบการวัดและฐานข้อมูล.....</b>	<b>27</b>
3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบ .....	27
3.2 ขั้นตอนการออกแบบการสอบเทียบ.....	29
3.3 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูลของระบบ.....	31
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบ .....</b>	<b>42</b>
4.1 การทดสอบระบบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	42
4.2 การทดสอบระบบที่ศาลาฟ้าดึก.....	47
4.3 การทดสอบระบบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	51
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดสอบ.....	55
4.5 ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการทดสอบ.....	57
4.6 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกต่อระบบการสอบเทียบ.....	61
4.6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมিরอบข้าง ต่อตัว Standard Probe ที่นำมาใช้.....	62
4.6.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมিরอบข้าง ต่อตัว PT100 ที่ใช้งานทั่วไป.....	65
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....</b>	<b>71</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย.....	72
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	111
ภาคผนวก ค.....	116
ภาคผนวก ง.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	127



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิของวัสดุแต่ละชนิด .....	6
2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ .....	8
2.3 รหัสและย่านการวัดของสัญญาณแต่ละชนิด (Measuring Range Code) .....	23
4.1 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	43
4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ ที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	46
4.3 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลผลการทดสอบที่ศาลฟ้าตึก.....	48
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ ที่ทำการทดสอบที่ศาลฟ้าตึก.....	50
4.5 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	52
4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ ที่ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	54
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของทั้ง 3 สถานที่.....	57
4.8 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัด ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	59
4.9 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัดที่ศาลฟ้า.....	60
4.10 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัดที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	61
4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับศาลฟ้าตึก.....	62
4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	64
4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับศาลฟ้าตึก .....	65
4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	66
4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับศาลฟ้าตึก.....	68
4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ .....	69
4.17 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ.....	70

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าความต้านทานสัมผัส (Rt /Rref) ต่ออุณหภูมิของโลหะบางชนิด.....	7
2.2 แสดง Protecting Tube (Probe) ของ RTD.....	8
2.3 แสดง Protecting Well สำหรับป้องกันความเสียหายจากวัด.....	9
2.4 ลักษณะ โครงสร้างโดยทั่วไปของ RTD .....	10
2.5 ลักษณะรูปร่างของ RTD ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม.....	10
2.6 แสดงวงจรบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับ RTD ในการวัดอุณหภูมิ.....	11
2.7 การสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับ Dry Well.....	13
2.8 การสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับ SPRT.....	14
2.9 การแจกแจงปกติ.....	15
2.10 กราฟ Rectangular.....	18
2.11 กราฟ Triangular.....	19
2.12 กราฟ U-Shape.....	20
2.13 กราฟ Gaussian.....	20
2.14 กราฟ T-Distribution.....	22
2.15 Dry well Calibrator HART Model 9105.....	22
2.16 Analog Input Modules WISCO AI210.....	24
2.17 การเขียน โปรแกรมสั่งงานตั้งค่า Set point ที่ 35 °C.....	24
2.18 การเขียน โปรแกรมสั่งงานการอ่านและรับค่าจากตัว AI210 .....	25
2.19 การเขียน โปรแกรมสั่งงานเชื่อมต่อนานข้อมูล Access ด้วย ADO .....	26
3.1 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบ.....	27
3.2 ตัวอย่างระบบที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.3 แผนภูมิการทำงานของ โปรแกรม .....	28
3.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของ ส่วนของการเก็บข้อมูลอุปกรณ์ก่อนการสอบเทียบ .....	29
3.5 แผนภูมิขั้นตอนการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ.....	30
3.6 หน้าจอการ Log In เข้าสู่โปรแกรม.....	31
3.7 หน้าจอที่ 2 แสดงการใส่ข้อมูลอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบ.....	31
3.8 หน้าจอแสดงการป้อนค่า Serial Number.....	32
3.9 หน้าจอแสดงการเลือก MENU ในการทำงาน.....	32
3.10 หน้าจอแสดงการเลือกฟังก์ชันการทำงาน.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

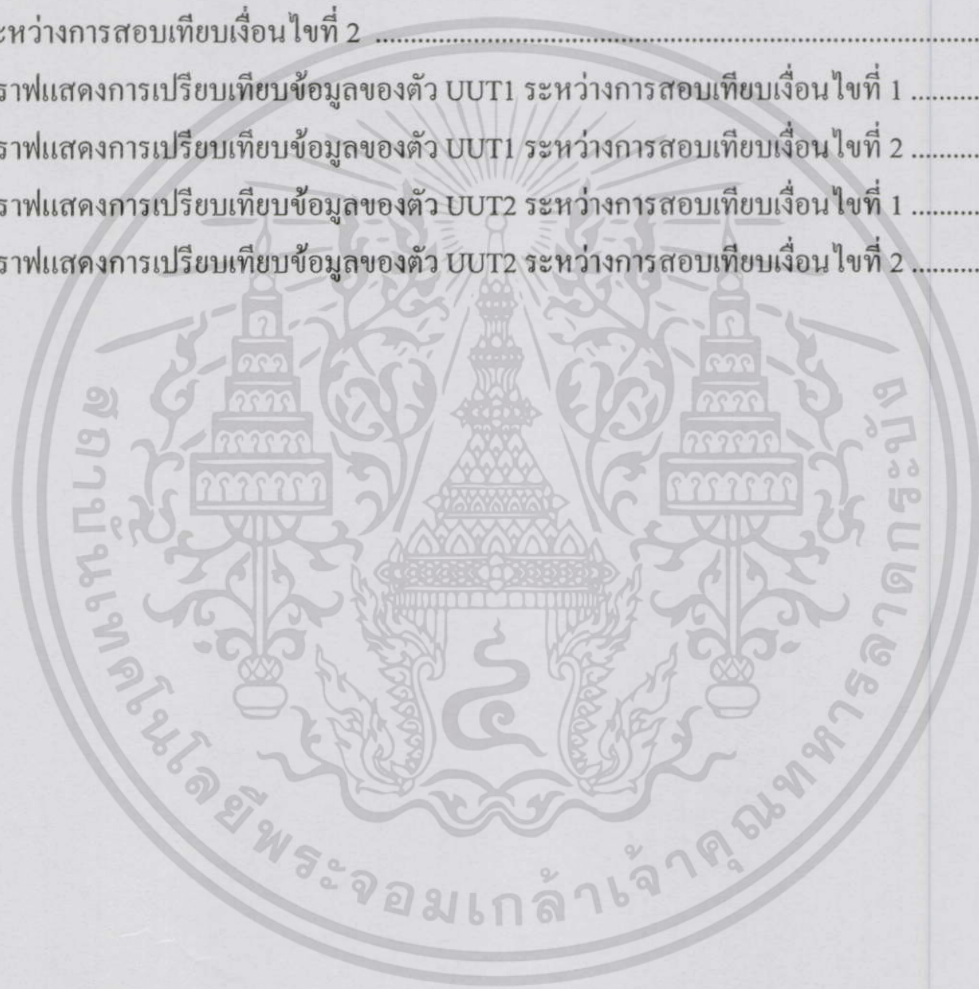
## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 หน้าจอแสดงการค้นหาข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบฐานข้อมูล.....	34
3.12 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลอุปกรณ์ที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล.....	34
3.13 หน้าจอแสดงการกรอกข้อมูลด้านการสอบเทียบ.....	35
3.14 หน้าจอแสดงการยืนยันข้อมูล.....	36
3.15 หน้าจอแสดงการเก็บข้อมูลลูกค้า.....	36
3.16 หน้าจอแสดงการเลือกช่องที่จะนำอุปกรณ์ไปเชื่อมต่อ.....	37
3.17 หน้าจอแสดงการป้อนข้อมูลผู้ทำการสอบเทียบ.....	37
3.18 หน้าจอแสดงออกใบรับเรื่อง.....	38
3.19 หน้าจอแสดงการติดต่ออุปกรณ์ในการสอบเทียบ.....	38
3.20 หน้าจอแสดงการเลือกชนิดของอุปกรณ์.....	39
3.21 ตัวอย่างการตั้งค่าการทำงานของระบบ.....	39
3.22 การทำงานของโปรแกรมขณะที่ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 50 °C .....	40
3.23 หน้าจอสรุปผลการสอบเทียบ.....	41
3.24 หน้าจอแสดงผลข้อมูลก่อนการส่งพิมพ์ใบ Certificate.....	41
4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....	43
4.2 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C.....	44
4.3 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C.....	44
4.4 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C.....	45
4.5 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C.....	45
4.6 ระบบที่ใช้ในการทดสอบที่ศาลฟ้าศึก.....	47
4.7 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C.....	48
4.8 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C.....	49
4.9 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C.....	49
4.10 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C.....	50
4.11 ระบบที่ใช้ในการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์.....	51
4.12 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C.....	52
4.13 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C.....	53
4.14 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C.....	53
4.15 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT1 ใน 3 สถานที่.....	56
4.17 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT2 ใน 3 สถานที่.....	56
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว Standard Probe ระหว่างการสอบเทียบ ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1 .....	63
4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว Standard Probe ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2 .....	64
4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT1 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1 .....	66
4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT1 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2 .....	67
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT2 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1 .....	68
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT2 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2 .....	69



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดและควบคุมปริมาณตัวแปรต่างๆ ในงานทางอุตสาหกรรมนั้นจัดว่ามีความจำเป็นมาก และอุณหภูมินั้นก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวแปรอื่นๆ เช่นความดัน การไหล ระดับ หรือความหนาแน่นของของเหลว ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้มีความถูกต้องแม่นยำอยู่เสมอจึงเป็นเรื่องจำเป็นยกตัวอย่างเช่นการผลิตพลาสติก ถ้าเกิดมีการควบคุมอุณหภูมิ หรืออ่านค่าอุณหภูมิกว้างเกินไปจะส่งผลกระทบต่อออกมาทำให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายในการทำงาน โดยเปล่าประโยชน์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการจัดทำระบบการควบคุมคุณภาพในการผลิตซึ่งเกี่ยวข้องไปถึงการควบคุมอุณหภูมิในการผลิตด้วย และในระบบการควบคุมอุณหภูมินั้นประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ ตัวควบคุมอุณหภูมิ และตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งถ้าเราต้องการให้มีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัดอุณหภูมินั้นเราต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการสอบเทียบอุปกรณ์ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ของเรานั้นมีความถูกต้อง แม่นยำในการวัดมากน้อยแค่ไหน โดยทั่วไปแล้วนั้นการสอบเทียบได้ถูกรับรองไว้ในระบบ ISO 9000 ทำให้หลายบริษัทที่มีการทำระบบนี้จะต้องมีการวางแผนการสอบเทียบอุปกรณ์กันเป็นประจำอยู่แล้ว แต่เนื่องจากระบบการสอบเทียบนั้นจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขที่กำหนด รวมไปถึงต้องใช้เวลาในการทดลองจนบุคลากรจะต้องมีความรู้และความชำนาญมาก ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการดำเนินการดังกล่าวและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบุคลากรผู้ปฏิบัติงานได้ รวมถึงการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในระหว่างการสอบเทียบ จึงได้มีการออกแบบระบบและโปรแกรมขึ้นเพื่อช่วยแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวให้ลดน้อยลง

## 1.2 จุดมุ่งหมายและความสำคัญของการศึกษา

- ออกแบบระบบการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นตัวช่วยในการทำระบบการเก็บข้อมูลและติดต่ออุปกรณ์
- ทำการทดสอบระบบโดยการนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทำการทดสอบ
- หาคความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นต่ออุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อหาช่วงการใช้งานของระบบ

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาอยู่ภายใต้หลักการที่ว่าด้วย ค่าความต้านทานของ RTD จะเปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิ โดยจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นหัววัด ซึ่งถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตามสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละวัสดุ

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการทำวิจัย

หลักการสอบเทียบโดยทั่วไปจะเป็นการสอบเทียบอุปกรณ์เทียบกับอุปกรณ์อ้างอิง โดยทำอยู่ในสภาวะที่ควบคุมไว้ภายในห้องปฏิบัติการซึ่งมีรายละเอียดในการสอบเทียบทั่วไปดังนี้

- มาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการสอบเทียบ จะต้องมีส่วนความถูกต้อง 3 ถึง 10 เท่า ต้องมีพิสัย (Range) ครอบคลุม มีความสามารถสอบกลับได้ (Traceability) ถึงมาตรฐานแห่งชาติ (National Standards) ต้องมีมาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards) คือ มาตรฐานที่มีคุณภาพทางมาตรวิทยาสถาบันที่มีอยู่ ณ ที่ใช้งาน ซึ่งความถูกต้องของหน่วยวัดที่เกี่ยวข้องทั้งหลายภายในหน่วยงานนั้น สามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานนี้ ต้องมีมาตรฐานใช้งาน (Working Standards) คือ มาตรฐานการวัดที่ได้รับการถ่ายทอดความถูกต้องจากมาตรฐานอ้างอิง ใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่นๆ ในหน่วยงานนั้น มาตรฐานอ้างอิงของการวัดที่มีความถูกต้องสูงสุด มีไว้ในห้องปฏิบัติการ มีไว้สำหรับการสอบเทียบเท่านั้น ต้องกำหนดแผนการสอบเทียบ ต้องส่งไปสอบเทียบยังหน่วยงานที่สามารถให้ “ความสามารถสอบกลับได้” ของการวัดไปยังมาตรฐานแห่งชาติ หรือมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับรับรองการสอบเทียบ ต้องระบุผลการวัด ความไม่แน่นอนของการวัด และความสามารถสอบกลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีการสอบเทียบต้องจัดทำไว้เป็นเอกสาร มีสาระเพื่อจะนำไปปฏิบัติได้ผลการสอบเทียบอย่างคงเส้นคงวาแหล่งที่มาของวิธี มีการประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty) มีการ Validate ก่อนนำไปใช้งานต้องมีรายละเอียดวิธีการสอบเทียบ เช่น ชื่อ ชนิด ของ เครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ ผู้ผลิต พิสูจน์ ข้อจำกัดการใช้งาน เกณฑ์ยอมรับ ช่วง ระยะเวลาในการสอบเทียบ รายละเอียดเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้
- ผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบต้องมีพื้นฐานการศึกษา ความรู้ และประสบการณ์ มีพื้นฐาน การศึกษา ความรู้ และประสบการณ์ ได้รับการฝึกอบรมในกิจกรรมที่ปฏิบัติ มีความสามารถในการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง ความสามารถในการปฏิบัติการสอบเทียบและประเมินและรายงานผล ต้องมีบันทึกพื้นฐานการศึกษา การฝึกอบรม ไว้เป็น หลักฐาน
- สถานที่ และสภาวะแวดล้อม โดยจะต้องมีสถานที่สำหรับอำนวยความสะดวกในการ ปฏิบัติงาน ได้แก่ พื้นที่ทำการสอบเทียบ แสงสว่าง แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุม สภาวะแวดล้อม ต้องมีสภาวะแวดล้อมที่ไม่รบกวนผลการสอบเทียบ จนเกินกว่าจะ ยอมรับได้และได้รับการควบคุม เฝ้าระวัง และบันทึกอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น อุณหภูมิ (Temperature) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Rate of Change of Temperature) ความชื้น (Humidity) ความดัน (Pressure) การสั่นสะเทือน (Vibration) การรบกวนของ คลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Electromagnetic Interference)

การสอบเทียบโดยทั่วไปจะทำการวัดอุปกรณ์ที่ต้องการสอบเทียบ เทียบกับอุปกรณ์อ้างอิง โดยจะทำการบันทึกค่าและนำไปคำนวณหาค่าความผิดพลาด ค่าเบี่ยงเบน และค่าความไม่แน่นอน ในการวัดเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อใช้ในการปรับเทียบอุปกรณ์เพื่อให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ ในการวัดต่อไป

### 1.5 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

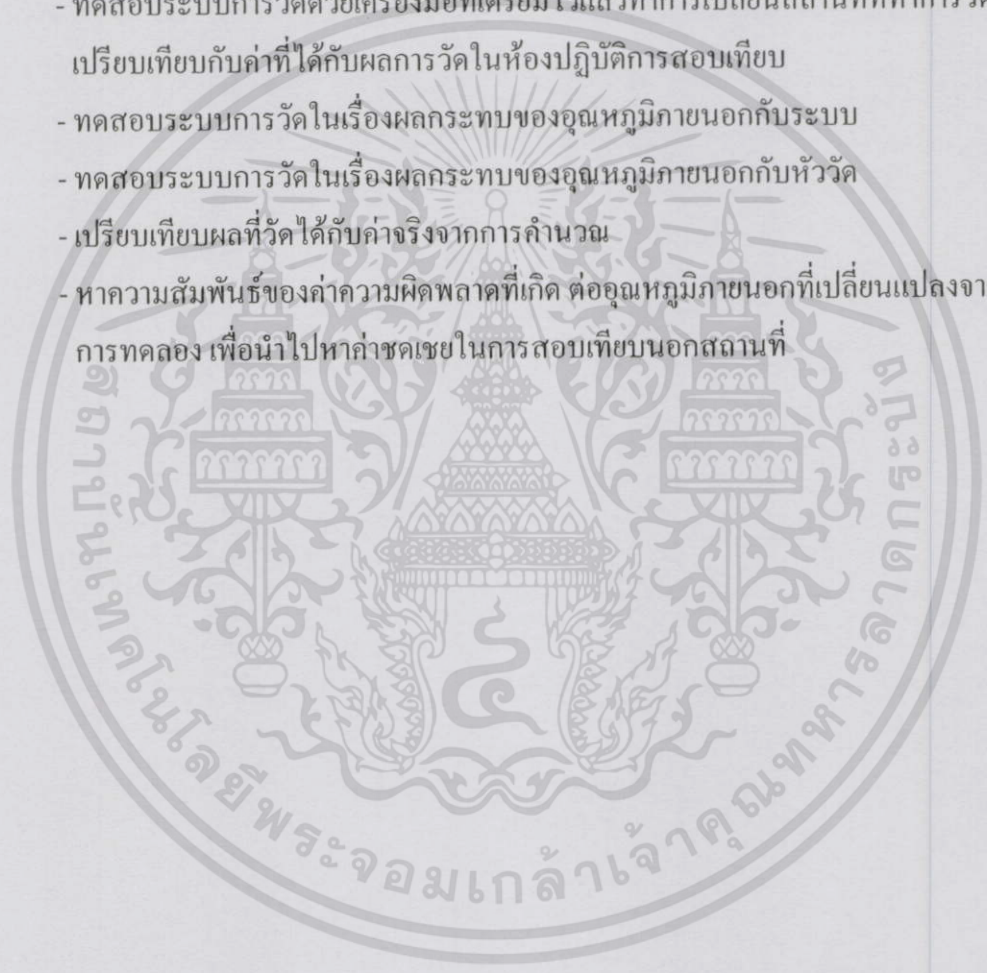
- อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็น RTD ชนิด PT100
- ทดลองเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมในการสอบเทียบจำนวน 3 สถานที่ เพื่อทดสอบหาค่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมโดยพิจารณาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รอบข้างที่มีผลกระทบต่อ การทดสอบ
- วิเคราะห์ค่าความผิดพลาด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์แต่ละ ตัว ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน
- พัฒนาโปรแกรมระบบฐานข้อมูล สำหรับวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ Data logger ในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบอุปกรณ์แต่ละตัวและส่งข้อมูลที่  
ได้ให้กับระบบฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232

## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

- ออกแบบระบบและจัดเตรียมอุปกรณ์
- ทดสอบระบบการวัดด้วยเครื่องมือที่เตรียมไว้ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ
- ทดสอบระบบการวัดด้วยเครื่องมือที่เตรียมไว้แล้วทำการเปลี่ยนสถานที่ที่ทำการวัดแล้ว  
เปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับผลการวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ
- ทดสอบระบบการวัดในเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกกับระบบ
- ทดสอบระบบการวัดในเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกกับหัววัด
- เปรียบเทียบผลที่วัดได้กับค่าจริงจากการคำนวณ
- หาความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิด ต่ออุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงจากผล  
การทดลอง เพื่อนำไปหาค่าชดเชยในการสอบเทียบนอกสถานที่



## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของการสอบเทียบ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะของอาร์ทีดีที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษา วิธีการสอบเทียบ และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษา และประเมินประสิทธิภาพของระบบ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบต่อไป

### 2.1 คุณลักษณะของอาร์ทีดี

อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector) จัดเป็นทรานสดิวเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในกลุ่มของอุปกรณ์ประเภท Passive Transducer โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในของวัสดุตามค่าของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป และค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ หมายถึงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานภายในของ RTD ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นบวก (Positive Temperature Coefficient) หรือ PTC โดย RTD สามารถสร้างขึ้นได้จากวัสดุต่อไปนี้ เช่น แพลตินัม (Platinum), ทองแดง และนิเกิล (Nickel) แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ RTD ที่ทำมาจากแพลตินัมเนื่องจากแพลตินัมมีความเที่ยงตรงและมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุด และแพลตินัมที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือชนิด PT100 (Platinum Temperature) โดยที่ตัวเลข 100 หมายถึง ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  ค่าความต้านทานภายในของ RTD จะมีค่าเท่ากับ  $100\ \Omega$  ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของเส้นลวดตัวนำกับอุณหภูมิ จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$R_T = R_{ref}(1 + \alpha\Delta T) \quad (2-1)$$

เมื่อ  $R_T$  คือค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ  $T^{\circ}\text{C}$  ใดๆ ( $\Omega$ )

$R_{Ref}$  คือค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิอ้างอิง โดยทั่วไปคือ  $0^{\circ}\text{C}$  ( $\Omega$ )

$\alpha$  คือสัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะตัวนำ ( $\Omega/\Omega \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  คือค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ  $T^{\circ}\text{C}$  ใดๆ กับอุณหภูมิอ้างอิง ( $^{\circ}\text{C}$ )

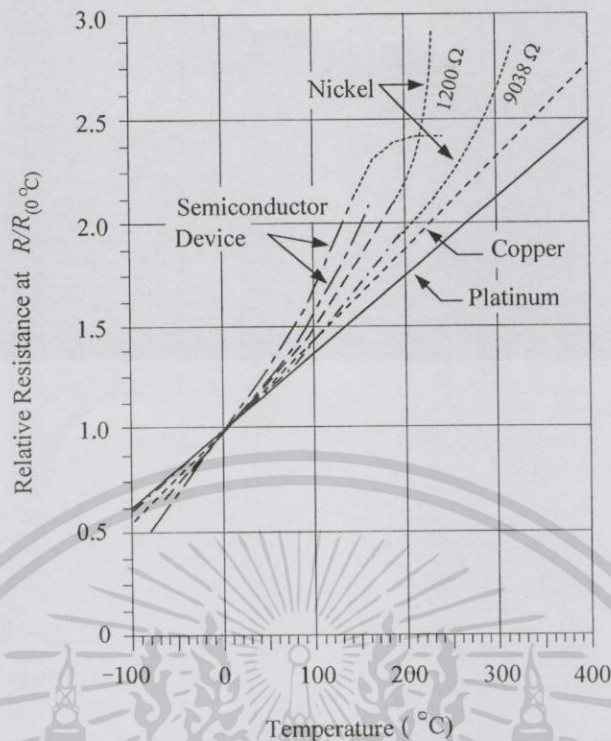
ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิสำหรับวัสดุตัวนำแต่ละชนิด โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อ้างอิงจากอุณหภูมิห้องสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2.1  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิของวัสดุแต่ละชนิด

ชนิดของวัสดุ	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ( $\Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$ )
Nickel	0.0067
Iron (Alloy)	0.002 to 0.006
Tungsten	0.0048
Aluminium	0.0045
Copper	0.0043
Lead	0.0042
Silver	0.0041
Gold	0.004
Platinum	0.00392
Manganese	0.00002
Thermistors	- 0.068 to + 0.14

โดยทั่วไป สัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะตัวนำจะมีค่าเป็นบวก กล่าวคือค่าความต้านทานของโลหะตัวนำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ในวัสดุบางอย่างเช่นคาร์บอน หรือเจอร์มันเนียม (Germanium) นั้นจะมีสัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ นั่นคือค่าความต้านทานของวัสดุเหล่านี้จะลดลงถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วควรที่จะเลือกใช้วัสดุตัวนำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิ ( $\alpha$ ) สูงๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะตัวนำจะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยก็ตาม ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปนี้สามารถวัดได้โดยใช้วงจร Wheatstone Bridge และปรับเทียบให้แสดงผลในหน่วยของอุณหภูมิได้ ในกราฟรูปที่ 2.1 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะตัวนำหลายๆ ชนิดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จากกราฟจะเห็นว่า ค่าความต้านทานของแพลทินัม และทองแดงจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ในขณะที่นิกเกิลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ค่อยจะเป็นเชิงเส้นนัก



รูปที่ 2.1 ค่าความต้านทานสัมพัทธ์ ( $R_t/R_{ref}$ ) ต่ออุณหภูมิของโลหะบางชนิด

ในตารางที่ 2.2 สรุปถึงคุณลักษณะของโลหะตัวนำที่ใช้กันโดยทั่วไป 3 ชนิด คือ แพลตินัม ทองแดง และนิกเกิล ในขณะที่เส้นลวดแพลตินัมนั้นจะนิยมใช้ในงานทางอุตสาหกรรม และในห้องปฏิบัติการมากเพราะมีความเที่ยงตรงสูง ส่วนเส้นลวดทองแดงและนิกเกิลนั้นมีราคาถูกและประกอบได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้งานในช่วงของอุณหภูมิต่ำๆ โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน RTD ชนิด PT100 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดนั้นจะใช้กับอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงไม่เกิน  $400^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากจะมีผลกระทบกับค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดนั้นคือ ถ้าใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  ค่าความคลาดเคลื่อนจะไม่เกิน  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  แต่ถ้ามีช่วงการใช้งานตั้งแต่  $400^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $600^{\circ}\text{C}$  ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยแต่จะไม่เกิน  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในของแพลตินัมต่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ  $0.385 \Omega / 1^{\circ}\text{C}$  แต่เนื่องจาก RTD เป็นอุปกรณ์ประเภท Passive Transducer ซึ่งต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอกมากระตุ้น ดังนั้นในขณะที่มีการจ่ายกระแสคงที่ (Current Source) ให้กับ RTD จะทำให้ RTD กำเนิดพลังงานความร้อน ( $P$ ) ขึ้นมา (จากความสัมพันธ์ของ  $I^2R$ ) และความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ  $0.5^{\circ}\text{C} / 1 \text{ mA}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

ชนิด	ช่วงใช้งาน	ความแม่นยำ	ข้อดี	ข้อเสีย
แพลทินัม	-300 °F ถึง 1500 °F	$\pm 1$ °F	- เสถียรภาพสูง - ใช้งานได้ใน วงกว้าง	- ผลตอบสนอง ค่อนข้างช้า
ทองแดง	-325 °F ถึง +250 °F	$\pm 0.5$ °F	- มีคุณสมบัติเป็น - เสถียรภาพสูงใน ช่วงอุณหภูมิปกติ	- ใช้วัดอุณหภูมิได้ ในช่วงจำกัด
นิกเกิล	+32 °F ถึง +150 °F	$\pm 0.5$ °F	- ทนทาน - ความไวสูง - สัมประสิทธิ์ต่อ อุณหภูมิสูง	- มีคุณสมบัติไม่ ค่อยเป็นเชิงเส้น - ใช้วัดอุณหภูมิได้ ในช่วงจำกัด

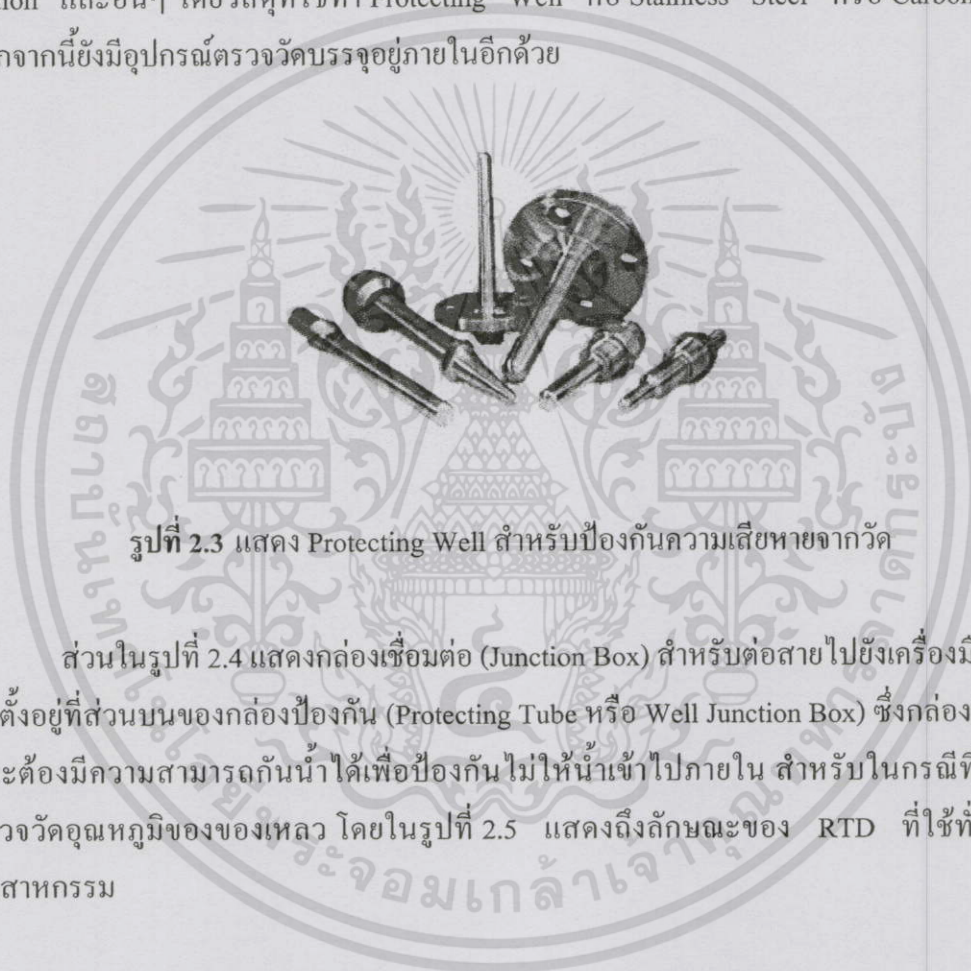
ลักษณะโครงสร้างของ RTD นั้นโดยทั่วไปจะเป็นแบบโพรบ (Probe) ดังรูปที่ 2.2 เพื่อที่จะสามารถใช้จุ่มหรือใส่เข้าไปในตัวกลางใดๆ ที่ต้องการวัดหรือควบคุมอุณหภูมิได้ อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensing Element) ของ Thermometer แบบโพรบนี้จะมีลักษณะเป็นหลอดเล็กๆ ซึ่งทำมาจากเงินหรือแพลทินัมที่มีการฉาบหรือเคลือบด้วยเซรามิกชั้นหนึ่งก่อน จากนั้นนำขดลวดความต้านทานมาพันรอบๆ หลอดนี้และฉาบหรือเคลือบด้วยเซรามิกอีกครั้งหนึ่ง เมื่อเรียบร้อยแล้วจึงนำไปเผาไฟที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้แน่ใจว่าเส้นลวดอ่อนตัวแล้วจึงนำไปติดไว้ที่ปลายของโพรบเพื่อเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิต่อไป



รูปที่ 2.2 แสดง Protecting Tube (Probe) ของ RTD

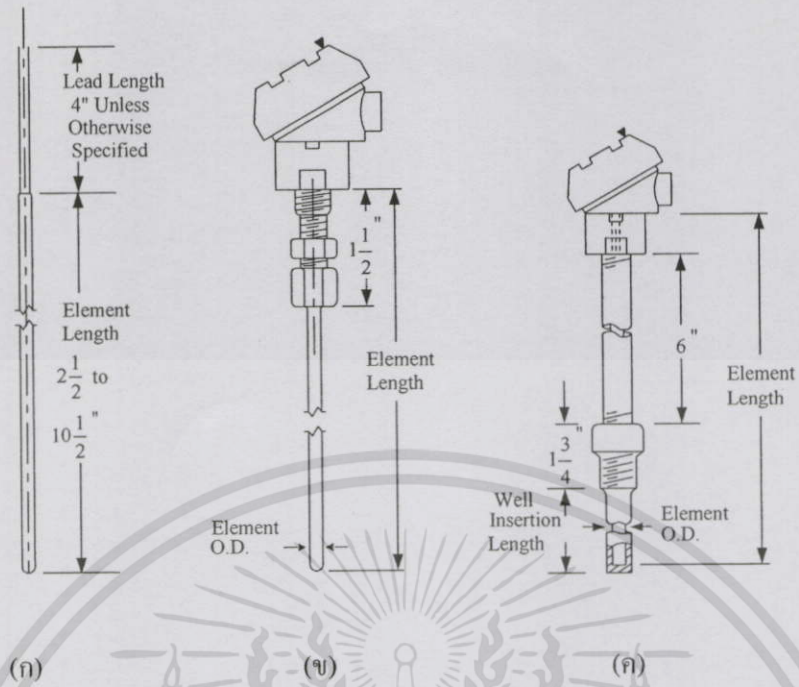
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้ว RTD ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมักจะติดตั้งไว้ใน Protecting Tube (Probe) หรือ Protecting Well (Thermo Well) เสมอ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ตรวจวัด นอกจากนี้ยังสามารถใช้ป้องกันความสกปรกซึ่งอาจจะมีผลต่อการวัดหรือการควบคุมอุณหภูมิได้ ดังแสดงลักษณะรูปร่างในรูปที่ 2.3 ซึ่งการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันคือ Protecting Tube จะใช้งานในระดับของความดันบรรยากาศทั่วไป ส่วน Protecting Well นั้นจะใช้ในกรณีของการวัดหรือการควบคุมอุณหภูมิของของเหลวหรือก๊าซที่มีความดันสูงๆ โดยทั่วไปจะสูงกว่า 3 เท่าของความดันบรรยากาศ เช่นภายในท่อ, Steam Power Plant, Pumping Station และอื่นๆ โดยวัสดุที่ใช้ทำ Protecting Well ก็คือ Stainless Steel หรือ Carbon Steel นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดบรรจุอยู่ภายในอีกด้วย



รูปที่ 2.3 แสดง Protecting Well สำหรับป้องกันความเสียหายจากวัด

ส่วนในรูปที่ 2.4 แสดงกล่องเชื่อมต่อ (Junction Box) สำหรับต่อสายไปยังเครื่องมือวัดซึ่งติดตั้งอยู่ที่ส่วนบนของกล่องป้องกัน (Protecting Tube หรือ Well Junction Box) ซึ่งกล่องป้องกันนี้จะต้องมีความสามารถกันน้ำได้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปภายใน สำหรับในกรณีที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของของเหลว โดยในรูปที่ 2.5 แสดงถึงลักษณะของ RTD ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม



(ก)

(ข)

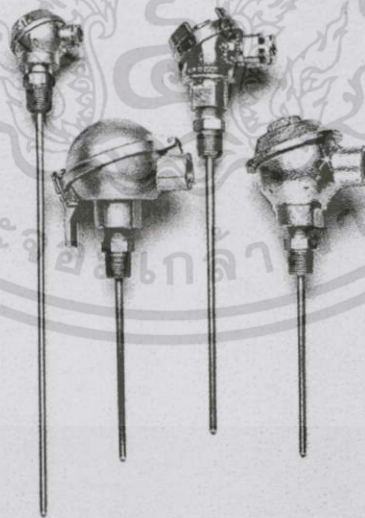
(ค)

รูปที่ 2.4 ลักษณะ โครงสร้าง โดยทั่วไปของ RTD

(ก) Element Assembly

(ข) Sensing Element Fitted with a Head or Junction Box

(ค) Element Assembly Mounted in a Protecting Well



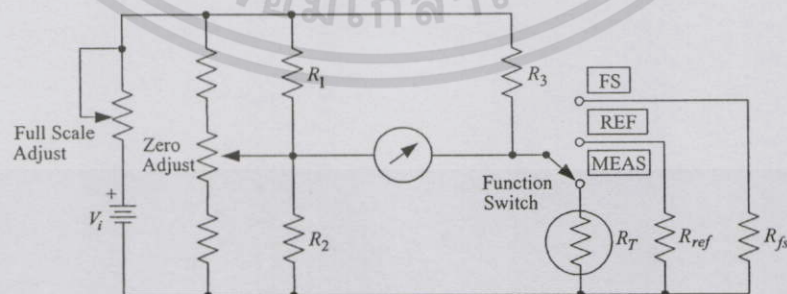
รูปที่ 2.5 ลักษณะรูปร่างของ RTD ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 เป็นวงจรบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับ RTD ในการวัดค่าความต้านทาน แต่เนื่องจากค่าความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจวัดจะมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงสามารถปรับเทียบค่าที่อ่านได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิจากรูปที่ 2.6  $R_T$  จะเป็นค่าความต้านทานของ RTD ที่อุณหภูมิ  $T^\circ\text{C}$  ใดๆ ที่ต้องการวัด  $R_{REF}$  เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของ RTD ที่อุณหภูมิอ้างอิง ( $0^\circ\text{C}$ ) ส่วน  $R_{fs}$  จะเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่อีกตัวหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของ RTD ที่ทำให้เข็มชี้ค่าของมิเตอร์แสดงค่าของกระแสเต็มสเกล ซึ่งก็จะหมายถึงค่าของอุณหภูมิสูงสุดเช่นกัน เนื่องจากค่าความต้านทานของ RTD นั้นมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ

ก่อนที่จะทำการวัดอุณหภูมินั้นจะต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือวัด กล่าวคือขั้นแรกให้สวิตช์ไปอยู่ที่ตำแหน่ง REF และปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน Zero Adjust จนกระทั่งเข็มของมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งศูนย์ ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิศูนย์องศาแน่นอนเอง ต่อไปสวิตช์ให้ไปอยู่ตำแหน่ง FS และปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน Full Scale Adjust จนกระทั่งเข็มของมิเตอร์แสดงค่าเต็มสเกลพอดี และที่ตำแหน่งเต็มสเกลนี้จะเป็นค่าสูงสุดของอุณหภูมิที่วงจรนี้สามารถจะวัดได้ จากนั้นจึงนำเครื่องมือวัดนี้ไปตรวจวัดอุณหภูมิได้ต่อไป

ขั้นตอนการใช้งาน เมื่อต้องการวัดค่าของอุณหภูมิที่  $T^\circ\text{C}$  ใดๆ จะต้องสับสวิตช์กลับไปที่ตั้งตำแหน่ง MEAS ซึ่งค่ออยู่กับ RTD เข็มของมิเตอร์ก็จะชี้แสดงค่าบนสเกลซึ่งถูกปรับเทียบให้เป็นค่าของอุณหภูมิแล้วก่อนหน้านี้ตามวิธีการปรับเทียบที่กล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามข้อเสียของเครื่องมือวัดที่ใช้วงจร Whetstone Bridge คือจะมีค่าความต้านทานที่เกิดจากหน้าสัมผัสของวงจรบริดจ์เข้ามารวมกับค่าความต้านทานของ RTD หรือค่าความต้านทานของตัวต้านทานและเส้นลวดในวงจรอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสที่ไหลในวงจร มีผลทำให้การวัดอาจจะคลาดเคลื่อนไปได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้วงจรบริดจ์แบบ Kelvin Double Bridge แทน



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับ RTD ในการวัดอุณหภูมิ

## 2.2 การวัดและการสอบเทียบ

การวัด หมายถึง การเปรียบเทียบกัน (Comparison) ระหว่างปริมาณค่าสองค่าคือปริมาณค่าของตัวแปรที่ต้องการทราบ (Measure Value) กับค่าอ้างอิง (Reference Value) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบคือค่าที่แท้จริงของปริมาณตัวแปรที่ต้องการทราบค่า

การสอบเทียบ คือการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ต้องการของอินพุตและเอาต์พุตของเครื่องมือที่มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานของตัวอ้างอิง (Reference Standard) เป็นตัวรับรองอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดว่าทำงานด้วยความถูกต้องแม่นยำและอยู่ในขอบเขตที่ต้องการภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนด การสอบเทียบจะต้องทำเป็นระยะๆ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการทำงานของเครื่องมือหรือระบบ และกำหนดการใช้งานที่เป็นมาตรฐานของค่าที่ใช้ในการสอบเทียบ การสอบเทียบนี้จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำงาน การยอมรับมาตรฐานที่ดีของตัวสอบเทียบและมาตรฐานของสิ่งแวดล้อมการสอบเทียบไม่ได้เป็นการรับประกันการทำงานของเครื่องมือแต่การสอบเทียบจะทำให้การวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น หรือทำให้การทำงานที่ต้องใช้อุปกรณ์เหล่านี้มีความถูกต้องแม่นยำและอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

สาเหตุที่ต้องมีการสอบเทียบเครื่องวัด เพราะต้องการทำให้สินค้าและบริการ มีคุณภาพ มีความสม่ำเสมอในคุณภาพ และสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานต่างๆ

ประโยชน์ของการสอบเทียบเครื่องวัดคือการสอบเทียบทำให้มั่นใจได้ว่า ทุกกระบวนการผลิตต่างๆ ที่อิสระจากกันนั้น กำลังทำงานภายใต้มาตรฐานเดียวกันในขณะนี้ และการสอบเทียบช่วยเสริมคุณภาพสินค้า และช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

เหตุผลหลักในการสอบเทียบ เพราะในระยะเวลาที่ผ่านมา เครื่องและอุปกรณ์การวัดมิได้มีเสถียรภาพ (Stable) ความไม่เสถียรภาพ (Unstable) เบี่ยงเบนจากเดิม (Drift) ทำให้การสอบเทียบใหม่เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้มั่นใจว่าคุณสมบัติจำเพาะของเครื่องวัดตรงตามต้องการ

สิ่งสำคัญสำหรับการสอบเทียบที่ถูกต้องวิธี คือ

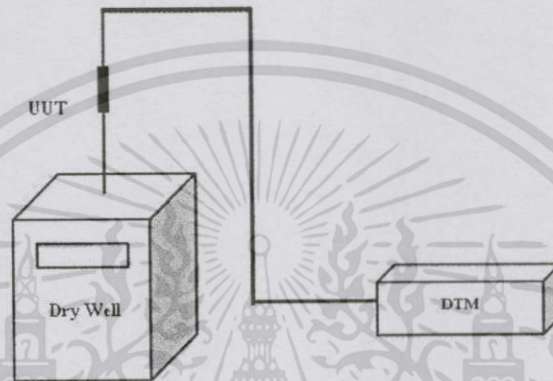
- มาตรฐานสำหรับใช้สอบเทียบจะต้องมีความเที่ยงตรงที่เหมาะสม และมีความเที่ยงตรงสูงกว่าเครื่องวัดที่จะทำการสอบเทียบ (ดีกว่า 3 ถึง 10 เท่า ที่เรียกว่า Test Uncertainty Ratio)
- การสอบเทียบควรกระทำอย่างน้อย 3 จุดวัด คือ จุดใช้งาน สูงกว่า และต่ำกว่าจุดใช้งานตามความสำคัญ โดยทั่วไปอาจสอบเทียบที่ 10%, 50%, 90% ของช่วงวัด
- ต้องทำการสอบเทียบภายใต้สภาวะที่มีเสถียรภาพ มิเช่นนั้นจะเป็นการเพิ่มความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องปฏิบัติตามกระบวนการสอบเทียบที่กำหนดเพราะจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลการสอบเทียบของเครื่องวัดแต่ละตัวจึงควรทำการสอบเทียบด้วยกระบวนการเดียวกันทุกครั้ง

### 2.2.1 วิธีการสอบเทียบที่ใช้ในปัจจุบัน มี 2 วิธีคือ

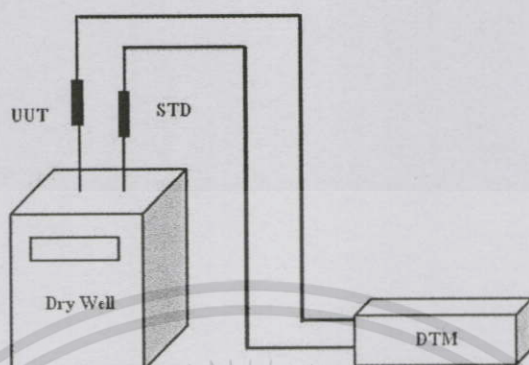
- วิธีการสอบเทียบ โดยการเปรียบเทียบกับ Dry Well



รูปที่ 2.7 การสอบเทียบ โดยการเปรียบเทียบกับ Dry Well

การสอบเทียบวิธีนี้จะใช้ Dry Well เป็นตัว Standard แล้วนำตัวที่จะสอบเทียบ (UUT) มาทำการสอบเทียบ ซึ่งตามปกติแล้วตัว Standard จะต้องดีกว่าตัวที่นำมาสอบเทียบ (UUT) ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า จากวิธีนี้ Dry Well มี Error 1 °C ดังนั้นตัวที่จะนำมาสอบเทียบ (UUT) จะต้องมีความ Error 4 °C แต่เนื่องจากว่า UUT ที่มี Error มากๆ มักไม่นิยมนำมาใช้งาน จึงเป็นเหตุผลหนึ่งให้เกิดการสอบเทียบอีกวิธีขึ้น

- วิธีทดสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับ SPRT (Standard Platinum Resistant Thermometer)



รูปที่ 2.8 การสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับ SPRT

การสอบเทียบวิธีนี้จะใช้ Probe เป็นตัว Standard แล้วนำตัวที่จะสอบเทียบ (UUT) มาทำการสอบเทียบ (ตามปกติแล้วตัว Standard จะต้องดีกว่าตัวที่นำมาสอบเทียบ (UUT) ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า) จากวิธีนี้เนื่องจาก Probe มี Error  $0.5^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นตัวที่จะนำมาสอบเทียบ (UUT) จะต้องมี Error  $2^{\circ}\text{C}$  (ซึ่ง Error นี้มักจะพบได้โดยทั่วไป) จึงทำให้การสอบเทียบวิธีนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้งาน

### 2.3 ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement)

ความแม่นยำของการวัด (Accuracy of Measurement) คือ ความใกล้เคียงของผลการวัดกับค่าจริงของสิ่งที่ทำการวัด เราจะบอกความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องวัดด้วยปริมาณความคลาดเคลื่อน (Error) ของค่าแสดงจากค่าจริงเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์หรือจำนวนสมบูรณ์

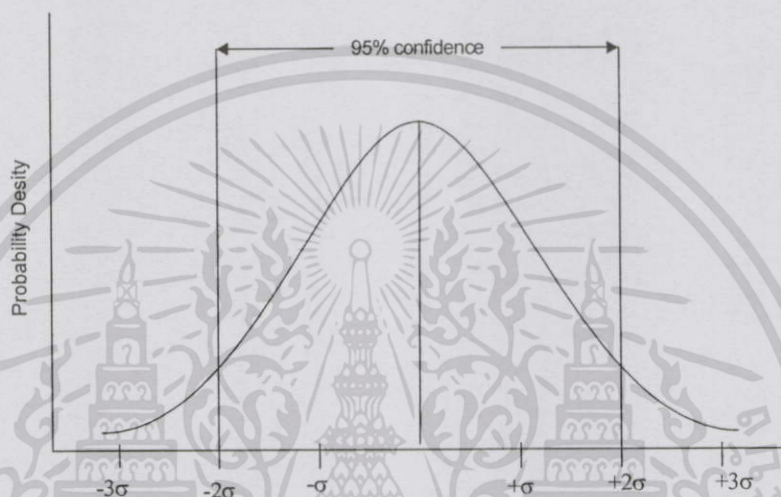
ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) คือ ผลการประเมินที่เจาะจงไปที่คุณสมบัติเฉพาะ ในช่วงที่คาดว่าค่าจริงของสิ่งที่วัดนั้นเป็นอยู่ โดยทั่วไปจะระบุพร้อมด้วยค่าความน่าจะเป็นไปได้ด้วยค่าระดับความมั่นใจที่เปอร์เซ็นต์ แหล่งความไม่แน่นอนควรจะรู้และบอกโดยผู้เชี่ยวชาญทางเทคนิคในเรื่องนั้น โดยประเมินจากความรู้ ความเข้าใจในระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานนั้น การขาดความรู้จะนำไปสู่การได้ผลการวัดที่เชื่อมั่นแต่กลับได้ค่าไม่ถูกต้อง

จากมาตรฐาน ISO-9000, ISO/IEC 17025 กำหนดในเรื่องการวัด การสอบเทียบว่า จะต้องรู้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจึงจะทำให้รู้ว่า ผลการวัดใดๆที่ได้นั้นมีคุณภาพดีพอกับความต้องการของงานแต่ละงานหรือไม่ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในด้านนี้จึงต้องรู้วิธีประเมินองค์ประกอบต่างๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 นียามความคลาดเคลื่อนของการวัด

ความคลาดเคลื่อน (Error) คือ ความแตกต่างระหว่างผลของการวัดกับค่าจริงของปริมาณที่ทำการวัด หลังจากการแก้ไขค่า (Correction) แล้วในที่นี้เราขอใช้กราฟการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution Curve) ในการแสดงให้เห็นความหมาย คือเราต้องการให้ค่าจริงอยู่ในตำแหน่งตรงกลางของเส้นโค้ง แม้ว่าค่าจริงจะสามารถที่จะเป็นค่าใดๆก็ได้ภายใต้เส้นโค้งของกราฟ



รูปที่ 2.9 การแจกแจงปกติ

สาเหตุของความคลาดเคลื่อน ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดปริมาณตัวแปรใดๆ นั้น สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุและหลายปัจจัยด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น

- เกิดจากการวัดที่ผิดวิธี
- เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัดเอง และจากการสอบเทียบมาตรฐาน
- เกิดจากการอ่านค่าผิด หรือจากการคำนวณผิด
- เกิดจากสภาพแวดล้อม และการรบกวนจากภายนอก
- เกิดจากการรบกวนที่คาดเดาไม่ได้
- เกิดจากแหล่งอื่นๆ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ชนิดของความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไปเราแบ่งความคลาดเคลื่อน (Error) เป็น 2 ชนิด

2.3.2.1 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) คือ ความแตกต่างระหว่างผลการวัดที่เกิดขึ้นแบบคาดเดาไม่ได้ เกิดแบบไม่มีระเบียบแบบแผนแน่นอน มักจะมองเป็น “สิ่งรบกวนที่ไม่มีระเบียบแน่นอน” ในกระบวนการวัดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้จะถูกประเมินค่าโดยวิธีทางสถิติ

2.3.2.2 ความคลาดเคลื่อนของระบบ ( Systematic ) คือ ความแตกต่างจากค่าจริง ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในระบบการวัดตามที่เรียกชื่อ ความคลาดเคลื่อนจากระบบเหล่านี้เป็นผลมาจากสิ่งที่วัดได้ ( อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ) และมีผลกระทบสัมพันธ์กับค่าของปริมาณที่ทำการวัดสิ่งอื่นๆ เช่น การคลาดเคลื่อนจากตัวมาตรฐาน เป็นต้น การเกิดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในเวลาหนึ่ง อาจเป็นความคลาดเคลื่อนของระบบในอีกด้านหนึ่งได้

### 2.3.3 ความไม่แน่นอนของการวัด

คือผลการประเมินที่เจาะจงไปที่คุณสมบัติเฉพาะในช่วงที่คาดว่าค่าจริงของสิ่งที่วัดนั้นเป็นอยู่ โดยทั่วไปจะระบุพร้อมด้วยค่าความน่าจะเป็นไปได้ด้วยค่าระดับความมั่นใจ (Confidence Level) ที่เปอร์เซ็นต์ แหล่งความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ ค่าความไม่แน่นอนจะมีมาจาก

- ค่าที่มาจากตัวเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่ใช้
- ค่าเสถียรภาพของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่ใช้
- เครื่องวัดความต้านทาน หรือแรงดันไฟฟ้าที่ใช้
- ผลจากความร้อนในตัวเองของ PRT
- ผลจากสายวัดแรงดันที่รบกวน
- ผลจากการสออด หรือจุ่มตัววัดไม่ได้ตามมาตรฐาน
- คลาดเคลื่อนจากการคำนวณค่าจากตารางค่ามาตรฐาน ohm หรือ mv กับอุณหภูมิ เป็นต้น
- อื่นๆ

## 2.4 วิธีประเมินค่าความไม่แน่นอน

แบ่งเป็นวิธีประเมิน “แบบ A (Type A)” กับ “แบบ B (Type B)”

แบบ A: ประเมิน โดยการคำนวณจากชุดข้อมูลการวัดซ้ำๆกันหลายครั้งด้วยวิธีทางสถิติ

แบบ B: คือการประเมิน โดยวิธีอื่นๆที่ไม่ใช่ “แบบ A”

ทั้งแบบ A และ B สามารถบอกความไม่แน่นอนด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยการใช้อंकประกอบที่เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับการสมมุติความน่าจะเป็นของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายค่า สำหรับโครงการนี้เราเลือกทั้งแบบ A และ B มาใช้งานร่วมกัน โดยในส่วนของ Software ใช้ Type A ส่วน Hardware ใช้ Type B

2.4.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอน “Type A”

1. เป็นการประเมินโดยใช้วิธีทางสถิติ ในการวิเคราะห์ชุดข้อมูลผลการวัดซ้ำๆ กัน หลายๆ ครั้ง และพิจารณาความถี่ของการวัดได้ค่าซ้ำๆ กัน จะได้ค่า n ครั้ง

2. จะได้ผลการวัดเป็น  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, \dots, q_n$

3. คำนวณค่าเฉลี่ย

$$\bar{q} = \frac{\sum_{k=1}^n q_k}{n} \tag{2.2}$$

4. คำนวณค่า Standard deviation ของผลการวัด n ค่า

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{(n-1)}} \tag{2.3}$$

5. คำนวณค่า Standard Deviation ของค่าเฉลี่ย

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} \tag{2.4}$$

6. กำหนดค่า Type A Standard Uncertainty

$$u(x_i) = s(\bar{q}) \tag{2.5}$$

7. คำนวณค่า The Degrees of Freedom

$$V_i = n - 1 \tag{2.6}$$

## 2.4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอน “Type B”

การพิจารณา Type B Uncertainty นั้น เราจะต้องคำนวณการเปลี่ยนข้อมูลที่ได้มาให้เป็น Standard Uncertainty โดยการหารด้วยค่าหนึ่งที่ยื่นอยู่กับลักษณะความเป็นไปได้ของการกระจายค่าความไม่แน่นอน (The Probability of the Uncertainty) ว่าเป็นแบบใดโดยมีองค์ประกอบในการประเมินดังนี้

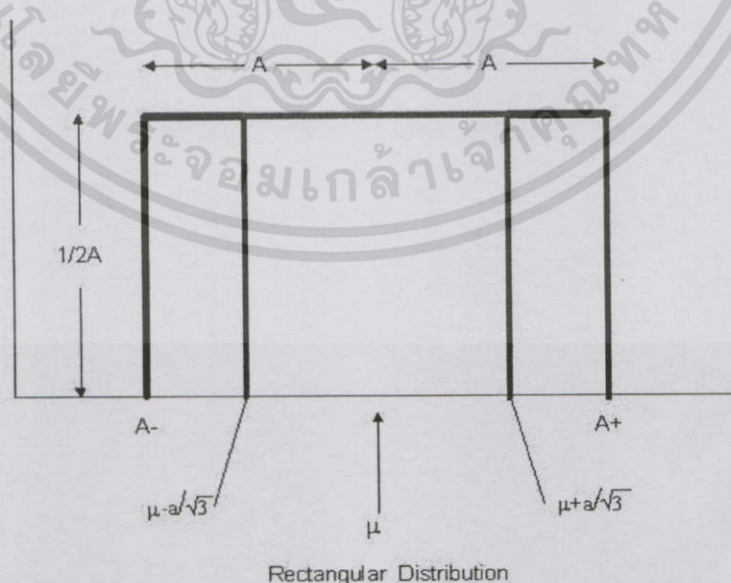
- ข้อมูลจาก Calibration Certificate
- ข้อมูลจากการวัดในอดีต
- ค่าคงที่ที่ยอมรับ
- ข้อมูลจากข้อกำหนดจำเพาะของผู้ผลิต
- ข้อมูลจากประสบการณ์ หรือความรู้
- ข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

## 2.5 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดของ Type B

### 2.5.1. Rectangular Probability Distribution

ค่าความไม่แน่นอนแบบนี้ใช้กับกรณีที่ให้ค่ามาเป็นสูงสุด และมีโอกาสเป็นค่าใดๆ เท่ากันทุกค่า คำนวณได้โดย

1. หาค่าครึ่งหนึ่งของช่วงสูงสุด-ต่ำสุดเป็น “a”
2. หารด้วยค่า  $\sqrt{3}$



รูปที่ 2.10 กราฟ Rectangular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

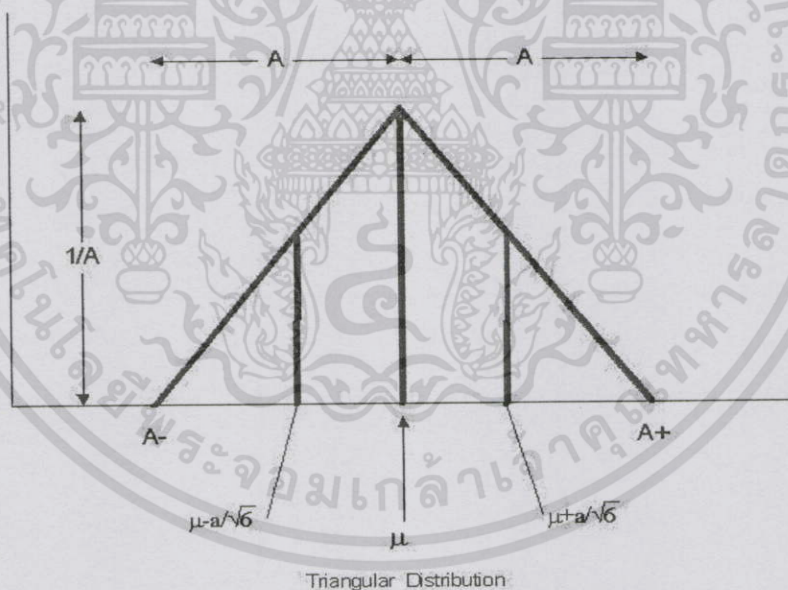
ตัวอย่าง Type B Uncertainty ที่มี Rectangular Probability Distribution มีดังนี้

ชื่อ	ค่าที่บอก	ค่าครึ่งช่วง(a)	$(a)\sqrt{3}$	ย่อ
a) Accuracy	$\pm 0.05\%$	0.05	$\frac{0.05}{\sqrt{3}}$	U(A)
b) Resolution	1 °C	0.5 °C	$\frac{0.5}{\sqrt{3}}$	U(B)
c) Drift	$\pm 0.01$ °C	0.01 °C	$\frac{0.1}{\sqrt{3}}$	U(C)

### 2.5.2 Triangular Probability Distribution

ค่าความไม่แน่นอนแบบนี้ คือ กรณีที่เรารู้ว่าส่วนใหญ่ค่าของมันมักจะอยู่ใกล้ค่ากลางของการกระจาย นั่นคือ โอกาสที่ค่าความไม่แน่นอนจะเป็นค่ากลางเป็นส่วนใหญ่ กำหนดได้โดย

1. หาค่าครึ่งหนึ่งของช่วงสูงสุด-ต่ำสุดเป็น "a"
2. หาค่าด้วยค่า  $\sqrt{6}$



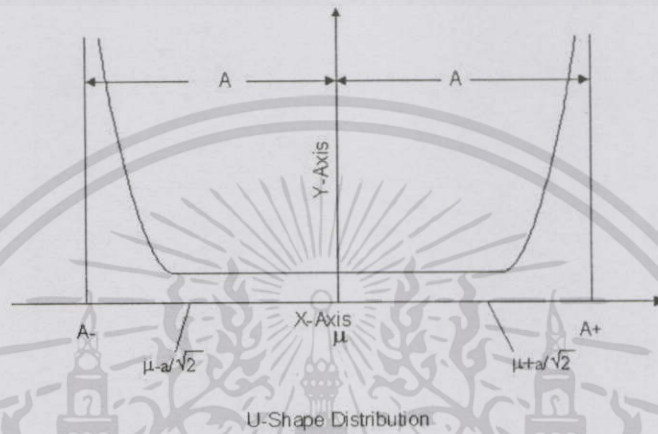
รูปที่ 2.11 กราฟ Triangular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.3. U-Shape Probability Distribution**

คือค่าความไม่แน่นอนแบบนี้ คือ กรณีเกิดความไม่เข้ากัน หรือไม่สอดคล้องกัน (Mismatch) ของตัวส่ง กับ ตัวรับใดๆ

1. ถ้าให้ค่าความไม่แน่นอนของตัวส่ง เป็น  $U_s$
2. ถ้าให้ค่าความไม่แน่นอนของตัวรับ เป็น  $U_L$

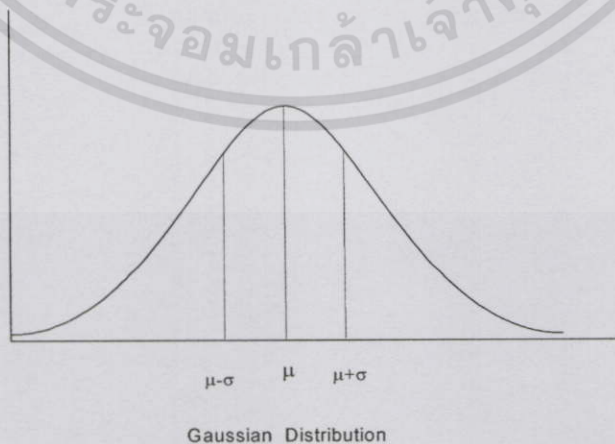


รูปที่ 2.12 กราฟ U-Shape

**2.5.4. Normal or Gaussian Probability Distribution**

คือความไม่แน่นอนที่บอกมาพร้อมค่าระดับความมั่นใจ เช่น 95% หรือ 99% การหาค่า 1 Standard Uncertainty ได้โดยหารด้วยค่าต่อไปนี้

Confidence Level	หารด้วย
95%	2
99%	3



รูปที่ 2.13 กราฟ Gaussian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.5 Combined Standard Uncertainty

เมื่อแจกแจงความไม่แน่นอนชนิดต่างๆ ทั้ง Type A และ Type B ( $B_1, B_2, \dots, B_n$ ) และเป็นชนิด Uncorrelated Type เราจะนำมาคำนวณรวมกัน ดังนี้

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u(x_i)^2}$$

$$= \sqrt{A_1^2 + B_1^2 + B_2^2 + \dots + B_n^2} \quad (2.7)$$

โดยมี  $C_i$  คือ Sensitive Coefficient เช่น Temperature Coefficient of Expansion เป็นต้น ถ้าเป็นชนิด Correlated Type เราจะนำมาคำนวณรวมกัน ดังนี้

$$U_c = \pm(A_1 + B_1 + B_2 + \dots + B_n) \quad (2.8)$$

### 2.5.6. Expanded Uncertainty

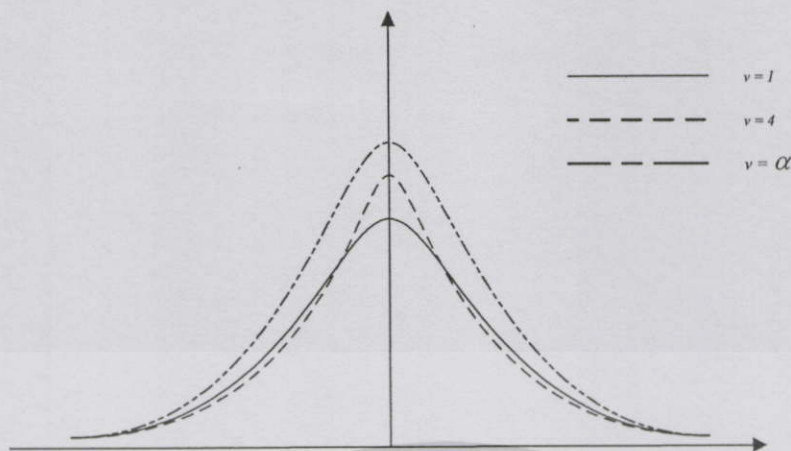
ค่า Combined Uncertainty ที่ได้นั้น ยังไม่มีค่าความมั่นใจพอสำหรับงานทางพาณิชย์ เพื่อเพิ่มความมั่นใจ เราจึงใช้วิธีเพิ่มความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty) ใช้สัญลักษณ์  $U$  ที่ได้จากการคูณ  $u_c(y)$  ด้วยค่า Coverage factor  $K$

โดยค่า Coverage factor  $K$  จะเป็นค่าเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการระดับความมั่นใจ ( $p$ ) ว่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคำนวณได้จากตาราง Student T-Distribution

การหาค่า Coverage factor  $K$

ใช้ 4 ขั้นตอนในการคำนวณหาค่า  $k$

1. ได้ค่า  $y$  และ  $u_c(y)$
2. ประเมินค่า  $v_{eff}$  จาก The Welch-Satterthwaite formular
3. หาค่า t-factor  $t_p(v_{eff})$  ที่ตรงกับระดับความมั่นใจที่ต้องการเช่น 95% จากตาราง Student T-Distribution
4. ใช้  $k = t_p(v_{eff})$  และคำนวณ  $U = k u_c(y)$



Student's t-distribution for different values of  $v$ ,

รูปที่ 2.14 กราฟ T-Distribution

## 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับ Dry Well (รุ่น 9105 -25-140 °C)

Dry Well เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างอุณหภูมิคงที่และสอบเทียบอุณหภูมิให้กับอุปกรณ์อุณหภูมิได้เช่น RTD, Thermocouple

โดยอุณหภูมิที่สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำนั้นสามารถควบคุมได้จากพอร์ตอนุกรม

RS-232

ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้กับเครื่อง Dry Well

$t$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการอ่านค่าที่ Dry Well (°C)

$s$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการตั้งค่าอุณหภูมิให้กับ Dry Well (°C)

$Sr$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงให้กับ Dry Well (°C / min)



รูปที่ 2.15 Dry well Calibrator HART Model 9105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ข้อมูลเกี่ยวกับ Analog Input Module (AI210)

Analog Input Module (AI 210) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณ Analog Input ได้ 8 Channels, Digital Input 4 Channels และ ควบคุม Digital Output ได้ 4 Channels โดย Analog Input สามารถใช้กับ Sensor ได้หลายระบบ เช่น Thermocouple , RTD , Voltage และ Current การติดต่อกับ AI 210 สามารถทำได้โดยผ่าน Port RS 232 หรือ RS 485 ทำให้สามารถพัฒนา Program บน PC เพื่ออ่านค่า Input และควบคุม Output ของ AI 210 ได้ Protocol ที่ใช้ติดต่อกับ AI 210 มีให้เลือกได้หลายแบบ เช่น MODBUS ASCII , ASCII Command และ มี DDE Server เพื่อใช้ติดต่อกับ Program บน Window ได้.

ตารางที่ 2.3 รหัสและย่านการวัดของสัญญาณแต่ละชนิด (Measuring Range Code)

Code	Input Type	Measuring Range	Resolution	Accuracy (% FS)	
00	Not Use	-	-	-	
01	Thermocouple	R	0-1700°C	1°C	±0.2%(3.4°C)
02		S	0-1700°C	1°C	±0.2%(3.4°C)
03		K	(-)250.0-1300.0°C	0.1°C	±0.2%(2.6°C)
04		E	0.0-1000.0°C	0.1°C	±0.2%(2.0°C)
05		J	(-)200.0-700.0°C	0.1°C	(0.2%(1.4°C)
06		T	(-)250.0-400.0°C	0.1°C	(0.2%(0.8°C)
07		B	0-1800°C	1°C	(0.2%(3.6°C)
08		RTD PT100	(-)200.0-800.0°C	0.1°C	(0.2%(1.6°C)
09	Voltage(mV)	0-100	0.00-100.00mV	0.01mV	(0.02%(0.02mV)
10	Voltage (V)	0-5	0.000-5.000V	0.001V	(0.04%(0.002V)
11		0-10	0.000-10.000V	0.001V	(0.02%(0.002V)
12	Current (mA)	0-20	0.00-20.00V	0.01mA	(0.1%(0.02mA)
13		0-40	0.00-40.00V	0.01mA	(0.05%(0.02mA)



รูปที่ 2.16 Analog Input Modules WISCO AI210

## 2.8 การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และ Visual Basic

การติดต่อสื่อสารระหว่าง Dry well รุ่น 9105 และ Analog Input Module รุ่น AI210 กับ PC นั้นจะทำการเชื่อมต่อกันผ่านทางสาย RS-232 ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการใช้โมดูลติดต่อสื่อสาร ที่มีอยู่ใน Visual Basic ซึ่งเรียกกันว่า MSComm เป็นตัวกลางในส่งผ่านข้อมูลเพื่อติดต่อสื่อสารกันซึ่งมีข้อกำหนดในการติดต่อกับโปรแกรม ก็จะต้องตั้งค่า Baud rate 1200, Data bit 8, Stop bit 1, Parity None โดยลักษณะคำสั่งที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PC กับ Dry well จะมีการใช้คำสั่งในการอ่านค่าอุณหภูมิ, การตั้งค่า Set point ซึ่งคำสั่งที่ใช้งานมีดังต่อไปนี้

$t$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการอ่านค่าที่ Dry Well ( $^{\circ}\text{C}$ )

$s$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการตั้งค่าอุณหภูมิให้กับ Dry Well ( $^{\circ}\text{C}$ )

$Sr$  = เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงให้กับ Dry Well ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )

โดยรูปแบบคำสั่งนั้นแสดงให้ดูดังรูปที่ 2.17

```
'Change Button Connect to Disconnect
If cmdConnect.Caption = "&Connect" Then
cmdConnect.Caption = "&Disconnect"

MSComm2.CommPort = "1" 'set comport
MSComm2.Settings = "1200,n,8,1" 'set baud rate

If MSComm2.PortOpen = False Then 'if port1 close. It's open
MSComm2.PortOpen = True
End If
StrClear = MSComm2.Input 'clear buffer
StrClear = ""
MSComm2.InBufferCount = 0 'clear buffer
MSComm2.OutBufferCount = 0

MSComm2.Output = "s= 35"
MSComm2.Output = "sr=10" 'scanrate
tmrDRYWELL.Enabled = True
```

รูปที่ 2.17 การเขียน โปรแกรมสั่งงานตั้งค่า Set point ที่  $35^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการติดต่อสื่อสารระหว่าง Visual Basic กับ AI210 จะใช้โมดูล MSComm เช่นเดียวกันกับการติดต่อกับ Dry well โดยจะทำการแยก Port กันใช้เนื่องจากมีการติดต่อกับ อุปกรณ์ 2 ตัว ซึ่งมีข้อกำหนดในการติดต่อกับ โปรแกรม ที่มีการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมคือ จะต้องตั้งค่า BAUD RATE 9600, Data bit 8, Stop bit 1, Parity None และตัว AI210 มี Protocol ในการสื่อสารเป็นของตัวเอง ดังนั้นในการสั่งงานจะต้องใช้คำสั่งเฉพาะที่ ซึ่งคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงานตัว AI210 ที่ใช้อยู่มีดังนี้

คำสั่งที่ใช้ในการอ่านค่า Analog Input โดยตัวอย่างจะแสดงการอ่านค่าที่เครื่อง 01 และอ่านค่าที่ ช่อง 1 3 5 และ 7 โดยคำสั่งที่ใช้คือ #01RAIF1357 [CR] และตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น AI> ตามด้วยค่าที่เป็นทศนิยม ซึ่งค่าที่ได้นั้นเป็นค่าจริงสามารถนำไปใช้ได้ทันที โดยค่าที่ได้มานั้นจะแยกออกเป็นช่อง โดยใช้เครื่องหมาย ( , ) และจบด้วย [CR] ซึ่งจากตัวอย่างสั่งงานในการอ่านค่าที่ช่อง 1 3 5 และ 7 โมดูลจะตอบกลับมาเป็น AI>XXX,YYY,ZZZ,AAA[CR] ซึ่งตัวอย่างในการเรียกค่าจากตัว AI210 สามารถเขียน โปรแกรม ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
'Timer For Auto Buttom
On Error Resume Next
MSComm1.Output = "#00raif12345678" + Chr$(13)
Buffer = MSComm1.Input

p(0) = 0
tmp = Buffer

For J = 0 To 7
  If J = 7 Then
    m = Len(tmp)
    ans(7) = Left(tmp, m - 1)
  Else
    p(J) = InStr(1, tmp, ",")
  End If
  ans(J) = Left(tmp, p(J) - 1)
  m = Len(tmp)
  tmp = Right(tmp, m - p(J))
Next J
m = Len(ans(0))
ans(0) = Right(ans(0), m - 3)
txtMonitor1.Text = ans(0)
txtMonitor2.Text = ans(1)
txtMonitor3.Text = ans(2)
txtMonitor4.Text = ans(3)
txtMonitor5.Text = ans(4)
txtMonitor6.Text = ans(5)
txtMonitor7.Text = ans(6)
txtMonitor8.Text = ans(7)
ans(8) = txtShowDTM.Text
```

## รูปที่ 2.18 การเขียน โปรแกรมสั่งงานการอ่านและรับค่าจากตัว AI210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 การเชื่อมต่อ Visual Basic เข้ากับ Access

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเชื่อมต่อ Visual Basic เข้ากับระบบฐานข้อมูลของ Access ซึ่งในการเชื่อมต่อนั้นมีวิธีการให้เลือกใช้หลายแบบ ซึ่งแต่ละหลักการก็มีความสามารถแตกต่างกันไป ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ ADO เข้ามาใช้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากมีความสามารถในการเข้าถึงฐานข้อมูลได้ง่ายและตรงกับความต้องการ ซึ่งรายละเอียดในการเขียนโปรแกรมติดต่อฐานข้อมูลด้วย ADO สามารถอ่านได้ในภาคผนวก ข. ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.19

```
Private Sub Form_Load()
Adodc1.ConnectionString =
    "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=D:\DTAC\Calibration4.mdb;Persist Security Info=False"

'Adodccustomer.Recordset.Sort = "CustomerID"
'SaveFlage = False
Adodccustomer.Recordset.AddNew

txtserialNoUUT.Text = frmOrder.txtserialUUT.Text
End Sub
'Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
'    If SaveFlage Then
'        Cancel = MsgBox("ถ้าจะปิดโปรแกรมให้บันทึกข้อมูลหรือไม่", vbOKCancel, "โปรดระวัง")
'        Cancel = Cancel - 1
'        If Cancel = 0 Then
'            Adodccustomer.Recordset.Update
'        End If
'    Else
'        Adodccustomer.Recordset.Cancel
'    End If
'End Sub
```

รูปที่ 2.19 การเขียนโปรแกรมตั้งงานเชื่อมต่อฐานข้อมูล Access ด้วย ADO

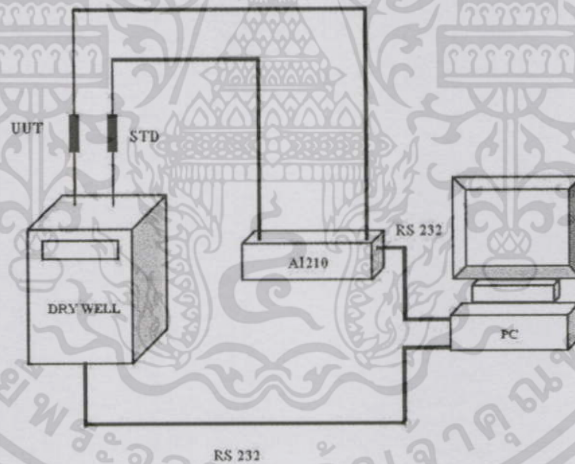
## บทที่ 3

# ระบบและวิธีการทดสอบอุปกรณ์

บทนี้เป็นการกล่าวถึง การออกแบบระบบและทดสอบระบบ และขั้นตอนการทดลองในแต่ละสภาวะตามขอบเขตของการศึกษา โดยอ้างอิงจากทฤษฎีในบทที่ 2 นำมาเป็นข้อมูลประกอบในการสร้างระบบการวัด

### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบ

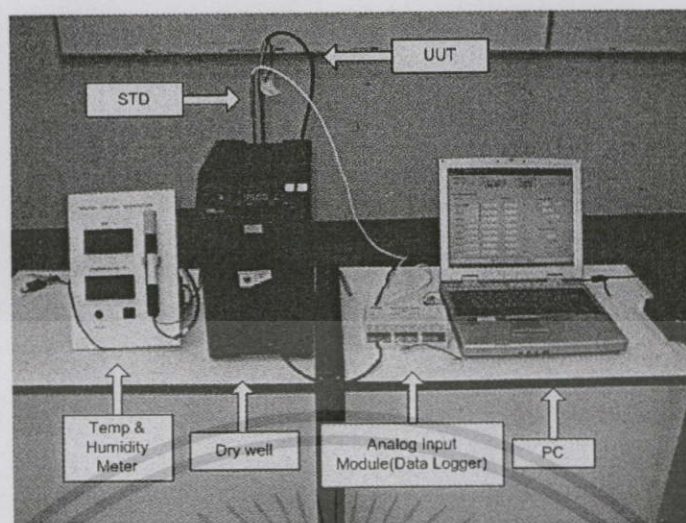
ระบบที่ออกแบบขึ้นมานั้นจะมีส่วนประกอบ 2 ส่วน ซึ่งส่วนที่หนึ่งคือ Hardware และส่วนที่สองคือ Software โดยในส่วนของ Hardware นั้นจะประกอบด้วยตัว Dry well, อนุลอกอินพุท (Analog Input Module; Data Logger) และคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์ทั้งหมดนั้นประกอบกันเป็นระบบซึ่งมีรูปแบบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบ

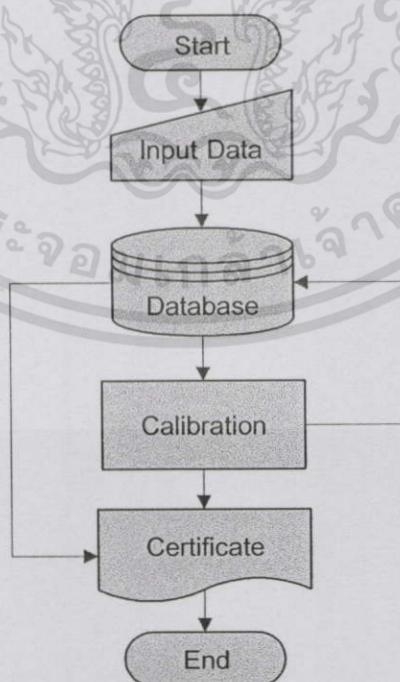
การสอบเทียบอุปกรณ์ STD แบบมาตรฐานกับอุปกรณ์ UUT นั้น จะต้องกระทำอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการสอบเทียบ โดยระบบที่ได้ออกแบบมานี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆซึ่งทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ Dry Well จะทำหน้าที่สร้างอุณหภูมิให้กับชุดสอบเทียบ โดยการควบคุมของคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 อุปกรณ์ STD และ UUT จะถูกต่อเข้ากับชุดอนุลอกอินพุทที่มีจำนวนช่อง (Channel) สำหรับรับสัญญาณ 8 ช่อง เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลเข้ากับโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic

ซึ่งจะทำให้สามารถที่จะทำการสอบเทียบอุปกรณ์พร้อมกันได้พร้อมกันหลายๆตัว  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างระบบที่ใช้ในการวิจัย

ในส่วนที่สองเป็นโปรแกรมระบบฐานข้อมูลและประมวลผลที่ได้จากการสอบเทียบ อุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งในที่นี้ได้พัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรม Visual Basic ในการติดต่อกับอุปกรณ์ ภายนอกเช่น Dry well และ Analog Input Module เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน ต่างๆ และความไม่แน่นอน รวมไปถึงการออกรับรองผลการสอบเทียบ ซึ่งในการทำงานของ โปรแกรมนี้มีขั้นตอนในการทำงานดังแผนภาพแสดงการทำงานดังต่อไปนี้



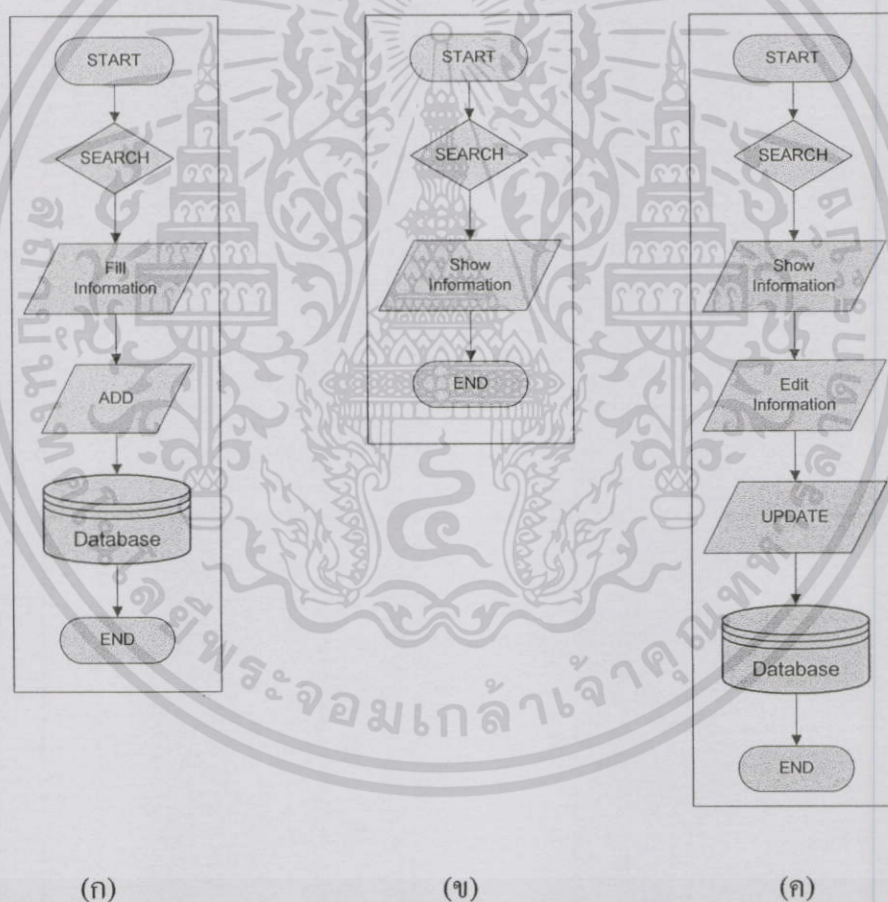
รูปที่ 3.3 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนในออกแบบการสอบเทียบ

ระบบการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการนำอุปกรณ์ UUT มาทำการป้อนข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลลูกค้า ข้อมูลพนักงาน และ Serial No. ของ UUT ที่ต้องการสอบเทียบ จากนั้นโปรแกรมจะทำการค้นหาประวัติในฐานข้อมูล ถ้ามีประวัติอยู่แล้วจึงเริ่มกระบวนการสอบเทียบและออกใบรับรองให้ตามลำดับ โดยสามารถเลือกลักษณะการสอบเทียบได้ 3 กรณีจากโปรแกรมคือ อุปกรณ์ใหม่ย่านการสอบเทียบใหม่ อุปกรณ์เดิมย่านการสอบเทียบใหม่ และอุปกรณ์เดิมย่านการสอบเทียบเดิม โดยในแต่ละเงื่อนไขนั้น ก็จะมีส่วนของการเก็บข้อมูลแตกต่างกันไปดังแสดงตามแผนภูมิดังรูปที่

3.4

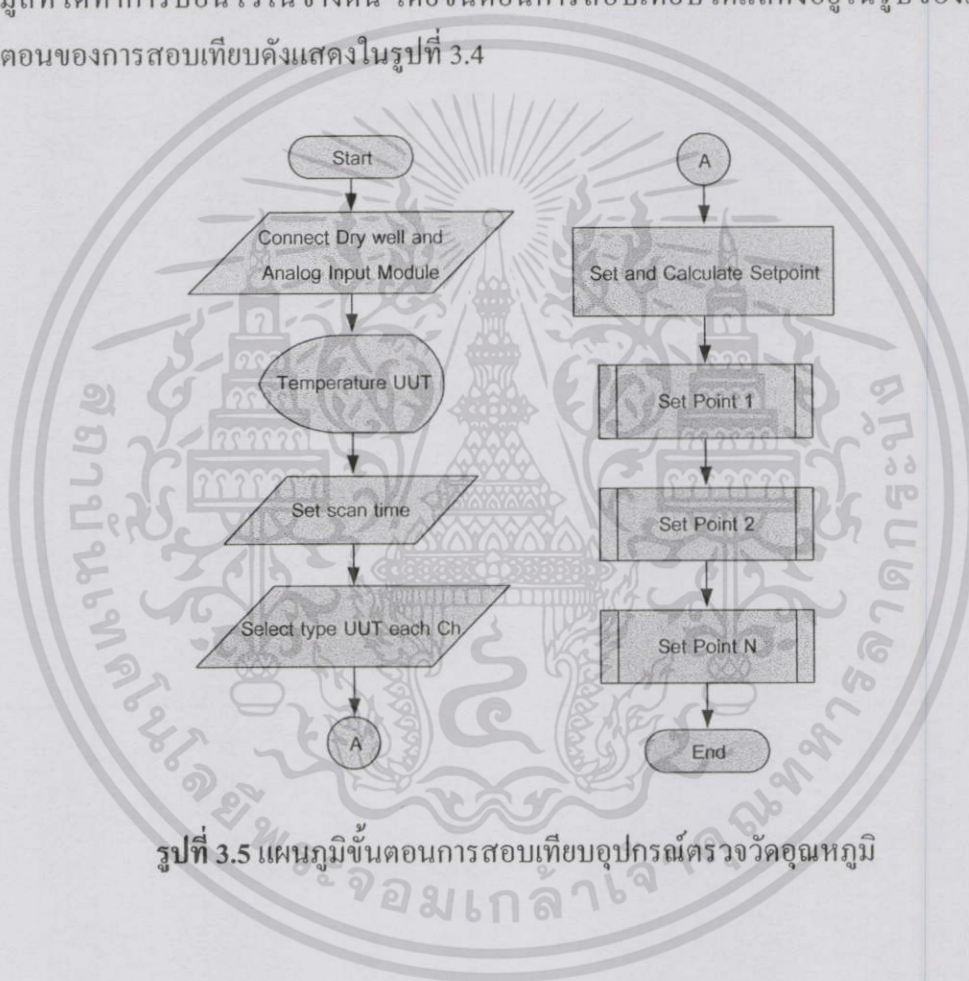


รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการทำงานในส่วนของการเก็บข้อมูลอุปกรณ์ก่อนการสอบเทียบ

- (ก) กรณีอุปกรณ์ใหม่ ต้องการสอบเทียบในย่านการวัดใหม่
- (ข) กรณีอุปกรณ์เก่าที่เคยสอบเทียบแล้ว ต้องการสอบเทียบซ้ำในย่านการวัดเดิม
- (ค) กรณีอุปกรณ์เก่าที่เคยสอบเทียบแล้ว ต้องการสอบเทียบในย่านการวัดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

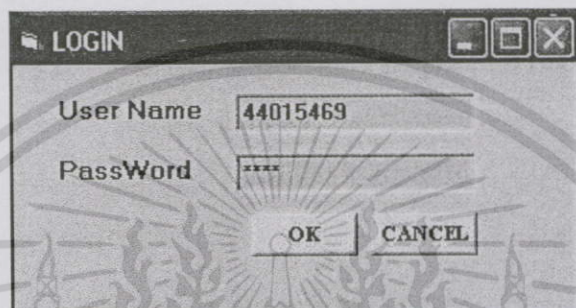
หลังจากที่ทำการป้อนข้อมูลของตัวอุปกรณ์เพื่อใช้ในการออกใบรับรองแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการสอบเทียบ โดยที่เราจะต้องทำสิ่งให้โปรแกรมทำการติดต่อกับตัว Dry well ก่อนเมื่อทำการงานแล้วนั้น โปรแกรมจะสั่งงานให้คอมพิวเตอร์จะทำการรับ - ส่งข้อมูลเพื่อติดต่อกับ Dry well และชุดของ Analog Input Module ทางพอร์ตอนุกรมพร้อมกับแสดงค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก Dry well ต่อมาจึงให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้กำหนดชนิดของ UUT และตั้งค่าจุดในการวัด (Set point) ของอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบเมื่อกำหนดข้อมูลต่างๆครบถ้วนแล้ว จึงค่อยทำการสั่งงานโปรแกรม แล้วระบบจะเริ่มกระบวนการสอบเทียบตามค่าที่ตั้งไว้ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นตามข้อมูลที่ได้ทำการป้อนไว้ในข้างต้น โดยขั้นตอนการสอบเทียบได้แสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิขั้นตอนของการสอบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 แผนภูมิขั้นตอนการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

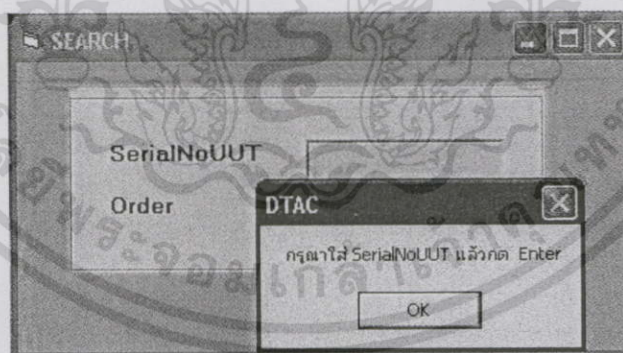
### 3.3 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูลของระบบ

เมื่อได้ทำการออกแบบระบบการสอบเทียบอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ก็ได้มีการจัดทำโปรแกรมขึ้นด้วยโปรแกรม Visual Basic โดยมีการจัดทำรูปแบบของโปรแกรมดังนี้ โดยในลำดับแรกเมื่อทางผู้ที่จะทำการสอบเทียบมีความประสงค์จะใช้โปรแกรมนี้ จะต้องมี User name และ Password



รูปที่ 3.6 หน้าจอการ Log In เข้าสู่โปรแกรม

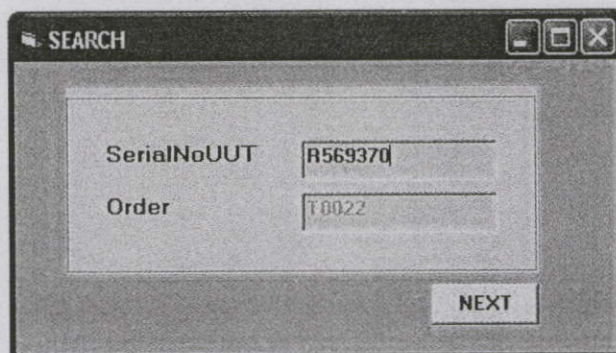
หลังจากที่ทำการกรอก Username และ Password เรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่กระบวนการใส่ Serial Number ของ UUT ที่จะนำมาสอบเทียบ โดยจะปรากฏหน้าจอที่ 2 ขึ้นมาดังนี้



รูปที่ 3.7 หน้าจอที่ 2 แสดงการใส่ข้อมูลอุปกรณ์ที่จะนำมาสอบเทียบ

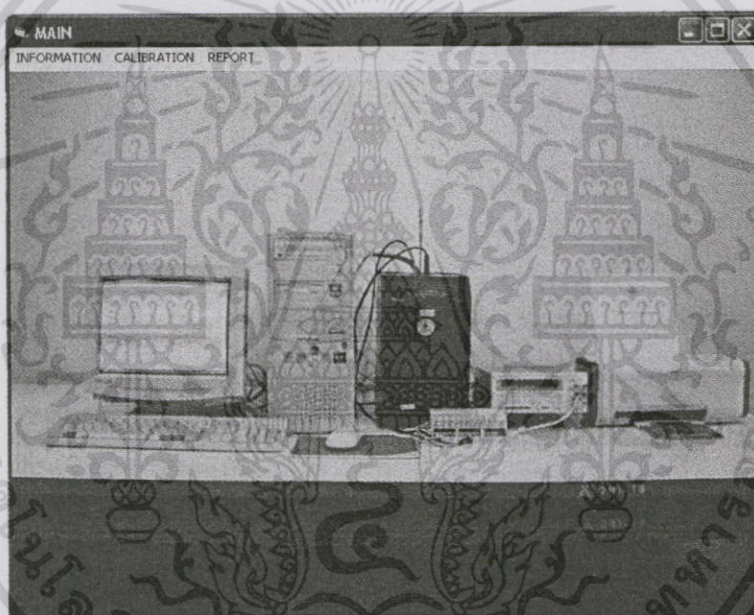
ให้ใส่ Serial No UUT ที่ต้องการ หลังจากนั้นระบบจะทำการบันทึกหมายเลขลงในระบบฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



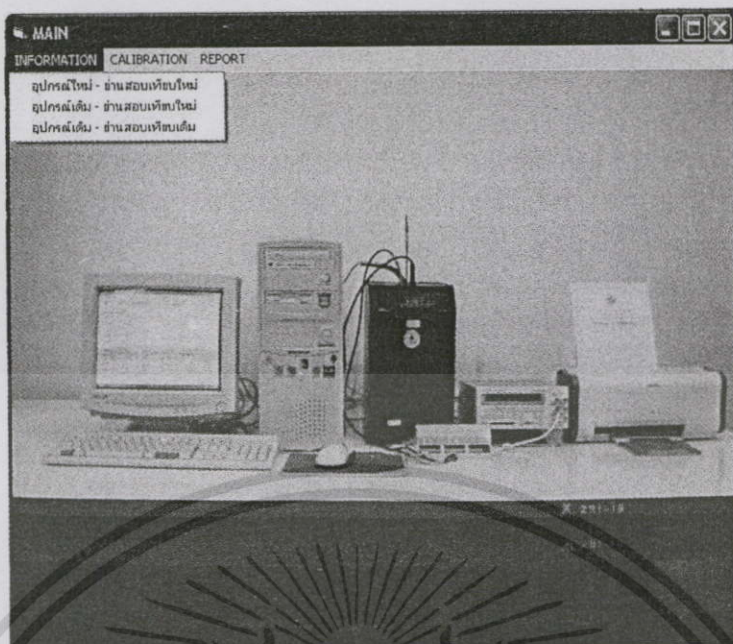
รูปที่ 3.8 หน้าจอแสดงการป้อนค่า Serial Number

หลังจากนั้นจะเข้าสู่การเลือก MENU ซึ่งจะมีในส่วนของ Information, Calibration และ Report



รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงการเลือก MENU ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



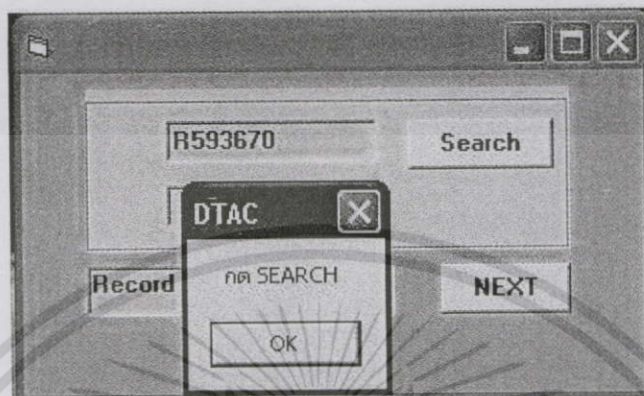
รูปที่ 3.10 หน้าจอแสดงการเลือกฟังก์ชันการทำงาน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเลือกฟังก์ชันการทำงานของระบบ โดยจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Information จะเชื่อมต่อไปยังหน้าจอสำหรับกรอกข้อมูลเกี่ยวกับตัวอุปกรณ์ และความต้องการของผู้นำตัวอุปกรณ์มาสอบเทียบซึ่งจะประกอบด้วย 3 กรณีดังนี้
  1. อุปกรณ์ใหม่ ยานการสอบเทียบใหม่
  2. อุปกรณ์เดิม ยานการสอบเทียบใหม่
  3. อุปกรณ์เดิม ยานการสอบเทียบเดิม
- Calibration จะเชื่อมต่อไปยังหน้าจอที่ใช้สำหรับการติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ และการกำหนดค่าในการสอบเทียบตัวอุปกรณ์
- Report จะเชื่อมต่อไปยังหน้าจอที่แสดงรายงานผลโดยรวมก่อนที่จะทำการออกเป็นใบ Certificate มี 2 ส่วนดังนี้
  1. ใบรับเรื่อง
  2. ใบ Certificate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเลือก Information จะเป็นการใส่ข้อมูลของตัวอุปกรณ์ที่เราจะนำมาสอบเทียบ โดยระบบจะทำการค้นหาในฐานข้อมูล ว่าอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบนั้นเคยมีประวัติอยู่แล้วหรือไม่ โดยจะมีหน้าจอแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงการค้นหาข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบฐานข้อมูล

หลังจากนั้นระบบจะทำการแสดงผลการค้นหา ซึ่งแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบไว้ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

GENERAL DATA			
Serial Number	R593670		
Certificate Number	T0038		
UUT			
NAME UUT	P10 P100		
MODEL UUT	P1234		
RANGE UUT	250 to 500		
MANUFACTURE	HAART		
MADE IN	USA		
ACCURACY			
UNCERTAINTY	0.1732		
CALIBRATION			
CALIBRATION RANGE			
30	TO 60		
POINT	3		
TIMEUSER	2:30:10 AM		
RECEIVED DATE	3/23/2004		
CALIBRATION DATE	3/24/2004		
DATE	UP		
COMPANY CUSTOMER			
COMPANY CUSTOMER	CAI		
CUSTOMER ID	CU003		
Record : 1 / 12			
S	P	N	L
ADD	UPDATE	DELETE	CANCEL
OK	NEXT		

รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลอุปกรณ์ที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในหน้าแสดงผลการค้นหาข้อมูลนั้น จะแสดงผลข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ในฐานข้อมูล โดยเราสามารถที่จะเลือกดูได้ที่ระยการ และเราสามารถที่จะเลื่อนไปหาข้อมูลที่บันทึกไว้ได้ โดยการเลือกที่ Interface ของ โปรแกรม ซึ่งปุ่มกดต่างๆของ โปรแกรมมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- ปุ่ม F ใช้สำหรับเรียกดูข้อมูลแรกสุดที่เคยบันทึกไว้
- ปุ่ม L ใช้สำหรับเรียกดูข้อมูลล่าสุดที่ได้บันทึกไว้
- ปุ่ม N ใช้สำหรับเรียกดูข้อมูลถัดไป
- ปุ่ม P ใช้สำหรับเรียกดูข้อมูลก่อนข้อมูลในหน้าที่แสดงอยู่ปัจจุบัน
- ปุ่ม ADD ใช้สำหรับเพิ่มข้อมูลลงในระบบ
- ปุ่ม UPDATE ใช้สำหรับปรับปรุงข้อมูลในระบบ
- ปุ่ม DELETE ใช้สำหรับลบข้อมูลในตาราง
- ปุ่ม CANCEL ใช้สำหรับยกเลิกการเปลี่ยนแปลงข้อมูล
- ปุ่ม OK ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลที่ทำการตรวจสอบแล้ว
- ปุ่ม NEXT ใช้สำหรับเลื่อนไปยังหน้าจอถัดไป

จากที่เราทำการตรวจสอบข้อมูลของตัวอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการกำหนดย่านการสอบเทียบ โดยในขั้นตอนนี้จะสามารถเลือกใช้น่านการสอบเทียบเดิมที่เคยมีบันทึกอยู่ หรือจะเปลี่ยนย่านการสอบเทียบใหม่ก็ได้

GENERAL DATA			
Serial Number	R593879		
Certificate Number	T0939		
<b>UUT</b>			
NAME UUT	PID Pt100		
MODEL UUT	PU0345		
RANGE UUT	200 to 500		
MANUFACTURE	HART		
MADE IN	USA		
ACCURACY	3		
UNCERTAINTY	1.172		
<b>CALIBRATION</b>			
CALIBRATION RANGE			
80	TO 150		
POINT	5		
TIMEUSER	04:10:00		
RECEIVED DATE	29/37 2004		
CALIBRATION DATE	3/30/2004		
DATE UP			
Record : 1 / 1			
COMPANY CUSTOMER			
CUSTOMER ID	CAI		
	C0003		
F	P	N	L
ADD	UPDATE	DELETE	CANCEL
OK	NEXT		

รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงการกรอกข้อมูลย่านการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้วระบบจะแสดงการยืนยันว่าผู้ใช้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว และจะเข้าสู่การเก็บข้อมูลของลูกค้าต่อไป

GENERAL DATA

Serial Number: R593670  
Certificate Number: T0039

UUT  
NAME UUT: RTD Pt100  
MODEL UUT: PUU345  
RANGE UUT: 200 to 500  
MANUFACTURE: NI  
MADE IN: US  
ACCURACY: 3  
UNCERTAINTY: 1.1

CALIBRATION  
CALIBRATION RANGE: 80 TO 150  
POINT: 5  
DATE: 29/3/2004  
DATE: 3/30/2004

COMPANY CUSTOMER: CAL  
CUSTOMER ID: C0003

Record: 1 / 1

Buttons: ADD, UPDATE, DELETE, CANCEL, OK, NEXT

DTAC Dialog: ข้อมูลได้รับการ UPDATE แล้ว กรุณาคลิก NEXT

รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงการยืนยันข้อมูล

ต่อมาเป็นการบันทึกข้อมูลของลูกค้าที่นำอุปกรณ์มาสอบเทียบซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการออกใบรับรองต่อไป

CUSTOMER1

CUSTOMER DATA

ID CUSTOMER: C0003  
SerialNoUUT: R593670  
NAME: Tik FanPUU  
COMPANY: CAL  
ADDRESS: Bangkok  
Thailand  
PHONE: 012345693

Buttons: SAVE, CANCEL, BACK, NEXT

Record: 3 of 14

รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงการเก็บข้อมูลลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาเป็นการกำหนดช่องของตัว Analog Input เพื่อที่จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบหลังจากที่ทำการกำหนดเรียบร้อยแล้ว ทำเป็นขั้นตอนในการป้อนข้อมูลของผู้ที่ทำการสอบเทียบ

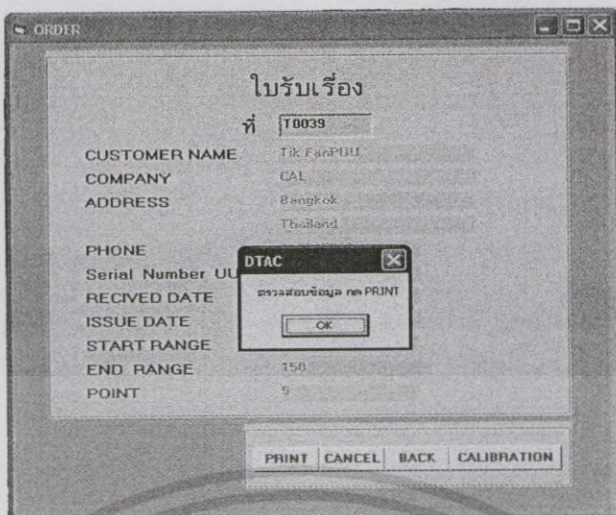
รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงการเลือกช่องที่จะนำอุปกรณ์ไปเชื่อมต่อ

รูปที่ 3.17 หน้าจอแสดงการป้อนข้อมูลผู้ที่ทำการสอบเทียบ

หลังจากกำหนดข้อมูลต่างๆเรียบร้อยแล้วจะเป็นการออกใบรับเรื่อง เพื่อใช้เป็นเอกสาร

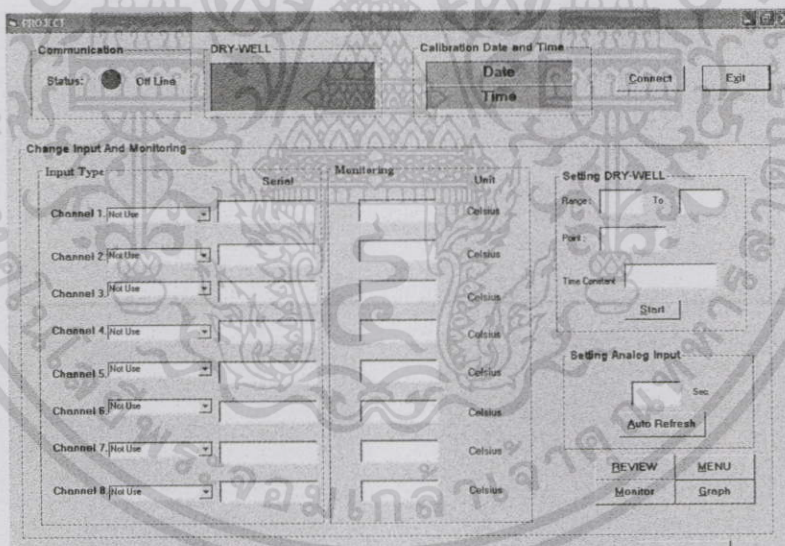
รับรองให้กับลูกค้าเพื่อใช้ในการรับอุปกรณ์กลับหลังจากการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 หน้าจอแสดงออกใบรับเรื่อง

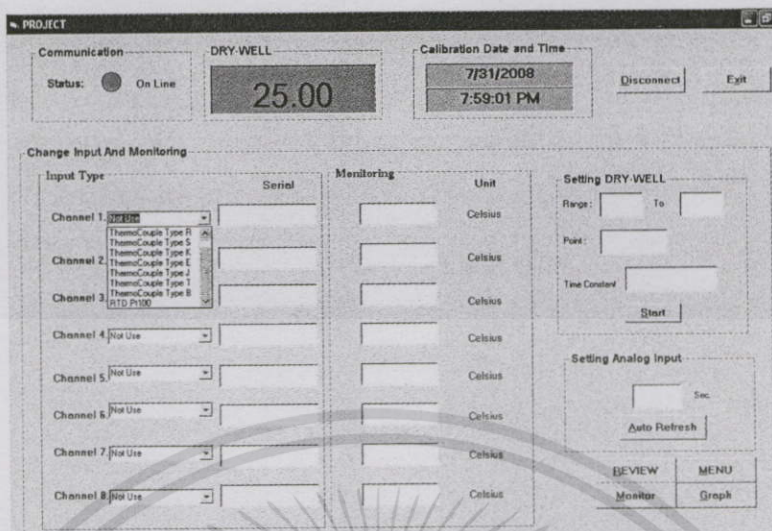
หลังจากที่ทำการกำหนดข้อมูลที่เป็นต่างๆเรียบร้อยแล้วนั้น ก็จะเข้าสู่กระบวนการสอบเทียบอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.19 หน้าจอแสดงการติดต่ออุปกรณ์ในการสอบเทียบ

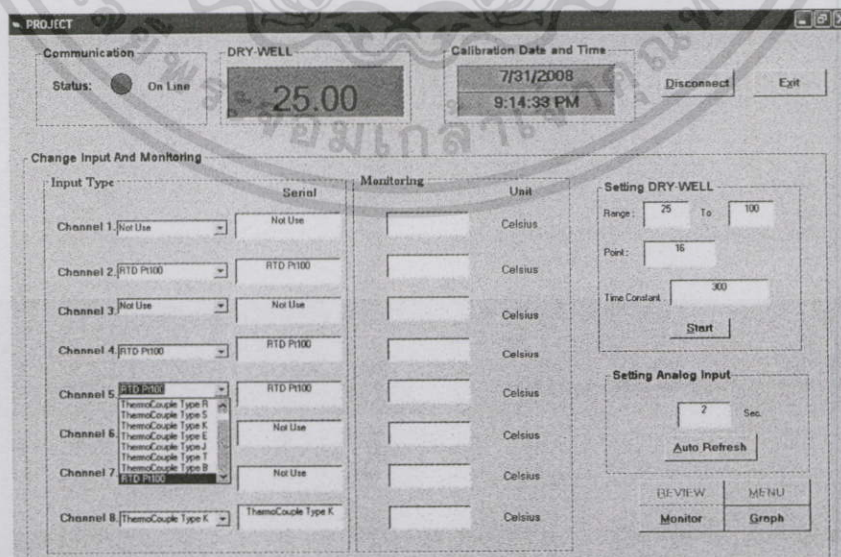
จากรูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอการสอบเทียบ ให้ทำการกดปุ่ม connect เพื่อทำการติดต่อกับตัว Dry Well และตัว Analog Input โดยที่โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าเริ่มต้นที่จะทำการสอบเทียบให้ แล้วนำไปตั้งค่าให้กับตัว Dry Well และในหน้าจอจะมี Serial No. ของตัว UUT ที่จะนำมาทำการสอบเทียบที่ได้ทำการเลือก Channel ที่จะทำการสอบเทียบ โดยข้อมูลส่วนนี้จะดึงข้อมูลมาจากรฐานข้อมูลที่ได้นบันทึกไว้ จากนั้นจะทำการเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่ต่อกับ Channel

แต่ละ Channel ที่ต่อกับตัว AI210 (โดยที่สามารถตรวจสอบได้จากใบรับเรื่อง) ซึ่งประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงการเลือกชนิดของอุปกรณ์

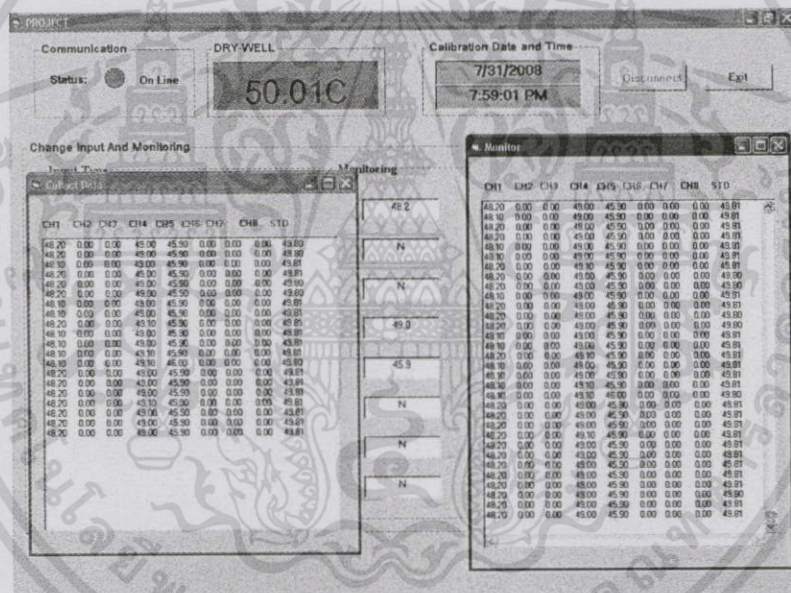
เมื่อทำการเลือกชนิดของอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการใส่ช่วงเวลาที่เราจะทำการอ่านค่าอุณหภูมิของตัว UUT แต่ละ Channel เช่น ถ้าใส่เลข 3 ก็จะสแกนค่าทุกๆ 3 วินาที แล้วแสดงค่าเป็นต้น เมื่อทำการตั้งเวลาแล้วให้กดปุ่ม Auto Refresh โปรแกรมก็จะเริ่มอ่าน จากนั้นทำการกำหนดย่านที่จะทำการสอบเทียบพร้อมทั้งจำนวนจุดที่ทำการสอบเทียบ โดยช่วงย่านที่จะทำการสอบเทียบจะเป็นย่านที่ครอบคลุมอุปกรณ์ที่ทำการสอบเทียบ ในรอบการสอบเทียบนั้น เมื่อทำการกดปุ่ม Start โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าแต่ละช่วงการสอบเทียบนั้น พร้อมทั้งส่งค่าไปสั่งให้ Dry well ทำการกำหนดค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการตั้งค่าการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.21 จะเป็นการตั้งย่านอุณหภูมิที่ 25 °C ถึง 100 °C และ 16 Set Point โปรแกรมก็จะทำการคำนวณช่วงแต่ละ Set Point และ Dry well จะทำการกำหนดค่าอุณหภูมิไปที่ Set Point แรกคือที่ 25 °C เมื่อ Dry well เข้าสู่ Set Point จากรูปที่ 3.22 แสดงถึง โปรแกรมทำการเข้าถึง Set point ที่ 50 °C โปรแกรมจะทำการหน่วงเวลา เพื่อให้เข้าสู่จุดที่มีความเสถียรภาพ หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการเก็บค่า 200 ค่า ที่ได้จากการอ่านค่าอุณหภูมิของ UUT เพื่อนำไปคำนวณหา ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อน และ ค่าความไม่แน่นอนต่อไป พร้อมทั้งจะทำการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล เมื่อทำการคำนวณค่าต่าง ๆ และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลแล้ว โปรแกรมจะทำการส่งค่า Set Point ต่อไปให้กับตัว Dry Well กำหนดค่าอุณหภูมิและทำการเก็บค่า ไปคำนวณเช่นนี้เรื่อยไป จนกว่าจะครบทุก Set Point ที่ได้ตั้งไว้ ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นการสอบเทียบ แล้วจึงนำผลที่ได้จากฐานข้อมูลไปทำการออกใบรับรองต่อไป



รูปที่ 3.22 การทำงานของ โปรแกรมขณะที่ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 50 °C

เมื่อทำการสอบเทียบเสร็จเราสามารถที่จะดูค่าที่คำนวณได้เช่น ค่า Standard, ค่า Error, Set Point ค่า Uncertainty และ ค่า  $U_a$ ,  $U_b$  ได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.24

Monitor & Graph

Monitor Graph

Monitor

Set Point	Standard Reading	Indicator Reading	Error	Uncertainty
50	50.01	49.285	0.725	1.891
62.5	62.511	61.8	0.71	1.89
75	75.021	74.265	0.736	1.891
87.5	87.529	86.795	0.733	1.891
100	100.04	99.26	0.78	1.891

TYPE A – TYPE B

Channel 1 Channel 2 Channel 3 Channel 4 Channel 5 Channel 6 Channel 7 Channel 8

TYPE A

Symbol	Source Of Uncertainty	Value	Probability Distribution	Divisor	U(1)
U(A_Self-Point 1)	Repeatability of UUT	0.028	Normal	1.0	0.028
U(B_Self-Point 2)	Repeatability of UUT	0.000	Normal	1.0	0.000

TYPE B

Symbol	Source Of Uncertainty	Value	Probability Distribution	Divisor	U(1)
U(1)	RTD P100 UUT 1	1.60	Rectangular	1.732	0.924
U(2)	Digital Thermometer	0.150	Rectangular	1.732	0.087

Uc

SetPoint	UC
1	0.945
2	0.945
3	0.945

GRAPH Done

รูปที่ 3.23 หน้าจอสรุปผลการสอบเทียบ

หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลที่ได้ออกจากการสอบเทียบลงไปยังฐานข้อมูล เพื่อนำไปออกใบ Certificate โดยโปรแกรมจะแสดงข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นแสดงให้ผู้ทำการสอบเทียบตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่จะพิมพ์เป็นใบ Certificate

REVIEW

Certificate ON T0033

STANDARD

SerialNoSTD	STDName	STDModel	STDCertificateNo	STDUseDate
56148	HART	9122	0211857	12/30/2547
533670	SPRT	180648050681	37913	4/4/2547
A029763	DIGITAL THERMOMETER	7563	0	12/4/2547

RESULT OF TEST

OrderID	SerialNoUUT	UUTName	UUTManufacturer	UUTModel
T0033	R593670	RTD P100	HART	PUU345
T0033	R593670	RTD P100	HART	PUU345
T0033	R593670	RTD P100	HART	PUU345
T0033	R593670	RTD P100	HART	PUU345

SerialNoUUT	R593670	POINT	5
UUTNAME	RTD P100	ISSUE DATE	3/29/2004
UUTMODEL	PUU345	RECEIVED DATE	3/29/2004
MANUFACTURER	HART	CALIBRATOR NAME	T&F/PPU
UUTMADE IN	USA	COMPANY	CAL

PrintCar

รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงผลข้อมูลก่อนการสั่งพิมพ์ใบ Certificate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

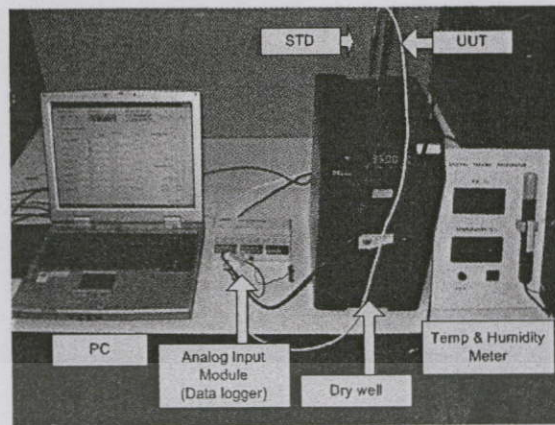
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

จากการออกแบบระบบและทดสอบในส่วนของการตั้งค่าต่างๆในบทที่ 3 นั้นจะทำการทดสอบระบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาในสภาวะแวดล้อมต่างๆกัน ซึ่งจะทำการทดสอบใน 3 สภาวะได้แก่ ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ คาดฟ้าตึก และห้องปฏิบัติการเซนเซอร์เพื่อเป็นการทดสอบค่าความผิดพลาดในการวัดที่เกิดจากอุณหภูมิภายนอกต่อระบบที่ทำการออกแบบไว้

#### 4.1 การทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ในการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบนั้นเพื่อเป็นการทดสอบระบบเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวัดครั้งต่อไปที่ทำงานนอกสถานที่ โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นจะทำการควบคุมอุณหภูมิให้มีความคงที่ อยู่ที่  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  และให้ค่าความชื้นอยู่ที่ 40 ถึง 60 %RH. โดยข้อมูลที่ทำให้การเก็บค่านั้นจะประกอบด้วย อุณหภูมิของ Dry well, อุณหภูมิที่หัววัด, อุณหภูมิห้อง และค่าความชื้น โดยจะเก็บค่าทั้งหมด 200 ค่าในทุกๆ Set point เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย และค่าความผิดพลาดในการวัด โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบระบบ จะทำการตั้งค่าอยู่ที่  $25\text{ ถึง }100\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยจะทำการเพิ่มระดับของอุณหภูมิขึ้นทีละ  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งหลังจากที่ทำการตั้งค่าช่วงและจำนวนจุดที่จะทำการสอบเทียบในโปรแกรมแล้ว ระบบจะเริ่มทำงาน โดยจะเริ่มที่จุดแรกคือ  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  เมื่ออุณหภูมิไปถึงจุดแล้ว จะทำการรอประมาณ 5 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิตั้งตัวแล้วจึงทำการเก็บค่าทุกๆ 2 วินาทีจนครบที่ 200 ค่าต่อ 1 Set point แล้วจึงนำไปคำนวณค่าความผิดพลาดและค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป วิธีการสอบเทียบจะใช้การวัดอุปกรณ์ UUT เทียบกับ Standard Probe ในทุกๆ Set point โดยในการทดสอบนี้จะใช้ UUT ชนิด PT100 จำนวน 2 ตัว และ Thermocouple Type K เป็นตัวเก็บค่าอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับระบบการสอบเทียบ โดยระบบที่จัดทำขึ้นแสดงในรูปที่ 4.1 และค่าที่ได้จากการเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.1 ดังนี้



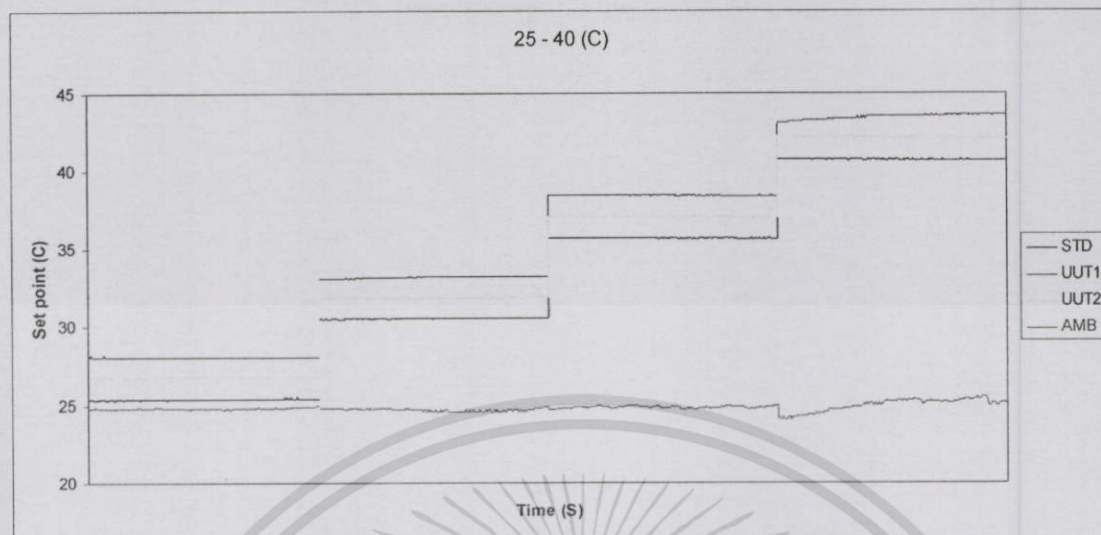
รูปที่ 4.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

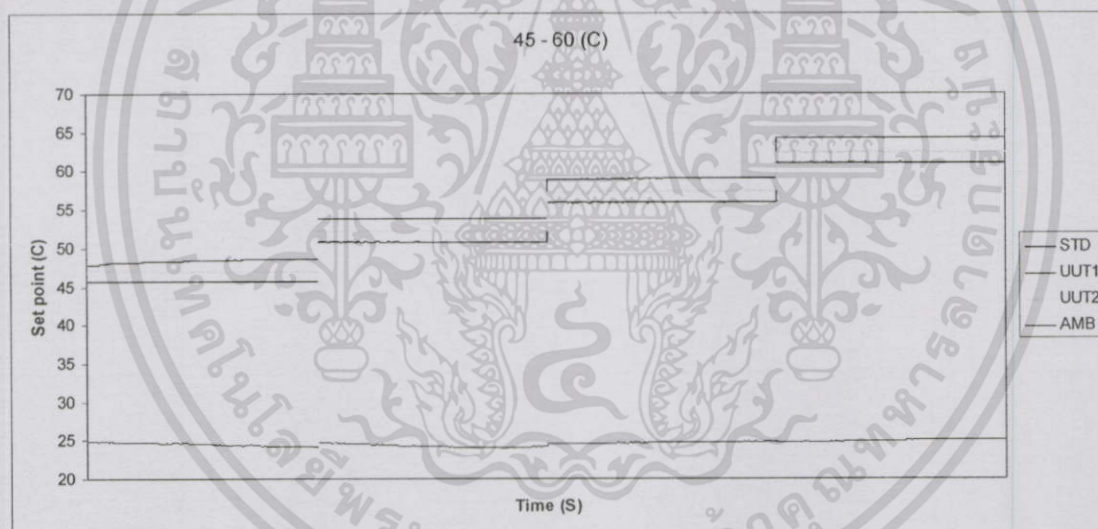
Set point (°C)	Avg. STD Temp (°C)	Avg. UUT1 Temp (°C)	Avg. UUT2 Temp (°C)	Avg. AMB Temp (°C)
25	25.397	28.102	26.786	24.808
30	30.585	33.243	31.909	24.704
35	35.674	38.459	37.077	24.843
40	40.748	43.446	42.153	24.949
45	45.762	48.404	47.119	24.530
50	50.813	53.801	52.200	24.266
55	55.993	59.066	57.350	24.699
60	61.104	64.299	62.428	24.943
65	66.181	69.372	67.479	25.267
70	71.239	74.483	72.585	24.840
75	76.283	79.587	77.615	25.033
80	81.269	84.700	82.589	24.978
85	86.447	89.985	87.746	24.998
90	91.456	94.954	92.736	25.297
95	96.415	100.107	97.656	24.965
100	101.516	105.189	102.760	24.870

หมายเหตุ STD คือ Standard Probe ที่ใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน, UUT1 คือ Probe ที่นำมาสอบเทียบตัวที่ 1, UUT2 คือ Probe ที่นำมาสอบเทียบตัวที่ 2, AMB คือ Probe ที่นำมาใช้วัดค่าอุณหภูมิสถานะแวดล้อมรอบข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

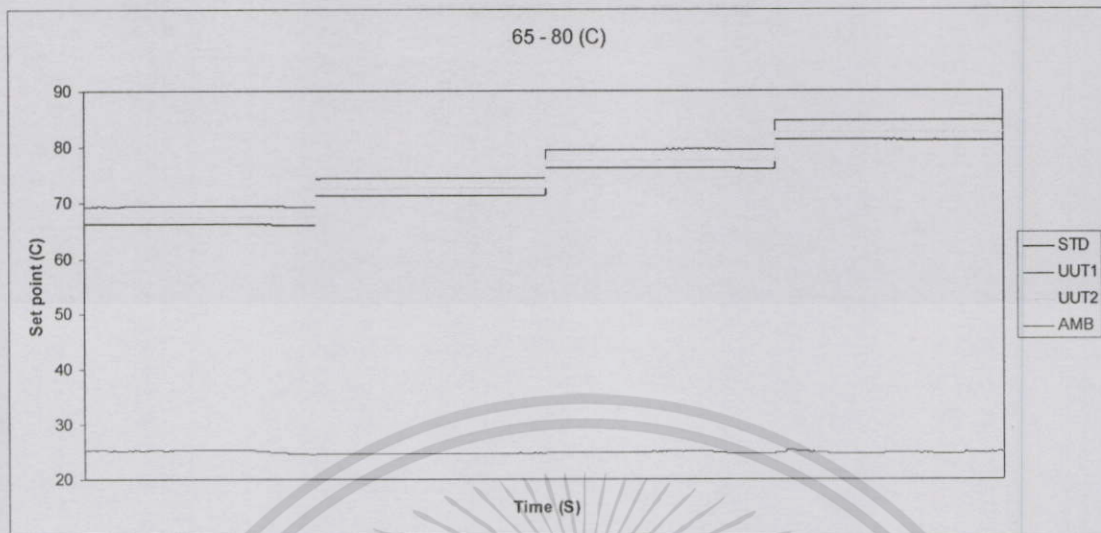


รูปที่ 4.2 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ด้วยขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C

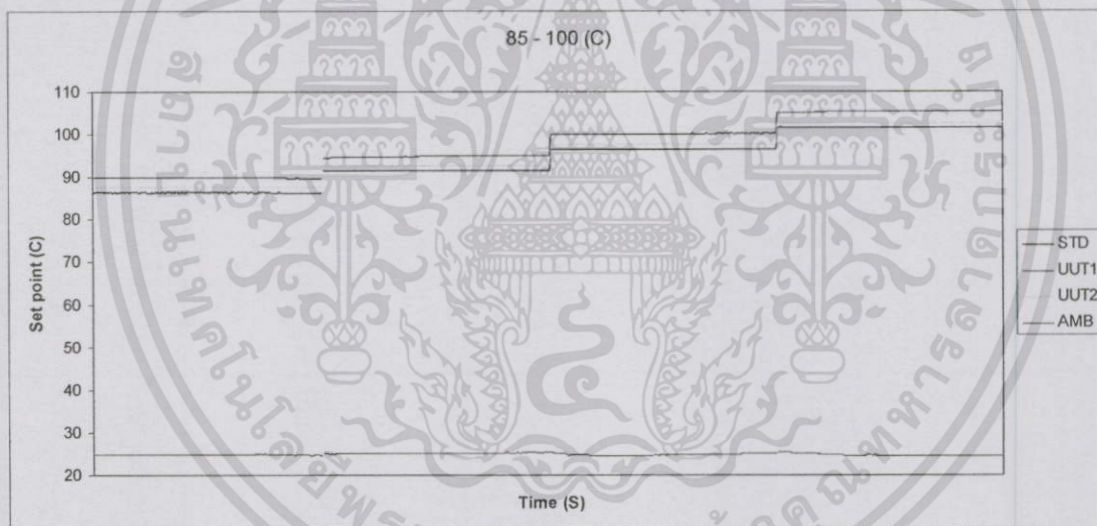


รูปที่ 4.3 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ด้วยขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C



รูปที่ 4.5 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสอบเทียบแล้ว โปรแกรมจะเริ่มคำนวณค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์แต่ละตัว โดยแบ่งออกเป็นแต่ละย่านของการวัด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

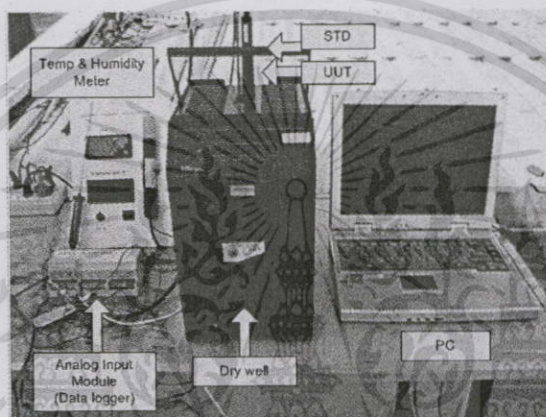
ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

Set point (°C)	UUT1 Avg.	UUT2 Avg.	Type A	Type A	Type A	Type A
	Error(°C)	Error(°C)	STD	UUT1	UUT2	AMB
25	2.705	1.389	0.002	0.001	0.002	0.004
30	2.659	1.324	0.003	0.005	0.002	0.006
35	2.786	1.403	0.003	0.003	0.003	0.006
40	2.698	1.405	0.004	0.010	0.004	0.028
45	2.642	1.357	0.003	0.015	0.003	0.016
50	2.988	1.387	0.002	0.001	0.001	0.016
55	3.074	1.357	0.002	0.003	0.004	0.007
60	3.195	1.324	0.001	0.001	0.003	0.008
65	3.192	1.298	0.003	0.003	0.003	0.016
70	3.243	1.346	0.003	0.003	0.003	0.005
75	3.304	1.332	0.003	0.005	0.004	0.011
80	3.431	1.320	0.005	0.001	0.003	0.012
85	3.538	1.299	0.004	0.003	0.004	0.006
90	3.498	1.280	0.004	0.010	0.004	0.008
95	3.692	1.241	0.003	0.003	0.004	0.013
100	3.673	1.244	0.005	0.005	0.004	0.020

จากผลการทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบนั้นพบว่า UUT ทั้ง 2 ตัวที่นำมาสอบเทียบด้วยนั้นมีการอ่านค่าได้สูงกว่าตัวตัวมาตรฐานและเมื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนตลอดย่านการวัดของ UUT1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.145 °C และของ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.332 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า UUT1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าตัว UUT2 มากซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทำตัว Probe ที่คุณภาพที่แตกต่างกัน และเมื่อนำค่าความไม่แน่นอนในการวัดชนิด A มาทำการพิจารณาพบว่า UUT1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.004 และของ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.003 แสดงให้เห็นว่า UUT ทั้ง 2 ตัวนั้นมีความสามารถในการวัดค่าซ้ำๆ ได้ใกล้เคียงกัน และเราจะนำค่านี้ไว้ใช้เป็นค่ามาตรฐาน ในการใช้อ้างอิงถึงการสอบเทียบภายนอกห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เพื่อใช้ในการหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิรอบข้างในจุดที่กำหนดต่อไป

## 4.2 การทดสอบระบบที่คาดฟ้าตึก

การทดสอบที่คาดฟ้าตึกทำขึ้นเพื่อ เป็นการทดสอบระบบว่าถ้ามีการนำออกไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้นจะส่งผลอย่างไรต่อระบบการสอบเทียบ โดยตัวแปรที่สนใจคือ อุณหภูมิภายนอก และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการสอบเทียบ โดยกระบวนการทดสอบจะทำ เหมือนกับการสอบเทียบภายในห้องปฏิบัติการทุกประการ เพื่อไม่ให้ตัวแปรอื่นที่ไม่ได้สนใจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

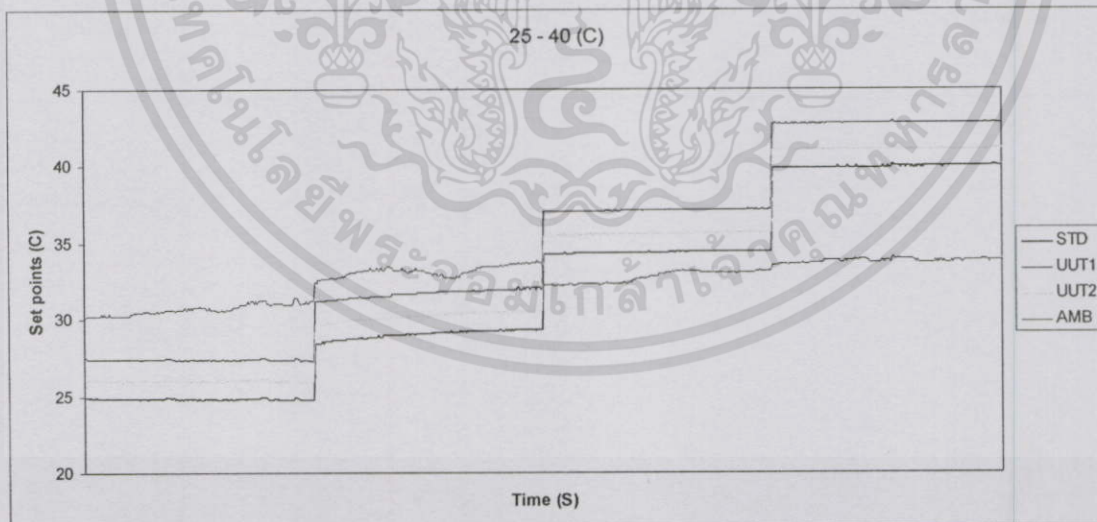


รูปที่ 4.6 ระบบที่ใช้ในการทดสอบที่คาดฟ้าตึก

รูปที่ 4.7 แสดงถึงระบบที่นำไปทดสอบบริเวณคาดฟ้าตึก เพื่อทดสอบหาผลกระทบของ อุณหภูมิรอบข้างที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ไม่สามารถควบคุมให้อยู่นิ่งได้ โดยทำการทดสอบ โดยเริ่มจากตั้งค่า Set point ที่  $25^{\circ}\text{C}$  แล้วทำการรอน Dry well ทำอุณหภูมิถึงแล้วรอ 5 นาที จึงเริ่ม กระบวนการเก็บค่าจำนวน 200 ค่าทุกๆ 2 วินาที แล้วจึงเปลี่ยน Set point เพิ่มขึ้นจุดละ  $5^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $100^{\circ}\text{C}$  แล้วจึงเริ่มคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนต่อไป โดยค่าที่ได้จากการเก็บ ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.3

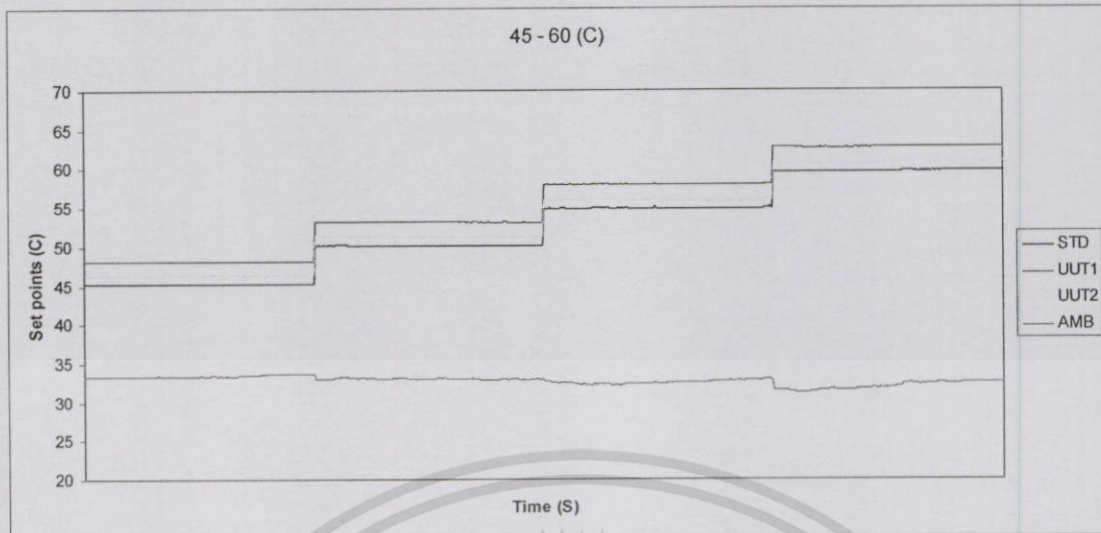
ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลจากการทดสอบที่คาดฟ้าตึก

Set point (°C)	Avg. STD Temp (°C)	Avg. UUT1 Temp (°C)	Avg. UUT2 Temp (°C)	Avg. AMB Temp (°C)
25	24.875	27.464	26.065	30.738
30	29.081	31.748	30.272	33.232
35	34.429	37.170	35.614	32.787
40	39.947	42.787	41.095	33.850
45	45.234	48.152	46.371	33.469
50	50.182	53.189	51.296	33.071
55	54.902	57.985	55.976	32.500
60	59.637	62.792	60.693	31.971
65	64.705	67.939	65.743	32.413
70	70.031	73.363	71.076	33.151
75	74.437	77.842	75.642	34.640
80	78.951	82.466	80.029	31.417
85	84.792	88.379	85.888	30.680
90	89.898	93.590	90.945	32.927
95	95.393	99.157	96.466	29.822
100	100.868	104.725	101.918	30.765

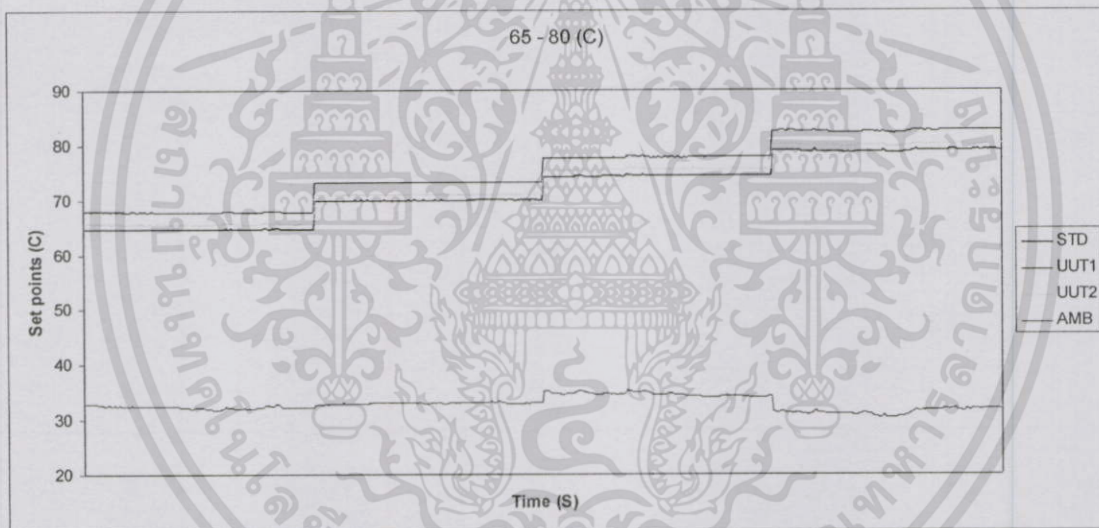


รูปที่ 4.7 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

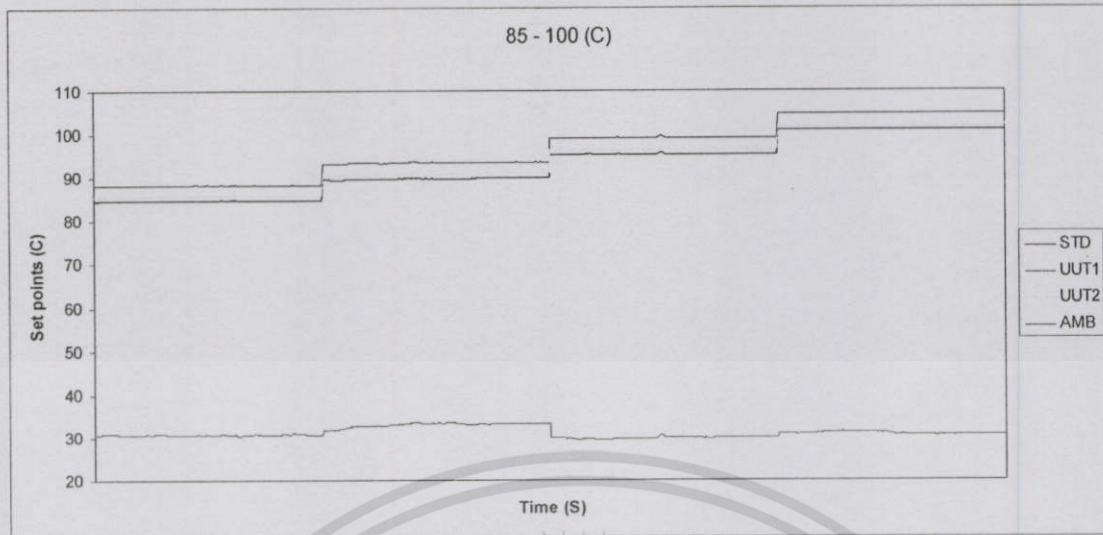


รูปที่ 4.8 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C



รูปที่ 4.9 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C

ตารางที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบที่  
คาดฟ้าดึก

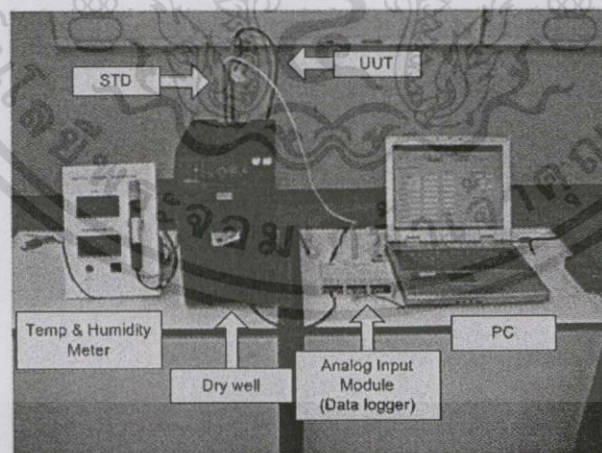
Set point (°C)	UUT1 Avg.	UUT2 Avg.	Type A	Type A	Type A	Type A
	Error(°C)	Error(°C)	STD	UUT1	UUT2	AMB
25	2.588	1.189	0.004	0.004	0.005	0.023
30	2.667	1.191	0.018	0.018	0.019	0.024
35	2.741	1.185	0.005	0.004	0.005	0.027
40	2.840	1.148	0.004	0.003	0.003	0.008
45	2.918	1.137	0.003	0.004	0.003	0.008
50	3.007	1.115	0.004	0.005	0.005	0.008
55	3.083	1.074	0.004	0.004	0.004	0.015
60	3.156	1.056	0.004	0.005	0.005	0.032
65	3.234	1.037	0.005	0.005	0.005	0.019
70	3.332	1.045	0.003	0.003	0.003	0.009
75	3.406	1.206	0.008	0.008	0.008	0.024
80	3.515	1.078	0.011	0.011	0.013	0.034
85	3.587	1.096	0.005	0.005	0.005	0.008
90	3.691	1.047	0.010	0.009	0.012	0.033
95	3.765	1.073	0.005	0.005	0.005	0.014
100	3.857	1.050	0.004	0.003	0.004	0.017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการสอบเทียบอุปกรณ์ที่คาดฟ้าตึกนั้นพบว่า UUT ทั้ง 2 ตัวที่นำมาสอบเทียบด้วยนั้น มีการอ่านค่าได้สูงกว่าตัวตัวมาตรฐานและเมื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนตลอดย่านการวัดของ UUT1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.212 °C และของ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.108 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า UUT1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าตัว UUT2 มากซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และเมื่อนำค่าความไม่แน่นอนในการวัดชนิด A มาทำการพิจารณาพบว่า UUT1 และ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.006 และจะนำข้อมูลที่ได้อีกวิเคราะห์ต่อไป

#### 4.3 การทดสอบระบบภายในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

การทดสอบระบบภายในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ ทำขึ้นเพื่อเป็นการทดสอบระบบว่า ถ้าตัวแปรที่สนใจคืออุณหภูมิรอบข้าง ที่มีการควบคุมให้สูงกว่าในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ จะส่งผลอย่างไรต่อระบบการสอบเทียบ โดยในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการเดียวกับในห้องปฏิบัติการสอบเทียบซึ่งก็คือจะทำการวัด UUT จำนวน 2 ตัวเทียบกับ Standard Probe โดยจะทำการสอบเทียบตั้งแต่อุณหภูมิ 25 °C ถึง 100 °C โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละ 5 องศาและเก็บค่าหลังจากที่อุณหภูมิถึงจุด Set point เป็นเวลา 5 นาทีจำนวน 200 ค่าในอัตรา 2 วินาทีต่อการเก็บค่า 1 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าความผิดพลาด และค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป และนำไปเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อการสอบเทียบ โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 4.11

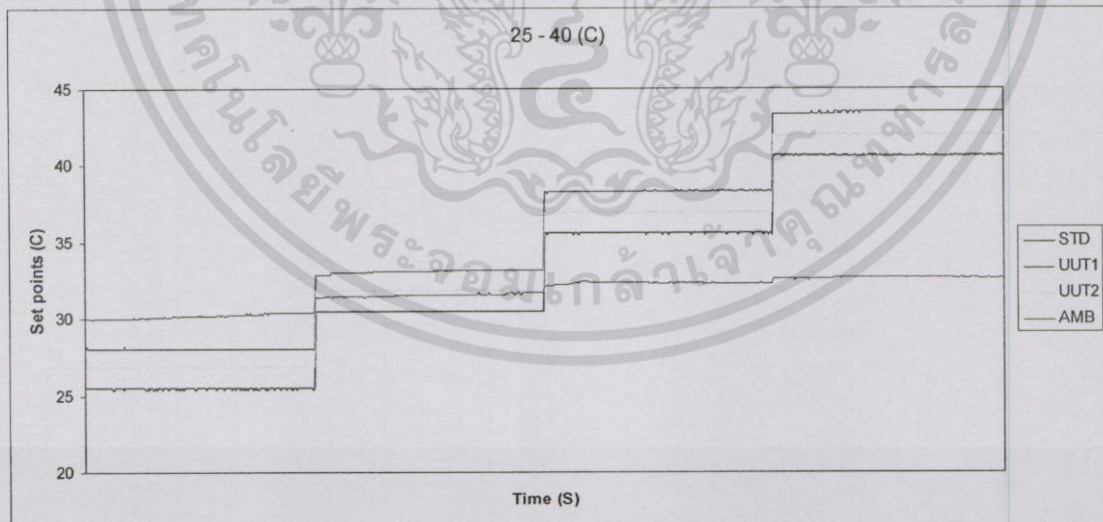


รูปที่ 4.11 ระบบที่ใช้ในการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

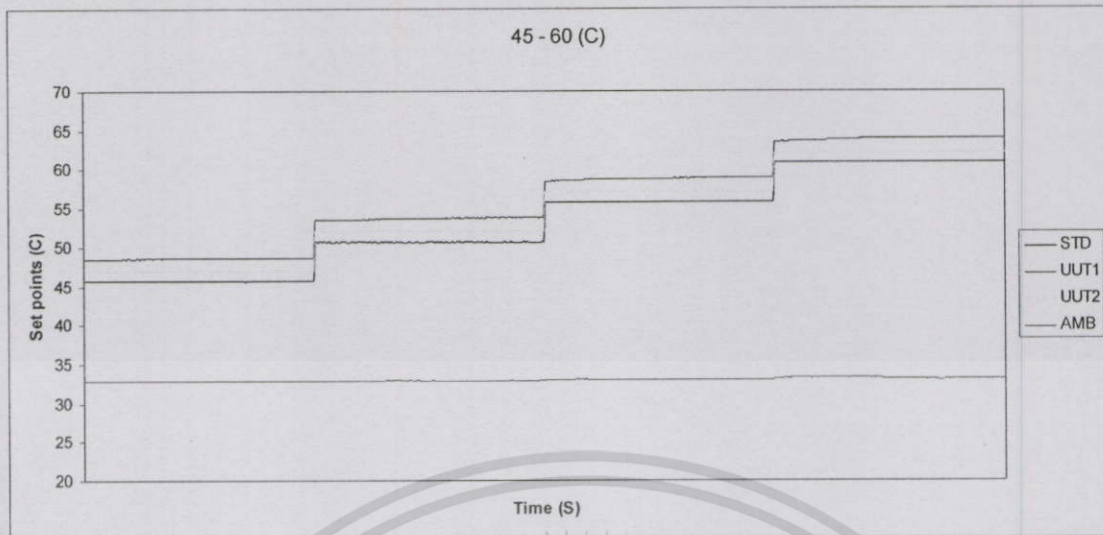
ตารางที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิที่บันทึกลงในฐานข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point (°C)	Avg. STD Temp (°C)	Avg. UUT1 Temp (°C)	Avg. UUT2 Temp (°C)	Avg. AMB Temp (°C)
25	25.480	28.101	26.891	30.201
30	30.500	33.114	31.900	31.570
35	35.593	38.311	36.925	32.328
40	40.639	43.472	42.032	32.652
45	45.700	48.576	47.050	32.848
50	50.730	53.700	52.098	32.903
55	55.806	58.782	57.179	33.065
60	60.899	63.858	62.189	33.230
65	65.904	69.126	67.199	33.274
70	70.990	74.214	72.204	33.205
75	76.030	79.378	77.287	33.379
80	81.101	84.555	82.299	33.258
85	86.181	89.613	87.334	33.302
90	91.202	94.820	92.399	33.324
95	96.299	99.915	97.400	33.462
100	101.382	105.055	102.602	33.294

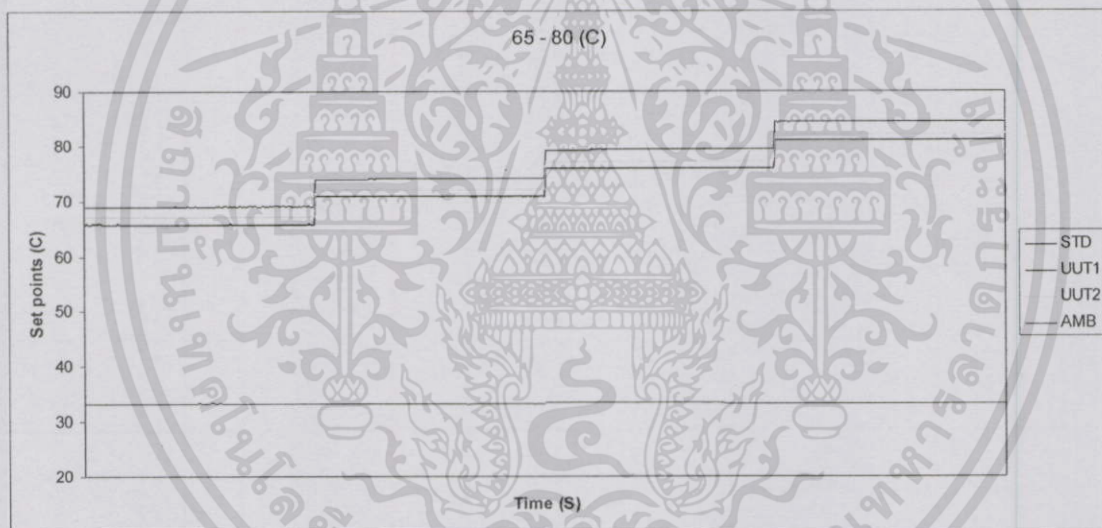


รูปที่ 4.12 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 25 °C ถึง 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

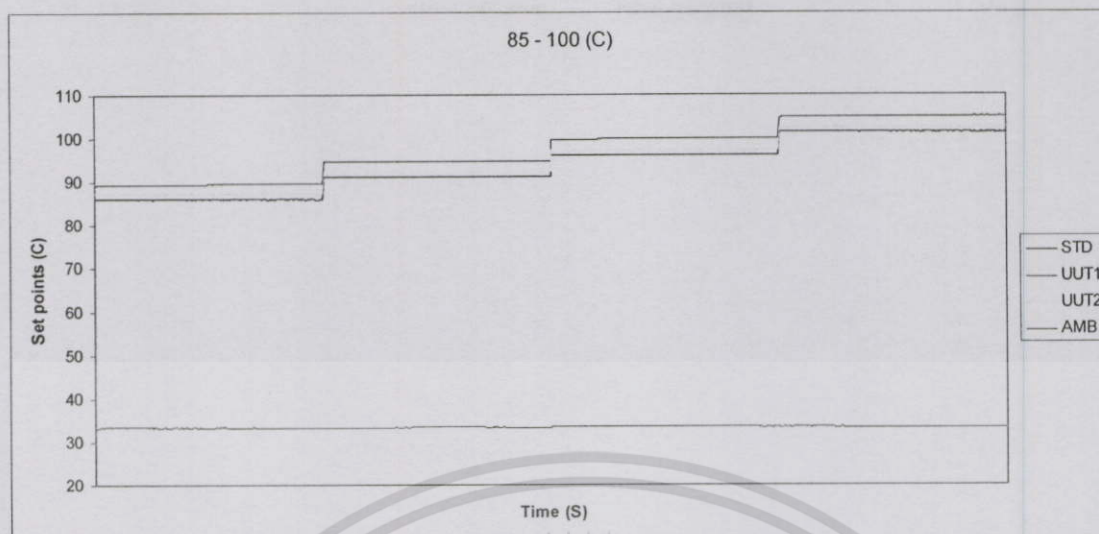


รูปที่ 4.13 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 45 °C ถึง 60 °C



รูปที่ 4.14 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 65 °C ถึง 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การตอบสนองของ Probe ทั้ง 3 ตัวขณะที่ทำการสอบเทียบช่วง 85 °C ถึง 100 °C

ตารางที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนชนิด A ของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point (°C)	UUT1 Avg.	UUT2 Avg.	Type A	Type A	Type A	Type A
	Error(°C)	Error(°C)	STD	UUT1	UUT2	AMB
25	2.588	1.189	0.004	0.004	0.005	0.023
30	2.667	1.191	0.018	0.018	0.019	0.024
35	2.741	1.185	0.005	0.004	0.005	0.027
40	2.840	1.148	0.004	0.003	0.003	0.008
45	2.918	1.137	0.003	0.004	0.003	0.008
50	3.007	1.115	0.004	0.005	0.005	0.008
55	3.083	1.074	0.004	0.004	0.004	0.015
60	3.156	1.056	0.004	0.005	0.005	0.032
65	3.234	1.037	0.005	0.005	0.005	0.019
70	3.332	1.045	0.003	0.003	0.003	0.009
75	3.406	1.206	0.008	0.008	0.008	0.024
80	3.515	1.078	0.011	0.011	0.013	0.034
85	3.587	1.096	0.005	0.005	0.005	0.008
90	3.691	1.047	0.010	0.009	0.012	0.033
95	3.765	1.073	0.005	0.005	0.005	0.014
100	3.857	1.050	0.004	0.003	0.004	0.017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

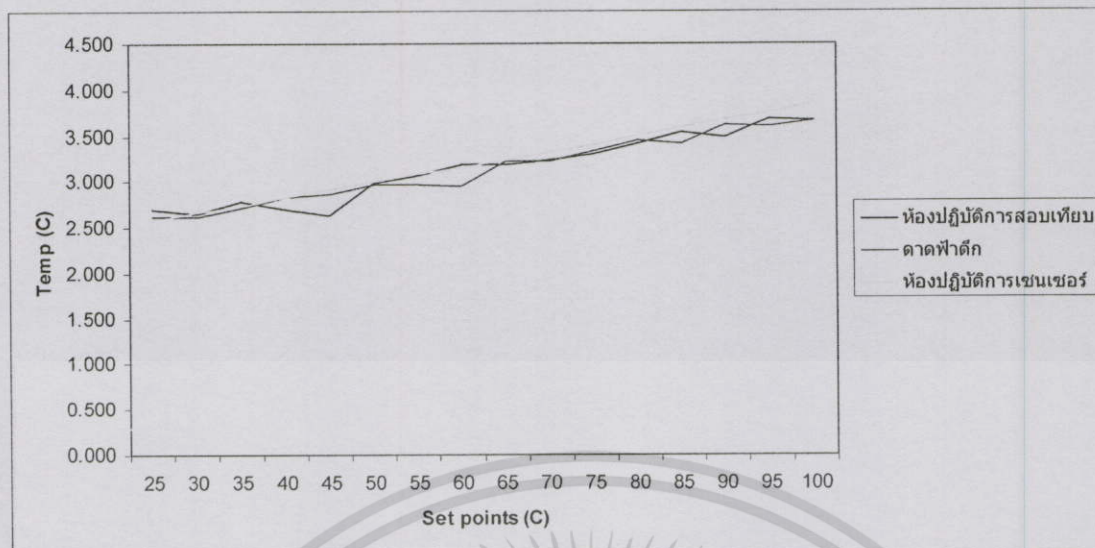
หลังจากที่สิ้นสุดการสอบเทียบแล้วโปรแกรมจะทำการแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้กับผู้ปฏิบัติงาน โดยข้อมูลโดยสรุปแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 และผลการสอบเทียบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์นั้นพบว่า UUT ทั้ง 2 ตัวที่นำมาสอบเทียบด้วยนั้นมีการอ่านค่าได้สูงกว่าตัวตัวมาตรฐานและเมื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนตลอดช่วงการวัดของ UUT1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.135 °C และของ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.285 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า UUT1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าตัว UUT2 มากซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และเมื่อนำค่าความไม่แน่นอนในการวัดชนิด A มาทำการพิจารณาพบว่า UUT1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.005 และ UUT2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.002

#### 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

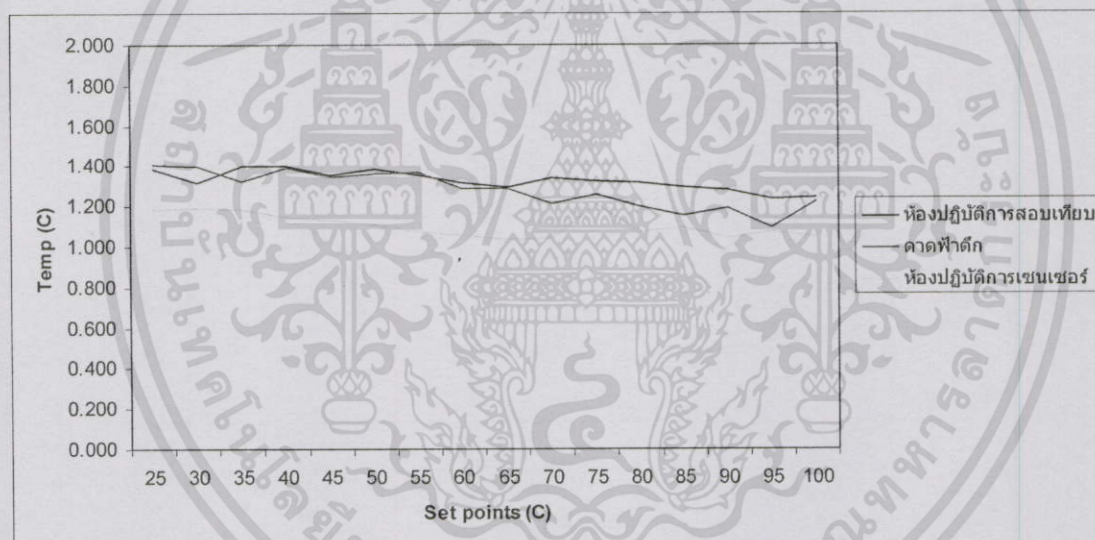
จากการทดสอบนำระบบสอบเทียบ ไปใช้ทำการทดสอบในสถานที่ๆ มีอุณหภูมิรอบข้างแตกต่างกัน เป็นการทดสอบเพื่อที่จะสังเกตพฤติกรรมของระบบ ที่มีเกิดจากการเปลี่ยนตัวแปรซึ่งก็คืออุณหภูมิรอบข้าง โดยใน 3 สถานที่ๆ เลือกมาทำการทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันคือ

- ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 24 °C ถึง 26 °C
- คาดฟ้าตึก ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา
- ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ เป็นห้องปิดมีอุณหภูมิสูง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ในการทดสอบระบบนั้นจะใช้ระบบ และอุปกรณ์เดียวกันในการทดสอบเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบจากตัวแปรอื่นใด และพิจารณาผลกระทบจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในจุดที่กำหนดไว้เท่านั้น โดยค่าที่นำมาแสดงนั้น ได้มาจากค่าผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้จาก UUT กับ STD แล้วนำไปทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละ Set point แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกัน โดยแสดงถึงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.16 เป็นการแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT1 ที่เกิดขึ้นใน 3 สถานที่ และรูปที่ 4.17 เป็นแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT2 ที่เกิดขึ้นใน 3 สถานที่เช่นกัน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างกันของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT1 ใน 3 สถานที่



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ UUT2 ใน 3 สถานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของทั้ง 3 สถานะที่

Set point	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ		ภาคฟาร์ม		ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์	
	Avg. Error	Avg. Error	Avg. Error	Avg. Error	Avg. Error	Avg. Error
	UUT1	UUT2	UUT1	UUT2	UUT1	UUT2
25	2.705	1.389	2.621	1.411	2.588	1.189
30	2.659	1.324	2.614	1.400	2.667	1.190
35	2.786	1.403	2.718	1.332	2.741	1.185
40	2.698	1.405	2.833	1.393	2.84	1.147
45	2.642	1.357	2.876	1.35	2.917	1.137
50	2.988	1.387	2.970	1.368	3.007	1.114
55	3.074	1.357	2.976	1.372	3.082	1.073
60	3.195	1.324	2.959	1.289	3.156	1.056
65	3.192	1.298	3.221	1.294	3.234	1.037
70	3.243	1.346	3.224	1.214	3.332	1.045
75	3.304	1.332	3.349	1.257	3.406	1.205
80	3.431	1.320	3.454	1.199	3.515	1.078
85	3.538	1.299	3.431	1.153	3.586	1.095
90	3.498	1.280	3.618	1.197	3.691	1.046
95	3.692	1.241	3.615	1.100	3.7645	1.073
100	3.673	1.244	3.673	1.220	3.857	1.05
	3.145	1.332	3.135	1.285	3.212	1.108

จากตาราง 4.7 มีการแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตลอดช่วงการวัดของ UUT ทั้ง 2 ตัว โดยเมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ UUT ทั้ง 2 ตัวที่ทดสอบใน 3 สถานะมาทำการเปรียบเทียบกันแล้วนั้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัว ถึงแม้เราจะเปลี่ยนสถานที่ในการวัดก็ไม่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากเท่าไรนัก

#### 4.5 ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

หลังจากการทดสอบระบบการสอบเทียบทุกครั้ง โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) มาให้โดยจะคิดทั้งค่าความผิดพลาดชนิด A และ B แล้วจึงแสดงผลให้กับผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบ ทำให้ลดเวลาในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนและป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณผิดพลาดจากตัวผู้ปฏิบัติงาน โดยค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณนั้น คิดมาจากสมการการหาค่าความไม่แน่นอนในบทที่ 2 ในหัวข้อการประเมินความไม่แน่นอนในการวัดชนิด A และ B โดยที่ค่าความไม่แน่นอนชนิด A นั้นเป็นการคำนวณค่าจากการวัดซ้ำ (Repeatability) แล้วจึงนำไปหาค่าของ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Deviation Of Mean) ส่วนค่าความไม่แน่นอนชนิด B นั้นเป็นความไม่แน่นอนที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ ซึ่งในที่นี้อุปกรณ์ทั้งหมดซึ่งได้แก่ AI210, PT100 และ Dry well จะต้องนำมาคิดค่าความคลาดเคลื่อนด้วยซึ่งค่าที่คำนวณได้จากตัวอุปกรณ์สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 - U_b \text{ AI210} &= 1.600/\sqrt{3} = 0.924 \\
 - U_b \text{ Dry well} &= 0.05/2 = 0.025 \\
 - U_b \text{ RTD} &= 0.05/2 = 0.025
 \end{aligned}$$

หลังจากที่ได้ค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 ชนิดแล้วนั้นก็นำมาทำการหาค่า Combine Standard Uncertainty แล้วหลังจากนั้นจึงทำการขยายขอบเขตค่า Uncertainty ที่ทำการรวมเป็นค่าเดียวในขั้นที่ 3 ให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น (Expanded Uncertainty) คือ ให้มีระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % นั่นคือจะต้องทำการคูณด้วย coverage factor ( $k$ ) ด้วย "2" ซึ่งค่า  $k=2$  มักใช้ในกรณีที่เป็น testing lab โดยทั่วไปในกรณีที่ต้องการระดับความเชื่อมั่นที่ 99.9 % จะใช้ค่า  $k=3$

โดยจากค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณออกมาได้นั้นพบว่าการนำระบบที่ได้ออกแบบมาไปทำการสอบเทียบอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา นั้นมีค่าเบี่ยงเบนอยู่ประมาณ 0.925 ในทุกๆ Set point ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระบบที่ทำการวัดที่คาดที่ตึกซึ่งไม่สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้นั้น พบว่ามีค่าไม่ต่างกัน และเมื่อนำไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ ก็พบว่าค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ได้ทำการคำนวณออกมาจากโปรแกรมสามารถนำมาสรุปลงในตารางได้ดังตารางที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 โดยแยกเป็นแต่ละสถานที่ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัดที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

Set point	Type A STD	Type A UUT1	Type A UUT2	Type A AMB	Type B ( <i>b1,b2,b3</i> )
25	0.002	0.001	0.002	0.004	<i>b1,b2,b3</i>
30	0.003	0.005	0.002	0.006	<i>b1,b2,b3</i>
35	0.003	0.003	0.003	0.006	<i>b1,b2,b3</i>
40	0.002	0.010	0.004	0.028	<i>b1,b2,b3</i>
45	0.003	0.015	0.003	0.016	<i>b1,b2,b3</i>
50	0.002	0.001	0.001	0.016	<i>b1,b2,b3</i>
55	0.002	0.003	0.004	0.007	<i>b1,b2,b3</i>
60	0.001	0.001	0.003	0.008	<i>b1,b2,b3</i>
65	0.003	0.003	0.003	0.016	<i>b1,b2,b3</i>
70	0.003	0.003	0.003	0.005	<i>b1,b2,b3</i>
75	0.003	0.005	0.004	0.011	<i>b1,b2,b3</i>
80	0.005	0.001	0.003	0.012	<i>b1,b2,b3</i>
85	0.004	0.003	0.004	0.006	<i>b1,b2,b3</i>
90	0.004	0.010	0.004	0.008	<i>b1,b2,b3</i>
95	0.003	0.003	0.004	0.013	<i>b1,b2,b3</i>
100	0.005	0.005	0.004	0.020	<i>b1,b2,b3</i>
Avg.	0.004	0.004	0.003	0.011	
<i>Uc</i>	0.925	0.925	0.925	0.925	

โดยที่  $b1 = \text{Uncertainty of AI210} = 0.924$   
 $b2 = \text{Uncertainty of Dry well} = 0.025$   
 $b3 = \text{Uncertainty of SPRT} = 0.025$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัดที่ศาลฟ้า

Set point	Type A STD	Type A UUT1	Type A UUT2	Type A AMB	Type B (b1,b2,b3)
25	0.003	0.001	0.002	0.011	b1,b2,b3
30	0.000	0.007	0.001	0.006	b1,b2,b3
35	0.002	0.002	0.003	0.006	b1,b2,b3
40	0.003	0.003	0.003	0.004	b1,b2,b3
45	0.001	0.003	0.004	0.004	b1,b2,b3
50	0.003	0.005	0.001	0.003	b1,b2,b3
55	0.002	0.009	0.003	0.004	b1,b2,b3
60	0.001	0.011	0.002	0.004	b1,b2,b3
65	0.001	0.003	0.001	0.003	b1,b2,b3
70	0.002	0.006	0.003	0.002	b1,b2,b3
75	0.003	0.003	0.002	0.004	b1,b2,b3
80	0.001	0.004	0.001	0.004	b1,b2,b3
85	0.003	0.007	0.003	0.005	b1,b2,b3
90	0.001	0.004	0.001	0.005	b1,b2,b3
95	0.000	0.007	0.000	0.005	b1,b2,b3
100	0.003	0.006	0.001	0.005	b1,b2,b3
Avg.	0.002	0.005	0.002	0.005	
Uc	0.925	0.925	0.925	0.925	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าความไม่แน่นอนที่คำนวณได้จากโปรแกรมในการวัดที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point	Type A STD	Type A UUT1	Type A UUT2	Type A AMB	Type B (b1,b2,b3)
25	0.004	0.004	0.005	0.023	b1,b2,b3
30	0.018	0.018	0.019	0.024	b1,b2,b3
35	0.005	0.004	0.005	0.027	b1,b2,b3
40	0.004	0.003	0.003	0.008	b1,b2,b3
45	0.003	0.004	0.003	0.008	b1,b2,b3
50	0.004	0.005	0.005	0.008	b1,b2,b3
55	0.004	0.004	0.004	0.015	b1,b2,b3
60	0.004	0.005	0.005	0.032	b1,b2,b3
65	0.005	0.005	0.005	0.019	b1,b2,b3
70	0.003	0.003	0.003	0.009	b1,b2,b3
75	0.008	0.008	0.008	0.024	b1,b2,b3
80	0.011	0.011	0.013	0.034	b1,b2,b3
85	0.005	0.005	0.005	0.008	b1,b2,b3
90	0.010	0.009	0.012	0.033	b1,b2,b3
95	0.005	0.005	0.005	0.014	b1,b2,b3
100	0.004	0.003	0.004	0.017	b1,b2,b3
Avg.	0.006	0.006	0.006	0.019	
Uc	0.925	0.925	0.925	0.925	

#### 4.6 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกต่อระบบการสอบเทียบ

จากสรุปผลการทดสอบในข้างต้นพบว่าในแต่ละสถานที่ๆ ทำการวัดนั้นมีความคลาดเคลื่อน ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของตัวอุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อไปลองสังเกตดูในรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Probe เทียบกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมแล้วนั้นจะพบว่า ในบางจุดเกิดการแกว่งของค่าที่อ่านได้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเอาข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน ในช่วงที่เกิดการแกว่งของข้อมูล เพื่อที่จะวิเคราะห์หาสาเหตุและใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสอบเทียบ

โดยตัวแปรที่เราสนใจคือค่าของอุณหภูมิรอบข้างที่ส่งผลต่อการวัดดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ที่ละส่วน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ที่ละเงื่อนไขดังนี้

- ผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อตัว Standard Probe
- ผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อตัว UUT1
- ผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อตัว UUT2

#### 4.6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อตัว Standard Probe ที่นำมาใช้

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิกายนอกต่อตัว Standard Probe ที่นำมาใช้นั้นเราสามารถทำได้โดย การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากสถานที่ทั้ง 3 คือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ, คาดฟ้าตึกและห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

โดยที่ให้ค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบเป็นค่าอ้างอิง แล้วจึงนำค่าที่ได้จากคาดฟ้าและห้องปฏิบัติการเซนเซอร์มาเปรียบเทียบกับ เพื่อที่พิสูจน์ว่าอุณหภูมิกายนอกจะมีผลกระทบต่อระบบอย่างไร โดยในเงื่อนไขที่ 1 จะวิเคราะห์ค่าที่ได้จากคาดฟ้าเทียบกับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบซึ่งได้ค่าออกมาดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับคาดฟ้าตึก

Set point	Avg. STD1	Avg. STD2	Error	%Error	Avg. AMB1	Avg. AMB2	Error
25	25.397	24.875	-0.521	-2.053	24.808	30.738	5.930
30	30.585	29.081	-1.504	-4.916	24.704	33.232	8.528
35	35.674	34.429	-1.245	-3.490	24.843	32.787	7.944
40	40.748	39.947	-0.801	-1.966	24.949	33.850	8.901
45	45.762	45.234	-0.527	-1.152	24.530	33.469	8.939
50	50.813	50.182	-0.631	-1.243	24.266	33.071	8.805
55	55.993	54.902	-1.090	-1.947	24.699	32.500	7.801
60	61.104	59.637	-1.467	-2.401	24.943	31.971	7.028
65	66.181	64.705	-1.476	-2.230	25.267	32.413	7.146
70	71.239	70.031	-1.208	-1.696	24.840	33.151	8.311
75	76.283	74.437	-1.846	-2.421	25.033	34.640	9.607
80	81.269	78.951	-2.318	-2.852	24.978	31.417	6.439
85	86.447	84.792	-1.655	-1.914	24.998	30.680	5.682
90	91.456	89.898	-1.558	-1.703	25.297	32.927	7.630
95	96.415	95.393	-1.022	-1.061	24.965	29.822	4.856
100	101.516	100.868	-0.648	-0.638	24.870	30.765	5.895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ STD1 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก Standard Probe ที่นำมาใช้ ที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

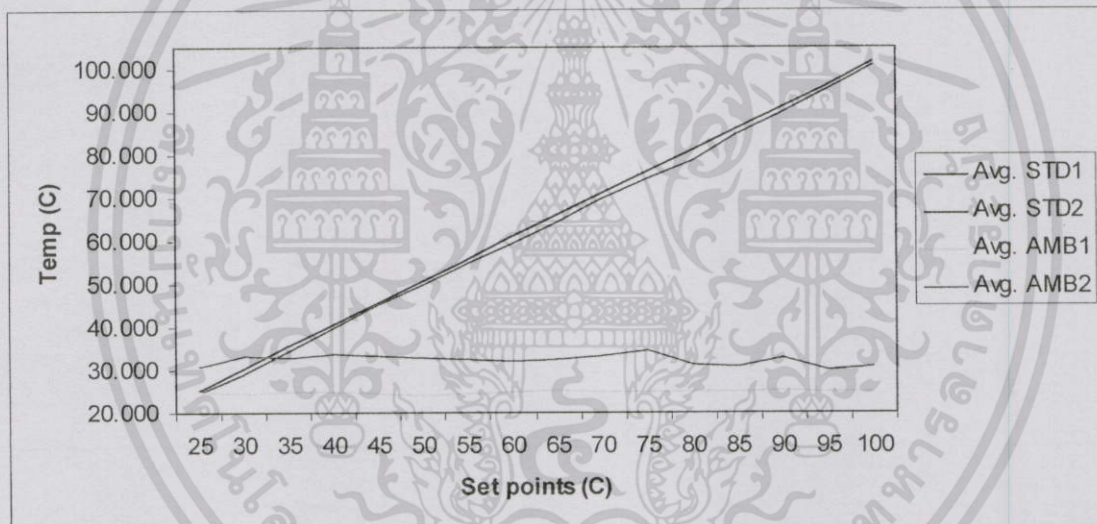
STD2 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก Standard Probe ที่นำมาใช้ ที่ทำการทดสอบบนอาคารฟ้าตึก

STD3 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จาก Standard Probe ที่นำมาใช้ ที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

AMB1 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรอบข้าง ในขณะที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

AMB2 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรอบข้าง ในขณะที่ทำการทดสอบบนอาคารฟ้าตึก

AMB3 คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรอบข้าง ในขณะที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

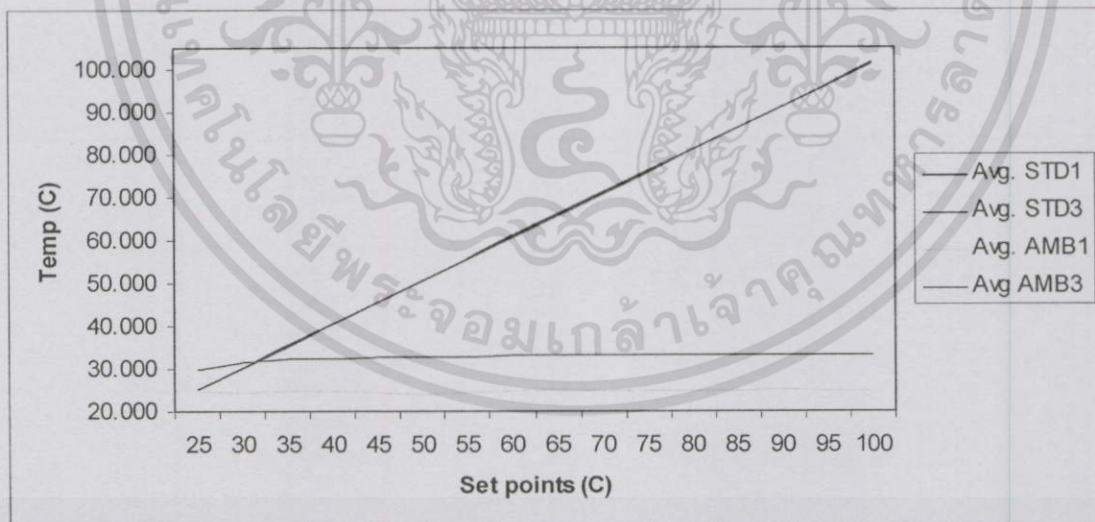


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว Standard Probe ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1

จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก 2 สถานที่นั้นพบว่าที่อาคารฟ้าตึกที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้างอยู่ตลอดเวลา นั้น ระบบสามารถอ่านค่าอุณหภูมิของ Standard Probe ที่นำมาใช้ได้ต่ำกว่าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบประมาณ 1 ถึง 2 °C และต่อมาจะทำการวิเคราะห์ผลจากห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ 2 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่าง 2 เงื่อนไข ซึ่งค่าที่วัดได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point	Avg. STD1	Avg. STD2	Error	%Error	Avg. AMB	Avg. AMB	Error
25	25.397	25.480	0.083	0.327	24.808	30.201	5.394
30	30.585	30.500	-0.085	-0.276	24.704	31.570	6.866
35	35.674	35.593	-0.080	-0.226	24.843	32.328	7.485
40	40.748	40.639	-0.109	-0.269	24.949	32.652	7.703
45	45.762	45.700	-0.062	-0.135	24.530	32.848	8.319
50	50.813	50.730	-0.083	-0.163	24.266	32.903	8.637
55	55.993	55.806	-0.186	-0.332	24.699	33.065	8.366
60	61.104	60.899	-0.205	-0.335	24.943	33.230	8.286
65	66.181	65.904	-0.276	-0.417	25.267	33.274	8.007
70	71.239	70.990	-0.249	-0.350	24.840	33.205	8.365
75	76.283	76.030	-0.253	-0.332	25.033	33.379	8.346
80	81.269	81.101	-0.168	-0.207	24.978	33.258	8.280
85	86.447	86.181	-0.266	-0.308	24.998	33.302	8.304
90	91.456	91.202	-0.254	-0.278	25.297	33.324	8.027
95	96.415	96.299	-0.116	-0.120	24.965	33.462	8.497
100	101.516	101.382	-0.134	-0.132	24.870	33.294	8.424



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว Standard Probe ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 พบว่าค่าที่อ่านได้จากทั้ง 2 สถานที่นั้นมีความใกล้เคียงกันมากโดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าประมาณ 0.2 °C และจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทั้ง 2 เื่อนไข่นี้ พบว่าในการวัดที่มีอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นั้นส่งผลให้การวัดมีค่าผิดเพี้ยนไปเล็กน้อย แต่ถ้าอุณหภูมิภายนอกมีค่าคงที่ไม่แกว่งขึ้นลงมากนักก็จะทำให้ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับการวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

#### 4.6.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิรอบข้างต่อตัว PT100 ที่ใช้งานทั่วไป

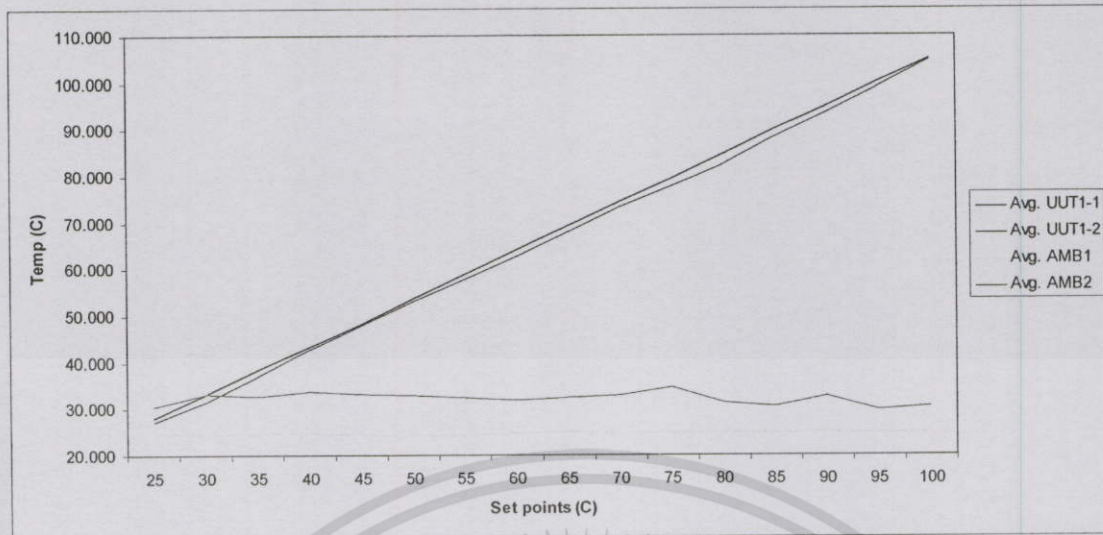
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกต่อตัว PT100 ที่ใช้งานทั่วไปนั้น เราสามารถทำได้โดย การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากสถานที่ทั้ง 3 คือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ, คาดฟ้าตึกและห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ส่วนของ Standard Probe ที่นำมาใช้ โดยที่เรานำ PT100 ที่ใช้งานทั่วไปมาจำนวน 2 ตัวซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า UUT1 และ UUT2 มาทำการสอบเทียบด้วยระบบเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์ในส่วนของ Standard Probe โดยจะทำการวิเคราะห์ที่ละตัวดังนี้

- การวิเคราะห์ผลการตอบสนองต่ออุณหภูมิรอบข้างของ UUT1

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับคาดฟ้าตึก

Set point	Avg. UUT1-1	Avg. UUT1-2	Error	%Error	Avg. AMB1	Avg. AMB2	Error
25	28.102	27.464	-0.638	-2.270	24.808	30.738	5.930
30	33.243	31.748	-1.495	-4.497	24.704	33.232	8.528
35	38.459	37.170	-1.290	-3.353	24.843	32.787	7.944
40	43.446	42.787	-0.659	-1.517	24.949	33.850	8.901
45	48.404	48.152	-0.252	-0.520	24.530	33.469	8.939
50	53.801	53.189	-0.613	-1.139	24.266	33.071	8.805
55	59.066	57.985	-1.081	-1.830	24.699	32.500	7.801
60	64.299	62.792	-1.507	-2.343	24.943	31.971	7.028
65	69.372	67.939	-1.433	-2.066	25.267	32.413	7.146
70	74.483	73.363	-1.120	-1.503	24.840	33.151	8.311
75	79.587	77.842	-1.744	-2.191	25.033	34.640	9.607
80	84.700	82.466	-2.234	-2.638	24.978	31.417	6.439
85	89.985	88.379	-1.606	-1.785	24.998	30.680	5.682
90	94.954	93.590	-1.364	-1.437	25.297	32.927	7.630
95	100.107	99.157	-0.950	-0.949	24.965	29.822	4.856
100	105.189	104.725	-0.464	-0.441	24.870	30.765	5.895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



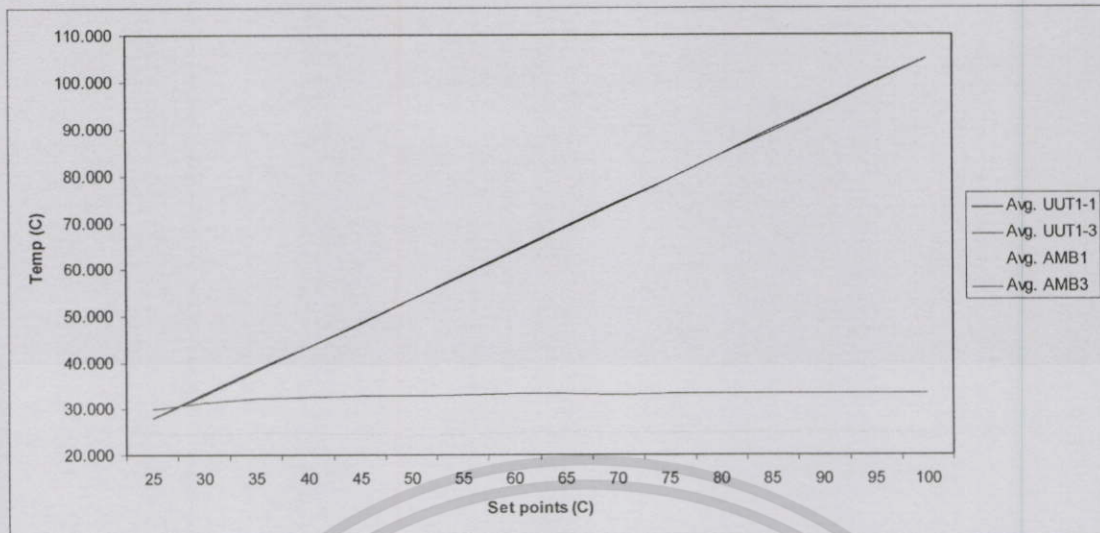
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT1 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1

โดยที่ UUT1-1 คือ UUT1 ที่ทำการสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ  
 UUT1-2 คือ UUT1 ที่ทำการสอบเทียบที่ศาลฟ้าศึก

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point	Avg. UUT1-1	Avg. UUT1-3	Error	%Error	Avg. AMB1	Avg. AMB3	Error
25	28.102	28.101	0.000	-0.002	24.808	30.201	5.394
30	33.243	33.114	-0.129	-0.388	24.704	31.570	6.866
35	38.459	38.311	-0.148	-0.386	24.843	32.328	7.485
40	43.446	43.472	0.026	0.060	24.949	32.652	7.703
45	48.404	48.576	0.173	0.356	24.530	32.848	8.319
50	53.801	53.700	-0.101	-0.188	24.266	32.903	8.637
55	59.066	58.782	-0.284	-0.480	24.699	33.065	8.366
60	64.299	63.858	-0.441	-0.686	24.943	33.230	8.286
65	69.372	69.126	-0.247	-0.356	25.267	33.274	8.007
70	74.483	74.214	-0.268	-0.360	24.840	33.205	8.365
75	79.587	79.378	-0.208	-0.261	25.033	33.379	8.346
80	84.700	84.555	-0.145	-0.171	24.978	33.258	8.280
85	89.985	89.613	-0.372	-0.414	24.998	33.302	8.304
90	94.954	94.820	-0.133	-0.141	25.297	33.324	8.027
95	100.107	99.915	-0.192	-0.192	24.965	33.462	8.497
100	105.189	105.055	-0.134	-0.127	24.870	33.294	8.424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT1 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2

โดยที่ UUT1-3 คือ UUT ตัวที่ 1 ที่ทำการสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

จากการเปรียบเทียบค่าในเงื่อนไขที่ 1 คือการเทียบผลระหว่างค่าที่วัดกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบนั้นพบว่าเกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด ประมาณ  $2^{\circ}\text{C}$  ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าในเงื่อนไขที่ 2 ที่เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการเซนเซอร์กับห้องปฏิบัติการสอบเทียบผลที่ได้คือค่ามีความใกล้เคียงกัน โดยจะมีความคลาดเคลื่อน ประมาณ  $0.2^{\circ}\text{C}$

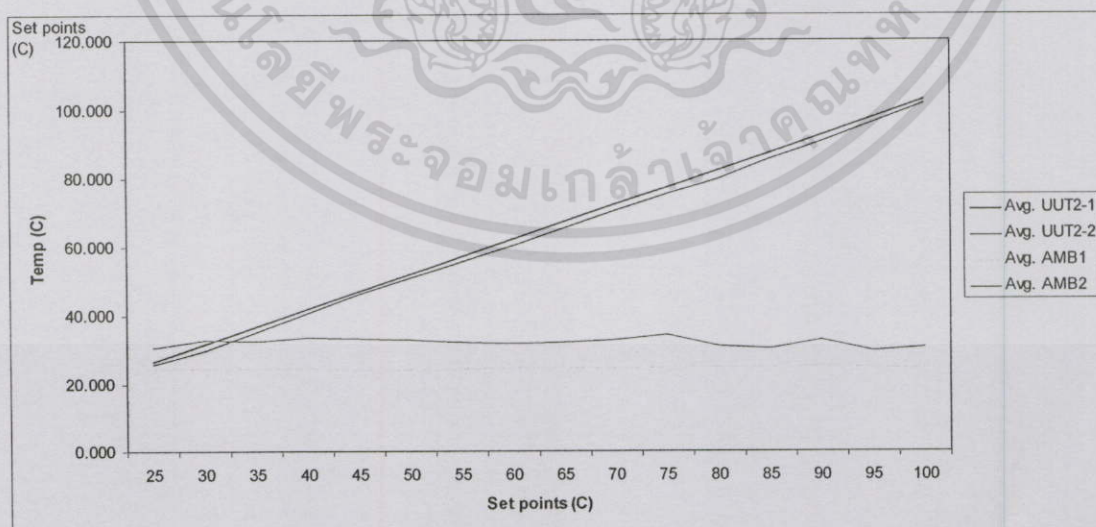
ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้ง 2 ตัวคือ Standard Probe กับ PT100 ที่นำมาทดสอบตัวที่ 1 (UUT1) นั้นพบว่าในการทดสอบระบบที่ค่าที่วัด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 2 อุปกรณ์ไปจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอยู่ที่ประมาณ  $2^{\circ}\text{C}$  ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 2 อุปกรณ์ไปจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอยู่ที่ประมาณ  $0.2^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถอธิบายได้ในเบื้องต้นว่าทดสอบระบบในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดของระบบ แต่เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้นจึงทำการวิเคราะห์ในส่วนของ UUT2 เพิ่มเติมขึ้นอีก 1 ตัวซึ่งเป็น PT100 ที่ใช้งานโดยทั่วไป

- การวิเคราะห์ผลการตอบสนองต่ออุณหภูมิรอบข้างของ UUT2

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับศาลฟ้าดึก

Set point	Avg. UUT2-1	Avg. UUT2-2	Error	%Error	Avg. AMB1	Avg. AMB2	Error
25	28.102	27.464	-0.638	-2.692	24.808	30.738	5.930
30	33.243	31.748	-1.495	-5.132	24.704	33.232	8.528
35	38.459	37.170	-1.290	-3.945	24.843	32.787	7.944
40	43.446	42.787	-0.659	-2.510	24.949	33.850	8.901
45	48.404	48.152	-0.252	-1.585	24.530	33.469	8.939
50	53.801	53.189	-0.613	-1.731	24.266	33.071	8.805
55	59.066	57.985	-1.081	-2.396	24.699	32.500	7.801
60	64.299	62.792	-1.507	-2.779	24.943	31.971	7.028
65	69.372	67.939	-1.433	-2.573	25.267	32.413	7.146
70	74.483	73.363	-1.120	-2.080	24.840	33.151	8.311
75	79.587	77.842	-1.744	-2.541	25.033	34.640	9.607
80	84.700	82.466	-2.234	-3.100	24.978	31.417	6.439
85	89.985	88.379	-1.606	-2.117	24.998	30.680	5.682
90	94.954	93.590	-1.364	-1.932	25.297	32.927	7.630
95	100.107	99.157	-0.950	-1.218	24.965	29.822	4.856
100	105.189	104.725	-0.464	-0.820	24.870	30.765	5.895

โดยที่ UUT2-1 คือ UUT2 ที่ทำการสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ  
 UUT2-2 คือ UUT2 ที่ทำการสอบเทียบที่ศาลฟ้าดึก



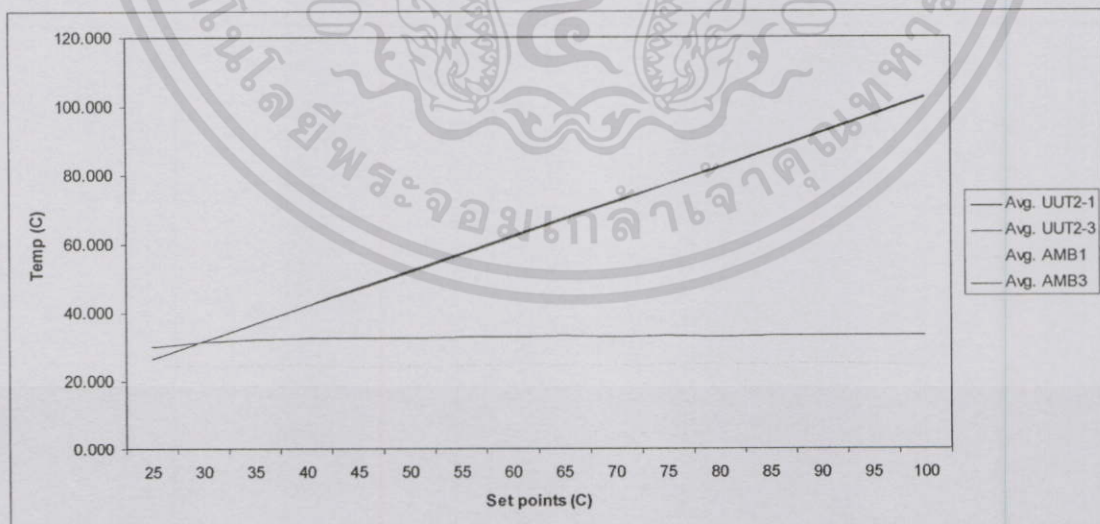
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT2 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการเซนเซอร์

Set point	Avg. UUT2-1	Avg. UUT2-3	Error	%Error	Avg. AMB1	Avg. AMB3	Error
25	26.786	26.891	0.105	0.392	24.808	30.201	5.394
30	31.909	31.900	-0.009	-0.027	24.704	31.570	6.866
35	37.077	36.925	-0.152	-0.409	24.843	32.328	7.485
40	42.153	42.032	-0.121	-0.287	24.949	32.652	7.703
45	47.119	47.050	-0.069	-0.146	24.530	32.848	8.319
50	52.200	52.098	-0.101	-0.194	24.266	32.903	8.637
55	57.350	57.179	-0.171	-0.298	24.699	33.065	8.366
60	62.428	62.189	-0.239	-0.384	24.943	33.230	8.286
65	67.479	67.199	-0.279	-0.414	25.267	33.274	8.007
70	72.585	72.204	-0.381	-0.525	24.840	33.205	8.365
75	77.615	77.287	-0.328	-0.422	25.033	33.379	8.346
80	82.589	82.299	-0.290	-0.351	24.978	33.258	8.280
85	87.746	87.334	-0.411	-0.468	24.998	33.302	8.304
90	92.736	92.399	-0.337	-0.363	25.297	33.324	8.027
95	97.656	97.400	-0.256	-0.262	24.965	33.462	8.497
100	102.760	102.602	-0.158	-0.154	24.870	33.294	8.424

โดยที่ UUT2-3 คือ UUT2 ที่ทำการสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของตัว UUT2 ระหว่างการสอบเทียบเงื่อนไขที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบค่าในเงื่อนไขที่ 1 คือการเทียบผลระหว่างค่าที่ติดกับห้องปฏิบัติการ สอบเทียบนั้นพบว่าเกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด ประมาณ 2 °C ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าใน เงื่อนไขที่ 2 ที่เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการเซนเซอร์กับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ผลที่ได้คือค่ามีความใกล้เคียงกัน โดยจะมีความคลาดเคลื่อน ประมาณ 0.2 °C

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมานั้นจะสามารถสรุปเป็นตาราง แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบ	Ref	X	Avg. Error	%Average Error ( $K_f$ )	Avg. AMB Error
การเปรียบเทียบผลการทดสอบ ที่ค่าที่ติดเทียบกับ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	STD1	STD2	-0.153	-2.105 %	7.957
	UUT1-1	UUT2-1	-0.163	-1.905 %	7.957
	UUT1-2	UUT2-2	-0.200	-2.447 %	7.957
ค่าเฉลี่ยรวมของระบบ			-0.172	-2.153 %	-7.957
การเปรียบเทียบผลการทดสอบ	Ref	X	Avg. Error	%Average Error	Avg. AMB Error
การเปรียบเทียบผลการทดสอบ ที่ห้องปฏิบัติการเซนเซอร์เทียบกับ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ	STD1	STD2	-1.220	-0.222	7.465
	UUT1-1	UUT2-1	-1.153	-0.233	7.465
	UUT1-2	UUT2-2	-1.444	-0.269	7.465
ค่าเฉลี่ยรวมของระบบ			-1.272	-0.241 %	-7.465

หมายเหตุ  $K_f$  คือ ค่า Correction factor ซึ่งเป็นค่าคงที่ ที่เกิดจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน จากการทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน

จากการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากจากอุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวนั้นแสดงให้เห็นว่าการนำระบบไปทดสอบที่ค่าที่ติดซึ่งมีอุณหภูมิรอบข้างเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอยู่ในช่วง 30°C ถึง 34°C นั้นมีค่า  $K_f$  อยู่ที่ 2.51 % และการทดสอบในห้องปฏิบัติการเซนเซอร์ที่มีอุณหภูมิ 30°C ถึง 34°C จะมีค่า  $K_f$  อยู่ที่ 0.241 % ซึ่งค่าที่ได้เราสามารถที่จะนำไปใช้ในการชดเชยการสอบเทียบ Probe ตัวอื่นได้โดยมีข้อกำหนดในการเลือกใช้ค่า  $K_f$  ดังนี้

$K_f = 2.54\%$  เมื่อเป็นการสอบเทียบแบบภายนอกที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30°C ถึง 34°C

$K_f = 2.54\%$  เมื่อเป็นการสอบเทียบภายในห้องปิดที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30°C ถึง 34°C

และสามารถใช้ค่านี้ได้ในการสอบเทียบอุณหภูมิตั้งแต่ช่วง 25°C ถึง 100°C เท่านั้นไม่สามารถใช้กับช่วงที่สูงกว่านี้ได้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองระบบที่จัดทำขึ้น ทั้งภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบและภายนอกห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ทำให้เราได้ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า  $K_f$  ซึ่งได้มาจากการทดสอบระบบที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิรอบข้าง โดยสภาวะที่เป็นแบบเปิด ที่มีลมพัดผ่านและอุณหภูมิไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  และสภาวะแบบปิดที่ไม่มีลมพัดและมีอุณหภูมิคงที่อยู่ในช่วง  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  และช่วงของอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบอยู่ในช่วง  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยเราสามารถนำค่าที่ได้มานี้ไปคำนวณร่วมกับค่าที่ได้จากการสอบเทียบ Probe วัสดุชนิด PT100 ด้วยระบบเดียวกันนี้ จะทำให้เราได้ค่าจากการสอบเทียบ ที่มีค่าความแม่นยำใกล้เคียงกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

อีกทั้งการนำระบบฐานข้อมูลเข้ามาใช้ร่วมกับระบบการสอบเทียบ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถที่จะลดเวลา และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานสอบเทียบ โดยเริ่มจากขั้นตอนแรกนั้นผู้ที่ทำการปฏิบัติงาน จะต้องทำการเข้าระบบก่อน ซึ่งจะทำให้สามารถที่จะอ้างอิงได้ว่า ใครเป็นผู้ทำการสอบเทียบ ทำการสอบเทียบเมื่อไหร่ และยังสามารถที่จะเก็บข้อมูลในการสอบเทียบครั้งก่อนหน้าได้ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าถึงกำหนดที่จะทำการสอบเทียบใหม่หรือยัง และเมื่อทำการตรวจสอบและยืนยันข้อมูลแล้ว สามารถทำการสอบเทียบหลายๆ อุปกรณ์พร้อมกันในครั้งเดียว ทำให้สามารถลดเวลาในการทำงานได้และป้องกันการสับสนของผู้ปฏิบัติงาน และเมื่อทำการสอบเทียบเสร็จแล้วยังสามารถที่จะคำนวณค่าความผิดพลาดต่างๆ ที่จำเป็นในการออกใบรับรองให้ลูกค้าได้ในทันที แต่ถึงอย่างไรระบบก็ยังคงมีความยุ่งยากในการที่จะย้ายหรือเปลี่ยนที่ทำการสอบเทียบ เนื่องจากด้วยอุปกรณ์ที่ใช้กันยังมีขนาดใหญ่ ซึ่งน่าจะต้องมีการพัฒนาให้มีความสะดวกสบาย และความคล่องตัวในการใช้งานมากขึ้น รวมไปถึงการเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการวัด เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

ปัญหาที่พบในงานวิจัยชิ้นนี้คือ อุปกรณ์ที่ในการทำงานวิจัยมีไม่เพียงพอ เช่น PT100 มีจำนวนน้อยทำไม่สามารถที่จะทดสอบในอุปกรณ์หลายๆตัวได้ และมีความยุ่งยากในการเคลื่อนย้ายเนื่องจากมีขนาดใหญ่ และในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันพบว่ายังเชื่อมต่อกันไม่สนิทดี ทำให้ผลการวัดมีความผิดพลาดได้ง่าย และในขณะที่ทำการทดสอบนั้นในบางครั้งที่สภาพอากาศแปรปรวน ทำให้ไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลซ้ำในสถานะเดียวกันกับที่ทำไว้ได้ และตัวอุปกรณ์ยังใช้พอร์ต RS-232 ซึ่งในปัจจุบันคอมพิวเตอร์บางเครื่องไม่มีพอร์ตนี้แล้วทำให้ลำบากในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ และปัญหาที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ ช่วงของการสอบเทียบอยู่ที่ 25 °C ถึง 100 °C ซึ่งในบางครั้งอุปกรณ์ต้องการสอบเทียบที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ ซึ่งตัว Dry well ไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ถึงและค่า  $K_f$  ที่ได้มาก็ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่เคยทำการทดสอบไว้เท่านั้น

## 5.3 แนวทางในการพัฒนา

จากปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้นนั้นทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาต่อไป โดยการทำให้ อุปกรณ์สามารถที่จะพกพา หรือเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ สามารถที่จะทำการทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิมากขึ้นเพื่อรองรับงานในหลายๆด้าน และมีวิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากขึ้น เช่นทำระบบให้รองรับการเชื่อมต่อผ่าน USB จะทำให้สามารถพกพา ระบบ ไปใช้กับ คอมพิวเตอร์แบบพกพาได้

## บรรณานุกรม

- [1] กิตติ ศิริเศรษฐ, **Transducers**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2525
- [2] พิชิต สุขเจริญพงษ์, **การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม**, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 1978.
- [3] วิสรุต ศิริรัตน์, **เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม**, เอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2550.
- [4] สัจจะ จรัสรุ่งรวี, **คู่มือการเขียนโปรแกรม และใช้งาน Visual Basic 6**, สำนักพิมพ์ อินโฟ  
เพรส 200 หมู่ 4 ห้อง 510 อาคารจัสมินอินเตอร์เนชันแนลทาวเวอร์ ชั้น5 ถ.แจ้งวัฒนะ อ.ปาก  
เกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร 0-2962-1081-3 โทรสาร 0-2962-1084
- [5] สัจจะ จรัสรุ่งรวี, **Database Programming ด้วย Visual Basic ฉบับมืออาชีพ**, สำนักพิมพ์  
อินโฟเพรส 200 หมู่ 4 ห้อง 510 อาคารจัสมินอินเตอร์เนชันแนลทาวเวอร์ ชั้น5 ถ.แจ้งวัฒนะ  
อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 โทร 0-2962-1081-3 โทรสาร 0-2962-1084
- [6] อินทร พิชิตานนท์, **บทบาทมาตรฐานวิทยาต่อการพัฒนาคุณภาพสู่สหัสวรรษใหม่ / ส่วน  
วารสารวิชาการ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)**, สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริม  
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [7] Alan S. Morris, **Measurement and calibration requirements for quality assurance to ISO  
9000**, John Wiley, Chichester, 1997.
- [8] Larry D. Jones, A. Foster Chin, **Electronics Instruments and Measurements**, 2<sup>nd</sup>  
Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice – Hall International, 1991
- [9] Richard S. Figliola, Donald E. Beasley, **Theory and design for mechanical measurements**,  
John Wiley, New York, 1991.
- [10] United Kingdom Accreditation Service, **The Expression of Uncertainty and Confidence in  
Measurement, Edition 1**, England, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลอุปกรณ์ Analog Input Module และ Dry well 9105



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Analog Input Module AI210

### คุณสมบัติพิเศษ (Features)

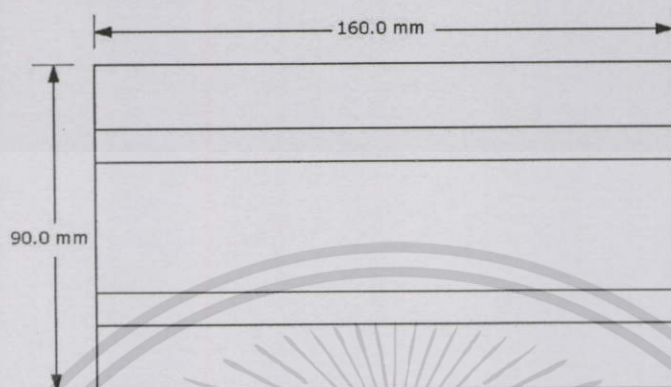
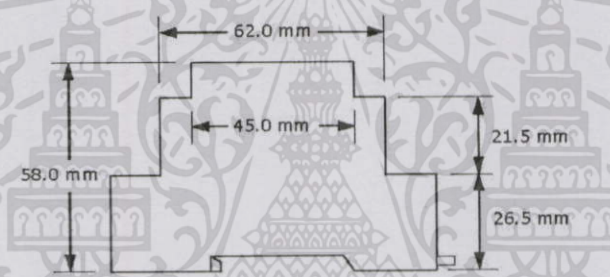
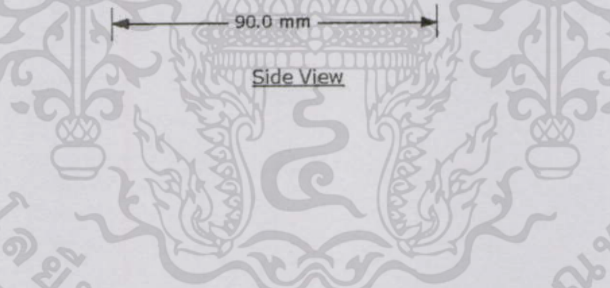
- 8 ช่อง Analog Input เลือกชนิดสัญญาณได้ (Programmable Analog Input) 13 ชนิด ต่อ 1 channel
- แยกสัญญาณเข้า (Isolation) Analog ด้วย Relay, Digital ด้วย OPTO ELECTRONICS
- สัญญาณการสื่อสาร ตามมาตรฐาน RS-232/RS-485 (มีตัว RS-232 to RS-485 Converter ภายใน)
- 2 ข้อกำหนดในการสื่อสาร (Communicate Protocol) ได้แก่ MODBUS (ASCII) Protocol Compatible และ Wisco Protocol
- มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้เลือก 4 แบบ คือ 4800, 9600, 19200, 57600

### ขีดจำกัดการใช้งานสูงสุด (Absolute Maximum Ratings)

Analog Input	ขั้ว 1 ถึง 2	(-)0.3 - 15 V
Digital Input	ขั้ว + ถึง -	(-)0.3 - 30 V
Digital Output	ขั้ว +V ถึง -V	50 V, 500 mA
Operating Temperature		5-50 °C

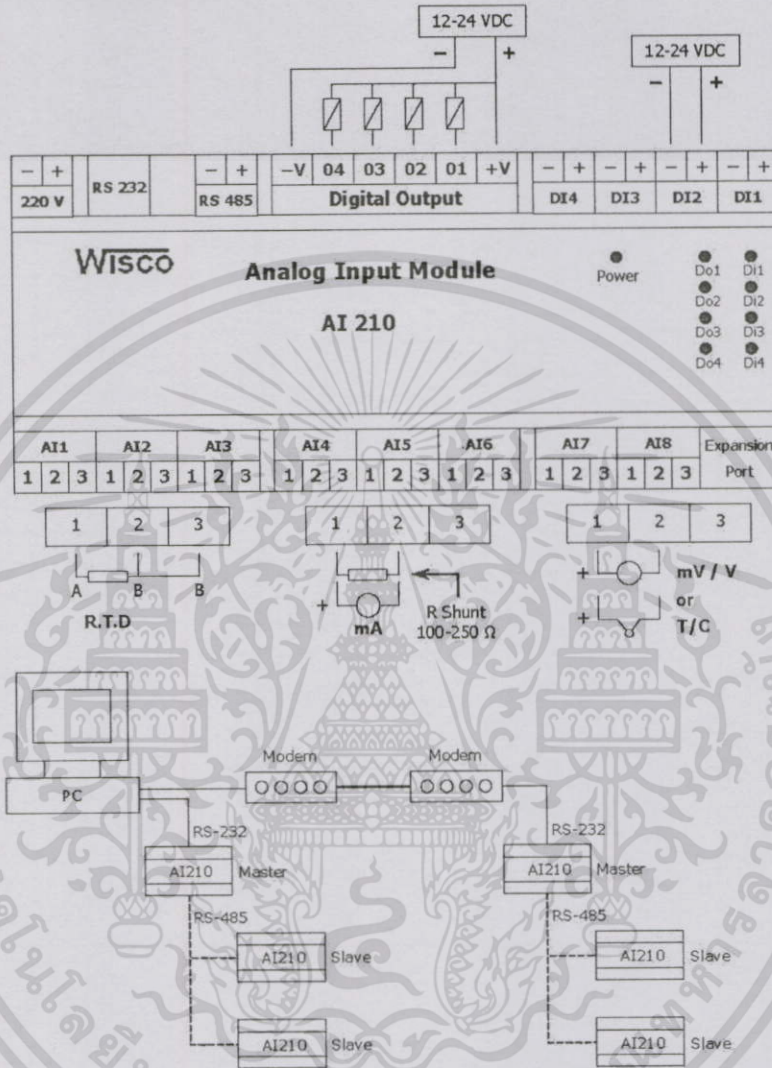
**ข้อมูลเฉพาะ (Specifications)**

<b>Acquisition Time</b>	สูงสุด 0.3 วินาที (300 ms)
<b>Analog Input</b>	
Resolution	ดูตารางในหน้าที่ 5
Accuracy	ดูตารางในหน้าที่ 5
Thermocouple	R, S, K, E, J, T, B
Cold Junction Temperature Compensation Accuracy	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
RTD	Pt100 3-wire type
Amperage	$\approx 0.25\text{ mA}$
Resistance	สูงสุด 5 $\Omega$ ต่อ 1 สาย (5 $\Omega$ Max./Wire)
Voltage	0-10 V, 0-5 V, 0-100 mV
Input Impedance	$\approx 200\text{ k}\Omega$
Current	0-20 mA, 0-40 mA (ต้องต่อความต้านทานภายนอกด้วย)
External Resistor	$\approx 100\text{-}250\text{ }\Omega$
<b>Digital Input</b>	
Input Range	0-24 V (Low < 5 V, High > 9 V)
Input Impedance	$\approx 1\text{ k}\Omega$
<b>Digital Output</b>	
Output Type	Open Collector Transistor 50 V, 500 mA
<b>Communication</b>	
Signal Level	EIA Standards, RS-232, and RS-485
Data Format	8 data bit, 1 stop bit, none parity
Station Number	0-31 (00H-1FH)
Baud Rate	4800, 9600, 19200, and 57600 bps
Distance	RS-232 max. 20 m, RS-485 max. 1 km
Number of Devices	Max. 32 stations

**ขนาดกล่อง (External Dimensions)**

**Top View**

**Side View**




การต่อสาย (Wiring Diagram)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รหัสและย่านการวัดของช่องสัญญาณ Analog แต่ละชนิด**

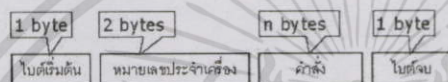
Code	Input Type	Measuring Range	Resolution	Accuracy (%FS) @25 °C	
00	Not Use	–	–	–	
01	Thermocouple	R	0 – 1700 °C	1 °C	± 0.2% (3.4 °C)
02		S	0 – 1700 °C	1 °C	± 0.2% (3.4 °C)
03		K	(-)250.0 – 1300.0 °C	0.1 °C	± 0.2% (2.6 °C)
04		E	0.0 – 1000.0 °C	0.1 °C	± 0.2% (2.0 °C)
05		J	(-)200.0 – 700.0 °C	0.1 °C	± 0.2% (1.4 °C)
06		T	(-)250.0 – 400.0 °C	0.1 °C	± 0.2% (0.8 °C)
07		B	0 – 1800 °C	1 °C	± 0.2% (3.6 °C)
08	R.T.D. Pt100	(-)200.0 – 800.0 °C	0.1 °C	± 0.2% (1.6 °C)	
09	Voltage(mV) 0 – 100	0.00 – 100.00 mV	0.01 mV	± 0.02% (0.02 mV)	
10	Voltage (V)	0 – 5	0.000 – 5.000 V	0.001 V	± 0.04% (0.002 V)
11		0 – 10	0.000 – 10.000 V	0.001 V	± 0.02% (0.002 V)
12	Current (mA)	0 – 20	0.00 – 20.00 mA	0.01 mA	± 0.1% (0.02 mA)
13		0 – 40	0.00 – 40.00 mA	0.01 mA	± 0.05% (0.02 mA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อตัว **AI210** สามารถเชื่อมต่อได้สองมาตรฐานคือมาตรฐาน RS-232 และ RS-485 โดยมาตรฐาน RS-232 จะเป็นการเชื่อมต่อระหว่าง **AI210** กับ PC หนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น ส่วนมาตรฐาน RS-485 จะสามารถเชื่อมต่อกันได้ครั้งละหลายเครื่องโดยสามารถเชื่อมต่อ **AI210** ได้ทั้งหมด 32 เครื่องพร้อมกันรวมกับ Computer อีก 1 เครื่อง โดยทั้งสองมาตรฐานจะใช้ข้อกำหนด (Protocol) เดียวกันในการติดต่อกับ **AI210** โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### การติดต่อกับโมดูลโดยใช้ **Wisco Protocol**

ข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกับโมดูล **AI210** จะเป็นรหัส ASCII ทั้งหมดและในคำสั่งชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วย



ไบต์เริ่มต้น

ไบต์แรกที่บอกให้โมดูลรู้ว่าได้เริ่มต้นของชุดคำสั่ง โดยจะใช้อักขระ '#' เป็นตัวเริ่มต้น

หมายเลขประจำเครื่อง

หมายเลขที่ใช้อ้างอิงตัวโมดูลสำหรับกรณีที่มีการต่อใช้งานพร้อมกันตั้งแต่ 2 ตัว ขึ้นไป โดยสามารถตั้งได้ที่ DIP Switch บนตัวโมดูล ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 00h-1Fh และนำมาให้หมายเลขซ้ำกัน

คำสั่ง

คำสั่งที่ใช้กับโมดูล สำหรับ **AI210** จะมีทั้งหมด 19 คำสั่ง

ไบต์จบ

ไบต์สุดท้ายที่บอกให้โมดูลรู้ว่าสิ้นสุดของชุดคำสั่ง โดยจะใช้ [CR] (Carriage Return) ซึ่งเป็นอักขระตั้งที่ 13 ในตาราง ASCII เป็นตัวปิดท้าย

Character	#	0	0	R	A	I	1	2	4	5	8	CR
ASCII Code	23H	30H	30H	52H	41H	2AH	31H	32H	34H	35H	38H	0DH

ตัวอย่างการใช้งานคำสั่งสำหรับ **Wisco Protocol**

**รายละเอียดและตัวอย่างของคำสั่ง Wisco Protocol**

(  = 1 byte,  ...  = n bytes,  CR = Carriage Return )

**1. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Analog Input**

เริ่มต้นด้วย 'RAI' ตามด้วยช่องสัญญาณที่จะอ่าน และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า AI จากเครื่องหมายเลข 00 ช่องที่ 1, 2, 4, 5, 8 จะได้คำสั่งดังนี้ '#00RAI12458[CR]'

# 0 0 R A I 1 2 4 5 8 CR

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่าที่วัดได้เป็นเลขฐาน 16 โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>0FD1,05A3,...,072E[CR]'

A I > 0 F D 1 , 0 5 A 3 , / ... , 0 7 2 E CR

กรณีที่ต้องการอ่านค่า AI ทั้ง 8 ช่อง ให้ใช้ 'RAI' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

# 0 0 R A I CR

ทั้งนี้ค่าที่ได้ต้องนำมาแปลงก่อนจึงจะได้ค่าที่ต้องการ โดยสามารถดูรายละเอียดที่ ตารางการแปลงข้อมูล Analog ชนิด Sign Integer ที่อยู่นำหน้าสุดท้าย

**2. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Analog Input (Floating Point)**

คล้ายกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนเป็นขึ้นต้นด้วย 'RAIF' ตามด้วยช่องสัญญาณที่จะอ่าน และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า AI จากเครื่องหมายเลข 01 ช่องที่ 1, 3, 5, 7 จะได้คำสั่งดังนี้ '#01RAIF1357[CR]'

# 0 1 R A I F 1 3 5 7 CR

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่าที่วัดได้เป็นเลขทศนิยม ทำให้สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ต่อได้ทันที โดยช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>12.1,470,...,-0.5[CR]'

A I > 1 2 . 1 , 4 7 0 , / ... , - 0 . 5 CR

กรณีที่ต้องการอ่านค่า AI ทั้ง 8 ช่อง ให้ใช้ 'RAIF' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

# 0 1 R A I F CR

### 3. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Analog Input (Expansion Module)

เหมือนกับข้อ 1 แต่ให้อ่านข้อมูลจากโมดูล **AI210** ที่ต่อกับโมดูลเสริม **EX24** ทำให้สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ช่อง 1-24 ขึ้นต้นคำสั่งด้วย 'RAIX' ตามด้วยช่องสัญญาณที่จะอ่าน โดยใช้รูปแบบของ bit ทั้งหมด 6 ไบต์ (MSB -> LSB, '0' = ไม่อ่าน, '1' = อ่าน) และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า AI จากเครื่องหมายเลข 02 ช่องที่ 24, 22, 20, 17, 16, 15, 10, 7, 4, 3, 2, 1 จะได้คำสั่งดังนี้ '#02RAIXA9C24F[CR]'

```
# 0 2 R A I X A 9 C 2 4 F [CR]
```

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่าที่วัดได้เป็นเลขฐาน 16 โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>0FD1,05A3,...,072E[CR]'

```
A I > 0 F D 1 , 0 5 A 3 , ... , 0 7 2 E [CR]
```

กรณีที่ต้องการอ่านค่า AI ทั้ง 24 ช่อง ให้ใช้ 'RAIXFFFFFF' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

```
# 0 2 R A I X F F F F F F F F [CR]
```

### 4. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Analog Input (Floating Point - Expansion Module)

คล้ายกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นขึ้นต้นด้วย 'RAIFX' ตามด้วยช่องสัญญาณที่จะอ่าน โดยใช้รูปแบบของ bit ทั้งหมด 6 ไบต์ (MSB -> LSB, '0' = ไม่อ่าน, '1' = อ่าน) และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า AI จากเครื่องหมายเลข 03 ช่องที่ 24, 23, 22, 18, 13, 10, 9, 5 จะได้คำสั่งดังนี้ '#03RAIFXE21310[CR]'

```
# 0 3 R A I F X E 2 1 3 1 0 [CR]
```

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่าที่วัดได้เป็นเลขทศนิยม ทำให้สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ต่อได้ทันที โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>12.1,470,...,-0.5[CR]'

```
A I > 1 2 . 1 , 4 7 0 , ... , - 0 . 5 [CR]
```

กรณีที่ต้องการอ่านค่า AI ทั้ง 24 ช่อง ให้ใช้ 'RAIFXFFFFFF' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

```
# 0 3 R A I F X F F F F F F F F [CR]
```

**5. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Digital Input**

ขึ้นต้นด้วย 'RDI' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะทำการอ่านค่า DI ทั้ง 4 ช่อง ดังนี้

#	0	4	R	D	I	[CR]
---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวไมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'DI>' ตามด้วยค่าที่วัดได้ ('0' = OFF, '1' = ON)  
ช่องละ 1 ไบต์ และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'DI>0010[CR]'

D	I	>	0	0	1	0	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	------

**6. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Digital Output**

คล้ายกับข้อ 5 แต่เปลี่ยนเป็นขึ้นต้นด้วย 'RDO' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะทำการอ่านค่า DO ทั้ง 4 ช่อง ดังนี้

#	0	5	R	D	O	[CR]
---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวไมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'DO>' ตามด้วยค่าที่วัดได้ ('0' = OFF, '1' = ON)  
ช่องละ 1 ไบต์ และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'DO>0101[CR]'

D	O	>	0	1	0	1	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	------

**7. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input/Output ทั้งหมด**

เพื่อความสะดวกในการอ่านค่า AI, DI และ DO ทุกช่องพร้อมกัน ให้ใช้คำสั่งขึ้นต้นด้วย 'RADIO' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะได้อ่านค่านี้ '#07RADIO[CR]'

#	0	7	R	A	D	I	O	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวไมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่า AI เป็นเลขฐาน 16 ทั้ง 8 ช่อง โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DI ทั้ง 4 ช่อง คั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DO ทั้ง 4 ช่อง และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>0FD1,05A3,...,0110,0011[CR]'

A	I	>	0	F	D	1	,	...	,	0	1	1	0	,	0	0	1	1	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

8. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input/Output ทั้งหมด (Analog Floating Point)

คล้ายกับข้อ 7 แต่จะใช้คำสั่งที่เริ่มต้นด้วย 'RADIOF' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะได้คำสั่งดังนี้ '#08RADIOF[CR]'

#	0	8	R	A	D	I	O	F	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วย AI ค่าที่วัดได้เป็นเลขทศนิยม ทั้ง 8 ช่อง โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DI ทั้ง 4 ช่อง คั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DO ทั้ง 4 ช่อง และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>15.2,-9.83,...,0110,0011[CR]'

A	I	>	1	5	.	2	,	...	,	0	1	1	0	,	0	0	1	1	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

9. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input/Output ทั้งหมด (Analog Expansion Module)

เหมือนกับข้อ 7 แต่ใช้อ่านข้อมูลจากโมดูล AI210 ที่ต่อกับโมดูลเสริม EX24 จึงตั้งคำสั่งด้วย 'RADIOX' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะได้คำสั่งดังนี้ '#09RADIOX[CR]'

#	0	9	R	A	D	I	O	X	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่า AI เป็นเลขฐาน 16 ทั้ง 24 ช่อง โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DI ทั้ง 4 ช่อง คั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DO ทั้ง 4 ช่อง และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>15.2,-9.83,...,0110,0011[CR]'

A	I	>	0	F	D	1	,	...	,	0	1	1	0	,	0	0	1	1	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

10. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input/Output ทั้งหมด (Analog Floating Point - Expansion Module)

คล้ายกับข้อ 9 แต่เปลี่ยนเป็นเริ่มต้นด้วย 'RADIOFX' และจบด้วย '[CR]' ซึ่งจะได้คำสั่งดังนี้ '#0ARADIOFX[CR]'

#	0	A	R	A	D	I	O	F	X	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'AI>' ตามด้วยค่า AI เป็นเลขทศนิยม ทั้ง 24 ช่อง โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DI ทั้ง 4 ช่อง คั่นด้วย ',' ตามด้วยค่า DO ทั้ง 4 ช่อง และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'AI>15.2,-9.83,...,0110,0011[CR]'

A	I	>	1	5	.	2	,	...	,	0	1	1	0	,	0	0	1	1	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

**11. คำสั่งที่ใช้อ่านค่าจากหน่วยความจำชนิด EEPROM**

เริ่มต้นด้วย 'REE' ตามด้วยหมายเลขตัว EEPROM ที่จะอ่าน 1 ไบต์ (คำสั่งจะนับตัว EEPROM โดยเริ่มนับจาก 0) ตามด้วยตำแหน่งเริ่มต้น 4 ไบต์ ตามด้วยจำนวนไบต์ที่จะอ่าน 4 ไบต์ และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า EEPROM จากเครื่องหมายเลข 0B โดยเริ่มจากตำแหน่ง 200H จำนวน 500 Address (01F4H) จะได้คำสั่งดังนี้ '#0BREE0020001F4[CR]'

#	0	B	R	E	E	0	0	2	0	0	0	1	F	4	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'EE>' ตามด้วยค่าที่อยู่ใน EEPROM เป็นเลขฐาน 16 ตามด้วยค่า Checksum อีก 2 ไบต์ (ดูวิธีคำนวณในหัวข้อ วิธีคิด Checksum สำหรับ Wisco Protocol) และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'EE>0320FF45...A79Dxx[CR]'

E	E	>	0	3	2	0	F	F	4	5	...	A	7	9	D	x	x	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	------

**12. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า R Shunt**

เริ่มต้นด้วย 'RRI' แล้วตามด้วยช่องที่จะอ่านค่า R Shunt ช่องละ 1 ไบต์ และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า R Shunt จากเครื่องหมายเลข 0C ช่องที่ 2, 6, 8 จะได้คำสั่งดังนี้ '#0CRRI238[CR]'

#	0	C	R	R	I	2	3	8	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'RIN>' ตามด้วยค่า R Shunt เป็นเลขทศนิยม โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'RIN>15.4,205,9.73[CR]'

R	I	N	>	1	5	.	4	,	2	0	5	,	9	.	7	3	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

กรณีที่ต้องการอ่านค่า R Shunt ทั้ง 8 ช่อง ให้ใช้ 'RRI' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

#	0	C	R	R	I	[CR]
---	---	---	---	---	---	------

**13. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า R Shunt (Expansion Module)**

เหมือนกับข้อ 12 แต่ใช้อ่านค่า R Shunt จากโมดูล **AI210** ที่ต่อกับโมดูลเสริม **EX24** ทำให้สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ช่อง 1-24 ด้วยการขึ้นต้นคำสั่งด้วย 'RRIX' ตามด้วยช่อง R Shunt ที่จะอ่าน โดยใช้รูปแบบของบิตทั้งหมด 6 บิต (MSB -> LSB, '0' = ไม่อ่าน, '1' = อ่าน) และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่า R Shunt จากเครื่องหมายเลข 0D ช่องที่ 23, 22, 17, 14, 10, 9, 8, 7, 6, 4, 3 จะได้คำสั่งดังนี้ '#0DRRIX6123EC[CR]'

```
# 0 D R R I X 6 1 2 3 E C [CR]
```

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาในรูปแบบเดียวกับข้อ 12

```
R I N > 3 9 . 6 , 3 . 5 , ... , 4 . 4 8 [CR]
```

กรณีที่ต้องการอ่านค่า R Shunt ทั้ง 24 ช่อง ให้ใช้ 'RRIXFFFFFF' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

```
# 0 D R R I X F F F F F F [CR]
```

**14. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input Type (Analog Input)**

ขึ้นต้นด้วย 'RTY' แล้วตามด้วยช่องที่จะอ่านชนิดของ AI ช่องละ 1 บิต และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่าชนิดของ AI จากเครื่องหมายเลข 0E ช่องที่ 1, 4, 5, 7 จะได้คำสั่งดังนี้ '#0ERTY1457[CR]'

```
# 0 E R T Y 1 4 5 7 [CR]
```

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'TYPE>' ตามด้วยค่าชนิดของ AI แต่ละช่องเป็นเลขฐาน 10 โดยแต่ละช่องจะถูกคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'EE>1,1,3,12[CR]'

```
T Y P E > 1 , 1 , 3 , 1 2 [CR]
```

กรณีที่ต้องการอ่านชนิดของ AI ทั้ง 8 ช่อง ให้ใช้ 'RTY' แล้วจบด้วย '[CR]' ได้เลย

```
# 0 E R T Y [CR]
```

**15. คำสั่งที่ใช้อ่านค่า Input Type (Analog Input - Expansion Module)**

เหมือนกับข้อ 14 แต่ใช้อ่านค่าชนิดของ AI จากโมดูล **AI210** ที่ต่อกับโมดูลเสริม **EX24** ทำให้สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ช่อง 1-24 ขึ้นต้นคำสั่งด้วย 'RTYX' ตามด้วยช่องที่จะอ่านชนิดของ AI โดยใช้รูปแบบของ bit ทั้งหมด 6 บิต (MSB -> LSB, '0' = ไม่อ่าน, '1' = อ่าน) และจบด้วย '[CR]' เช่น อ่านค่าชนิดของ AI จากเครื่องหมายเลข 0F ช่องที่ 23, 19, 17, 11, 7, 5, 3, 2, 1 จะได้คำสั่งดังนี้ '#0FRTYX450457[CR]'

#	0	F	R	T	Y	X	4	5	0	4	5	7	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาในรูปแบบเดียวกับข้อ 14

T	Y	P	E	>	1	1	,	1	2	,	...	,	6	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	------

กรณีที่ต้องการอ่านชนิดของ AI ทั้ง 24 ช่อง ให้ใช้ 'RTYXFFFFFF' และจบด้วย '[CR]' ได้เลย

#	0	F	R	T	Y	X	F	F	F	F	F	F	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

**16. คำสั่งที่ใช้เขียนค่า Digital Output**

ขึ้นต้นด้วย 'WDO' ตามด้วยช่องสัญญาณที่จะเขียน ขึ้นด้วย ',' ตามด้วยค่าที่ต้องการจะเขียนของช่องที่ต้องการจะเขียน ('0' = OFF, '1' = ON) และจบด้วย '[CR]' เช่น เขียนค่า DO ไปที่เครื่องหมายเลข 11 ช่องที่ 1=OFF, 2=ON, 4=OFF จะได้คำสั่งดังนี้ '#11WDO124,010[CR]'

#	1	1	W	D	O	1	2	4	,	0	1	0	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'DO>OK' และจบด้วย '[CR]' ดังนี้

D	O	>	O	K	[CR]
---	---	---	---	---	------

17. คำสั่งที่ใช้เขียนค่าไปที่หน่วยความจำชนิด EEPROM

เริ่มต้นด้วย 'WEE' ตามด้วยหมายเลขตัว EEPROM ที่จะเขียน 1 ไบต์ (คำสั่งจะนับตัว EEPROM โดยเริ่มนับจาก 0) ตามด้วยตำแหน่งเริ่มต้น 4 ไบต์ ตามด้วยจำนวนไบต์ที่จะเขียน 2 ไบต์ ตามด้วยข้อมูลที่จะเขียน ตามด้วย Checksum (ดูวิธีคำนวณในหัวข้อ วิธีคิด Checksum สำหรับ Wisco Protocol) ซีก 2 ไบต์ และจบด้วย '[CR]' เช่น เขียนค่า EEPROM ไปที่ เครื่องหมายเลข 13 โดยเริ่มจากตำแหน่ง 100H จำนวน 2 ไบต์ (12 34) จะได้คำสั่งดัง ตัวอย่างนี้ '#13WEE00100031234B7[CR]' (B7 = checksum)

#	1	0	W	E	E	0	0	1	0	0	0	2	1	2	3	4	B	7	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'EE>OK' และจบด้วย '[CR]' ดังนี้

E	E	>	O	K	[CR]
---	---	---	---	---	------

18. คำสั่งที่ใช้เขียนค่า R Shunt

เริ่มต้นด้วย 'WRI' ตามด้วยช่อง R Shunt ที่จะเขียน คั่นด้วย '=' ตามด้วยค่าที่ต้องการ จะเขียนเป็นเลขทศนิยม และจบด้วย '[CR]' เช่น เขียนค่า R Shunt ให้กับเครื่องหมายเลข 13 ช่องที่ 5 = 245.75 จะได้คำสั่งดังนี้ '#13WRI5=247.5[CR]'

#	1	3	W	R	I	5	=	2	4	7	.	5	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'RIN(' ตามด้วยช่อง R Shunt ที่จะเขียน ตามด้วย ')>OK' และจบด้วย '[CR]' ดังตัวอย่างนี้ 'RIN(5)>OK[CR]'

R	I	N	(	5	)	>	O	K	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

ทั้งนี้ คำสั่งนี้ใช้เขียนค่าให้ R Shunt ได้ครั้งละ 1 ช่องเท่านั้น

### 19. คำสั่งที่ใช้กำหนดค่า Input Type (Analog Input)

เริ่มต้นด้วย 'WTY' ตามด้วยชุดคำสั่งที่มี ช่องที่จะกำหนดชนิดของ AI ตามด้วย '=' ตามด้วยค่าที่ต้องการจะเขียนเป็นเลขฐาน 10 โดยแต่ละช่องจะคั่นด้วย ',' และจบด้วย '[CR]' เช่น กำหนดชนิดของ AI ให้กับเครื่องหมายเลข 14 ช่องที่ 1=1, 8=12, 21=9 จะได้คำสั่งดังตัวอย่างนี้ '#14WTY1=1,8=12,21=9[CR]'

#	1	4	W	T	Y	1	=	1	,	8	=	1	2	,	2	1	=	9	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

โดยตัวโมดูลจะตอบกลับมาเป็น 'TYPE>OK' และจบด้วย '[CR]' ดังนี้

T	Y	P	E	>	O	K	[CR]
---	---	---	---	---	---	---	------

### รหัสขอมกลับมากเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการส่งคำสั่งไปยังตัวโมดูล AI210

ในกรณีที่การส่งคำสั่งไปยังตัวโมดูลนั้น หากชุดคำสั่งนั้นไม่ถูกต้อง ตัวโมดูลจะไม่ทำคำสั่งชุดนั้น และรายงานความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกลับมาเป็นรหัสต่างๆ โดยจะเริ่มต้นด้วย 'ERR=' แล้วตามด้วยตัวเลขตั้งแต่ 1-6 ดังนี้

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1 (illegal function)       | คำสั่งไม่ถูกต้อง หรือโมดูลไม่รู้จักคำสั่งนี้  |
| 2 (illegal data address)   | ค่าตำแหน่งเริ่มต้น เกินช่วงตำแหน่งที่กำหนดไว้   |
| 3 (illegal data value)     | ค่าของข้อมูลที่ใช้ในชุดคำสั่งไม่ถูกต้อง<br>เช่น ค่าของ DO ที่จะอ่าน ไม่ถูกต้อง                                  |
| 4 (invalid data frame)     | รูปแบบของชุดคำสั่งไม่ตรงตามข้อกำหนด<br>เช่น เขียนค่า DO โดยไม่มี ',' คั่นระหว่างหมายเลขช่อง<br>กับค่าที่จะเขียน |
| 5 (check sum error)        | ค่า check sum ไม่ถูกต้อง (อาจเกิดจากความผิดพลาดระหว่างส่งข้อมูล)  |
| 6 (invalid number of byte) | จำนวนข้อมูลที่รับมาไม่ครบตามจำนวนที่แจ้งไว้   |

### วิธีการ CHECK SUM สำหรับ Wisco Protocol

ใน AI210 จะใช้ CHECK SUM ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งไปสำหรับ Read หรือ Write กับ EEPROM การคิด CHECK SUM นั้นจะใช้การบวกข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกัน (บวกเฉพาะข้อมูลที่เป็นตัวเลขเท่านั้น) บวกกันครั้งละ 1 ไบต์โดยค่าที่เกิน 1 byte นั้นเราจะตัดทิ้ง จากนั้นนำค่าที่ได้ 1 byte นั้นมาทำ 1's complement และ 2's complement เป็นอันเรียบร้อย

ตัวอย่างเช่น '# 1A WEE 0 0000 05 11 22 33 44 55 [CR]'

	HEXADECIMAL	BINARY
ไบต์เริ่มต้น	00H	0000 0000
	00H	0000 0000
	05H	0000 0000
	11H	0001 0001
	22H	0010 0010
	33H	0011 0011
ไบต์สุดท้าย	44H	0100 0100
	55H	0101 0101
ผลลัพธ์	104H	1 0000 0100
คิดเฉพาะ 1 byte (8 bit)	04H	0000 0100
ทำ 1's complement (invert)	FBH	1111 1011
ทำ 2' complement	FBH + 1	1111 1011 + 1
ค่า Check sum ที่ได้	FCH	1111 1100
ข้อมูลที่จะส่งจึงเป็น '# 1A WEE 0 0000 05 11 22 33 44 55 FC [CR]'		

**สรุปคำสั่งที่ใช้กับตัวโมดูล AI210 (Wisco Protocol)**

((H) = Heximal Value, (D) = Decimal Value, (E) = Extension Module,  
xx = check sum, [CR] = carriage return)

Function	Command	AI210 Response
RAI = Read AI Value (H)	#00RAI12458[CR]	AI>0FD1,05A3,....,072E[CR]
RAIF = Read AI Value (D)	#01RAIF1357[CR]	AI>12.1,470,....,-0.5[CR]
RAIX = Read AI Value (E,H)	#02RAIXA9C24F[CR]	AI>0FD1,05A3,....,072E[CR]
RAIFX = Read AI Value (E,D)	#03RAIFXE21310[CR]	AI>12.1,470,....,-0.5[CR]
RDI = Read Digital Input	#04RDI234[CR]	DI>010[CR]
RDO = Read Digital Output	#05RDO[CR]	DO>1001[CR]
RADIO = Read All I/O	#07RADIO[CR]	AI>0FD1,....,0110,0011[CR]
RADIOF = Read All I/O (H)	#08RADIOF[CR]	AI>15.2,....,0110,0011[CR]
RADIOX = Read All I/O (E)	#09RADIOX[CR]	AI>0FD1,....,0110,0011[CR]
RADIOFX = Read All I/O (E,H)	#0ARADIOFX[CR]	AI>15.2,....,0110,0011[CR]
REE = Read EEPROM	#0BREE0020001F4[CR]	EE>0320FF45....A79Dxx[CR]
RRRI = Read R Shunt	#0CRRI2368[CR]	RIN>15.4,205,9.73[CR]
RRRIX = Read R Shunt (E)	#0DRRIX6123EC[CR]	RIN>39.6,3.5,....,4.48[CR]
RTY = Read AI Type	#0ERTY1457[CR]	TYPE>1,1,3,12[CR]
RTYX = Read AI Type (E)	#0FRTYX450457[CR]	TYPE>11,12,....,6[CR]
WDO = Write Digital Output	#11WDO13,11[CR]	DO>OK[CR]
WEE = Write EEPROM	#12WEE00100021234B7[CR]	EE>OK[CR]
WRI = Write R Shunt	#13WRI5=247.5[CR]	RIN(5)>OK[CR]
WTY = Write AI Type	#14WTY1=1,8=12,21=9[CR]	TYPE>OK[CR]



**การติดต่อกับโมดูลโคธไอซ์ MODBUS(ASCII) Protocol**

โมดูล **AI210** สามารถใช้ Protocol MODBUS ในการติดต่อได้เช่นกัน โดยจะมีรูปแบบของคำสั่งดังต่อไปนี้ (CHAR = Character; 1 CHAR ประกอบไปด้วย 8 Data Bits, 1 Start Bit, และ 1 Stop Bit)

ADDR	FUNCTION	DATA	ERROR CHECK	EOF	READY TO REC RESP
2-CHAR 16-BITS	2-CHAR 16-BITS	N x 4-CHAR N x 16-BITS	2-CHAR 16-BITS	CR	LF

โมดูล **AI210** สนับสนุนฟังก์ชันพื้นฐานของ Modbus ทั้งหมด 8 ฟังก์ชัน ดังต่อไปนี้

**MODBUS ASCII**

- READ OUTPUT STATUS (CODE 01)
- READ INPUT STATUS (CODE 02)
- READ INPUT REGISTERS (CODE 04)
- FORCE SINGLE COIL (CODE 05)
- FORCE MULTIPLE COILS (CODE 15)

**Wisco**

- = Read Digital Output
- = Read Digital Input
- = Read Analog Input
- = Write Digital Output
- = Write Digital Output

การอ้าง Address บนตัวโมดูลมีดังนี้

**Function Code**

- 01, 05, 15
- 02
- 04

**Reference**

- Digital Output
- Digital Input
- Analog Input

**Address**

- 0xxxx
- 1xxxx
- 3xxxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Digital Output Table**

Name	Address
Digital Output Channel 1	00001
Digital Output Channel 2	00002
Digital Output Channel 3	00003
Digital Output Channel 4	00004

**Digital Input Table**

Name	Address
Digital Input Channel 1	10001
Digital Input Channel 2	10002
Digital Input Channel 3	10003
Digital Input Channel 4	10004

**Analog Input Table**

Name	Address
Analog Input Channel 1	30001
Analog Input Channel 2	30002
Analog Input Channel 3	30003
Analog Input Channel 4	30004
Analog Input Channel 5	30005
Analog Input Channel 6	30006
Analog Input Channel 7	30007
Analog Input Channel 8	30008

\* รายละเอียดที่เหลือของ Modbus สามารถดูได้จาก 'Modbus Reference Guide' ที่ <http://www.modbus.org/specs.php>

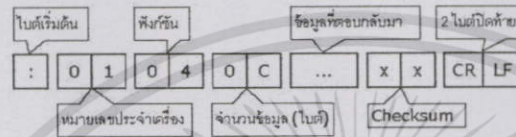


ตัวอย่างฟังก์ชัน MODBUS(ASCII) PROTOCOL

Function Code 04



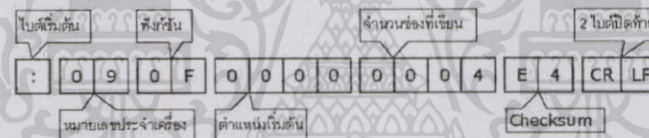
Response



Function Code 15



Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**วิธีการ CHECK SUM สำหรับ MODBUS(ASCII) Protocol**

ใน MODBUS Protocol จะใช้ CHECK SUM ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งไปทุกคำสั่ง การคิด CHECK SUM นั้นจะใช้การบวกข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกัน (บวกเฉพาะข้อมูลที่เป็นตัวเลขเท่านั้น) บวกกันครั้งละ 1 ไบต์โดยค่าที่เกิน 1 byte นั้นเราจะตัดทิ้ง จากนั้น นำค่าที่ได้ 1 byte นั้นมาทำ 1's complement และ 2's complement เป็นอันเรียบร้อย

ตัวอย่างเช่น `'0F 04 0001 0023 [CR] [LF]'`

	HEXADECIMAL	BINARY
ไบต์เริ่มต้น	0FH	0000 1111
	04H	0000 0100
	00H	0000 0000
	01H	0000 0001
	00H	0000 0000
ไบต์สุดท้าย	23H	0010 0011
ผลลัพธ์	37H	0011 0111
คิดเฉพาะ 1 byte (8 bit)	37H	0011 0111
ทำ 1's complement (invert)	C8H	1100 1000
ทำ 2' complement	C8H + 1	1100 1000 + 1
ค่า Check sum ที่ได้	C9H	1100 1001
ข้อมูลที่จะส่งจึงเป็น	<code>'0F 04 0001 0023 C9 [CR] [LF]'</code>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การตั้งค่าให้กับ Dip Switch

เมื่อแกะฝาด้านบนของโมดูลออก จะพบ Dipswitch ที่ใช้เลือก Station (ตำแหน่งที่ 1-5) และ Baud rate (ตำแหน่งที่ 6-7) ตามต้องการ และควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งมีข้อควรพิจารณาดังนี้

- ความยาว และ ความต้านทานของสาย
  - การรบกวนจากภายนอก
  - ถ้าติดต่อผ่านโมเด็ม ไม่ควรตั้ง Baud rate สูงมากนัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของคู่สายโทรศัพท์
- ส่วนการกำหนด Protocol ที่ใช้ติดต่อกับโมดูล ให้เลือก Dipswitch ตำแหน่งที่ 8 ดังนี้

'0' = MODBUS RTU, '1' = MODBUS ASCII / WISCO PROTOCOL

### ตารางการตั้งค่า Dip Switch

1	2	3	4	5	Station	1	2	3	4	5	Station	1	2	3	4	5	Station
0	0	0	0	0	0 (00h)	1	0	0	1	0	11 (0Bh)	0	1	1	0	1	22 (16h)
1	0	0	0	0	1 (01h)	0	0	1	1	0	12 (0Ch)	1	1	1	0	1	23 (17h)
0	1	0	0	0	2 (02h)	1	0	1	1	0	13 (0Dh)	0	0	0	1	1	24 (18h)
1	1	0	0	0	3 (03h)	0	1	1	1	0	14 (0Eh)	1	0	0	1	1	25 (19h)
0	0	1	0	0	4 (04h)	1	1	1	1	0	15 (0Fh)	0	1	0	1	1	26 (1Ah)
1	0	1	0	0	5 (05h)	0	0	0	0	1	16 (10h)	1	1	0	1	1	27 (1Bh)
0	1	1	0	0	6 (06h)	1	0	0	0	1	17 (11h)	0	0	1	1	1	28 (1Ch)
1	1	1	0	0	7 (07h)	0	1	0	0	1	18 (12h)	1	0	1	1	1	29 (1Dh)
0	0	0	1	0	8 (08h)	1	1	0	0	1	19 (13h)	0	1	1	1	1	30 (1Eh)
1	0	0	1	0	9 (09h)	0	0	1	0	1	20 (14h)	1	1	1	1	1	31 (1Fh)
0	1	0	1	0	10 (0Ah)	1	0	1	0	1	21 (15h)						

6	7	Baud rate	8	Protocol
0	0	4800	0	MODBUS RTU
1	0	9600	1	MODBUS ASCII / WISCO
0	1	19200		
1	1	57600		

### การแปลงข้อมูล Analog ซบิก Sign Integer

ข้อมูลชนิด sign integer ของโมดูล **AI210** นั้นได้จากการนำค่าวัดที่ได้ซึ่งเป็นค่าทศนิยม (IEEE741 Floating Point) มาทำการคูณเลื่อนจุดทศนิยม เพื่อให้ข้อมูลเป็นจำนวนเต็มตามารกเก็บในตัวแปร sign integer ขนาด 2 ไบต์ได้เพื่อลดขนาดข้อมูลลง ทำให้การส่งข้อมูลเร็วขึ้นและข้อมูลสามารถส่งผ่านข้อกำหนดของ MODBUS ได้ ดังนั้น ข้อมูลชนิด sign integer ที่ได้จึงต้องทำการเลื่อนจุดทศนิยมเข้าที่เดิมเสียก่อนโดยการหารด้วยค่าคงที่ตามตาราง ซึ่งค่าแต่ละชนิดจะไม่เท่ากันดังตารางข้างล่างคือลัษณ์สุดท้ายเป็นตัวหารสำหรับเลื่อนตำแหน่งทศนิยมเข้าที่เดิม

รหัส	ชนิดของสัญญาณ	ค่าวัด (Floating Point)	ค่าที่อ่านจากโมดูล	ตัวหารกลับ
00	Not Use	-	-	-
01	Thermocouple	R 0 - 1700 °C	0-1700	1
02		S 0 - 1700 °C	0-1700	1
03		K (-)250.0 - 1300.0 °C	(-)2500-13000	10
04		E 0.0 - 1000.0 °C	0-10000	10
05		J (-)200.0 - 700.0 °C	(-)2000-7000	10
06		T (-)250.0 - 400.0 °C	(-)2500-4000	10
07		B 0 - 1800 °C	0-1800	1
08	R.T.D. Pt100	(-)200.0 - 800.0 °C	(-)2000-8000	10
09	Voltage(mV) 0 - 100	0.00 - 100.00 mV	0-10000	100
10	Voltage (V)	0 - 5 0.000 - 5.000 V	0-5000	1000
11		0 - 10 0.000 - 10.000 V	0-10000	1000
12	Current (mA)	0 - 20 0.00 - 20.00 mA	0-2000	100
13		0 - 40 0.00 - 40.00 mA	0-4000	100

แก้ไขครั้งสุดท้าย 12 / มีนาคม / 2550

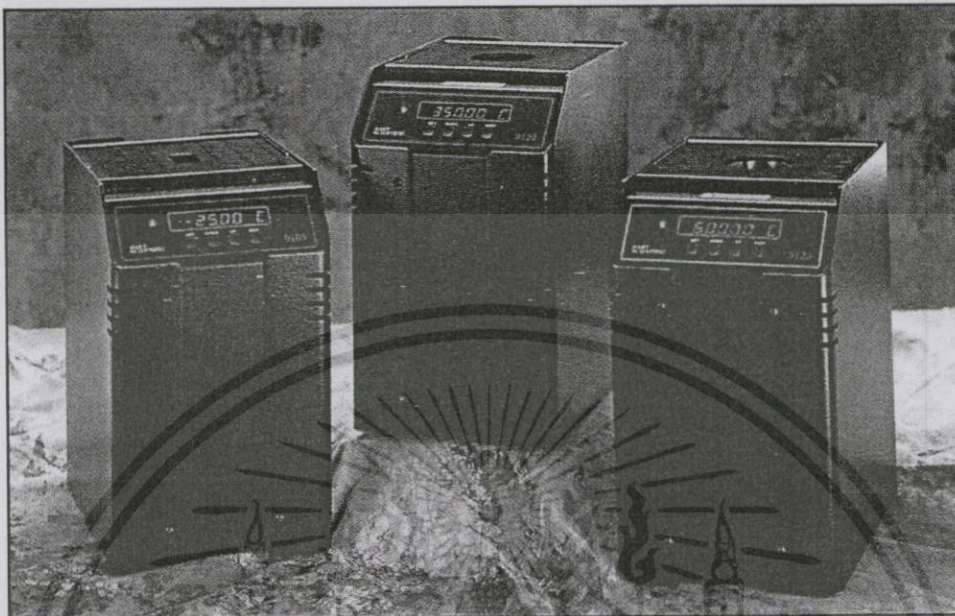
AI210D Technical Data

Page 23 of 23

Wisnu and Supak Co., Ltd 102/111-112 Tassabansongkroh Rd., Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900  
Tel (662)591-1916, (662)954-3280-1, Fax (662)580-4427 - [www.wisco.co.th](http://www.wisco.co.th) - [info@wisco.co.th](mailto:info@wisco.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HIGH-ACCURACY DRY-WELLS



### High-Accuracy Dry-Well

Models 9105, 9122 and 9123

World's highest-precision dry-wells, accurate to 0.1°C

Automatic thermal switch test with display hold

RS-232 and Windows software included

Programmable ramp and soak settings

Industrial

Hart's dry-wells are the best in this industry, not only because of their performance specs, but because they're the easiest to use and have a variety of software packages available to fully automate the calibration of sensors.

These units are specifically built for the demanding requirements of temperature work in calibration labs. Each instrument has excellent stability, uniformity and accuracy and features Hart's own proprietary controller for precision work; you can set the temperature with 0.01°C resolution.

All three dry-wells come with an RS-232 port and have an optional IEEE

interface available. However, unlike the competition, Hart dry-wells include our 9930 *Interface-it* software for controlling the unit with your PC. And if you want more, buy our 9932 *Calibrate-it* software, which totally automates the calibration process for RTDs, thermocouples and thermistors.

No other company offers software packages that are even close to these two from Hart. Our *Calibrate-it* software is not entry level data acquisition stuff. It is a total automation solution for the calibration process. These packages do everything but take the probe out of your dry-well when the calibration pro-

cess is done, and we're working on a program that will do that too! (See page 66.)

If you don't want to use a PC with these dry-wells, program them through the front panel to automatically set and hold up to eight temperatures in the sequence and duration of your choice. Each unit also has a "switch test" protocol that locks in the triggering temperature for thermal switches. The dry-well's ramp rate can be set to a speed of your choosing.

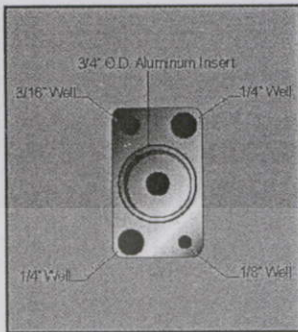
Each dry-well is completely tested and calibrated before shipment, and we don't charge extra for the traceability certificate. When accuracy and stability are important to your work, Hart is your best choice, especially when you compare prices.

#### Model 9105

The Model 9105 Dry-Well has a temperature range of -25°C to 140°C with a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

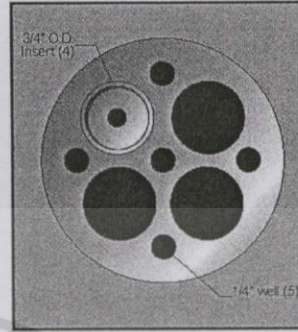
Ranges from -25°C to 600°C



The 9105 block is drilled with five calibration wells, one of which accepts interchangeable inserts.



The 9123 block has one well that accepts interchangeable inserts.



The 9122 has the most wells of any dry-well: nine total with four that accept interchangeable inserts.

stability of  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ . It has four outside wells of various sizes and a custom-size center well as shown in the illustration. Well-to-well uniformity in the drilled inserts is  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ .

Used with a standards probe, the Model 9105 has the test well uniformity and the stability to give you  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  calibration accuracy. The high-precision, microprocessor-based controller has 0.01 degrees of resolution.

You recalibrate your 9105 through its front panel, which reduces the cost and problems of recertifying your instrument. It comes with a NIST-traceable certificate at no additional cost, making the 9105 dry-well an even better value.

**Model 9122**

Too many probes to calibrate and not enough time? The Model 9122 High Capacity Dry-Well lets you calibrate up to nine probes simultaneously, manually or under PC control. Load your probes in the 9122 and start your calibration. You won't have to touch them again until the calibration is complete.

The temperature in any of the nine test wells is accurate to  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  up to  $300^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.7^\circ\text{C}$  at  $600^\circ\text{C}$ . This includes all errors such as uniformity between wells, repeatability and the

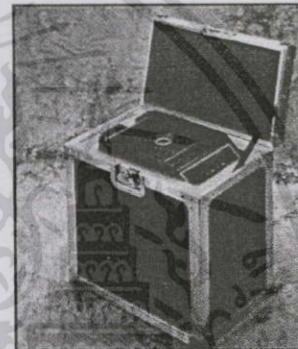
uncertainty of the NIST-traceable calibration performed in our factory. Put your probe in any well and compare its output to the 9122's display, or use it with a reference probe for comparison calibrations and even greater accuracy.

For testing only one probe, use the center well for an accuracy of  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  up to  $300^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  at  $600^\circ\text{C}$ . The Model 9122 is a great buy, especially if you have high-volume calibration needs.

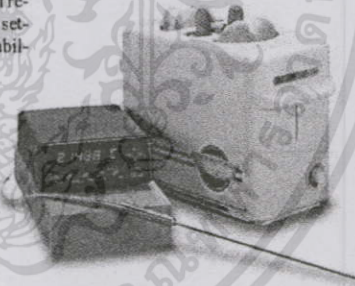
**Model 9123**

For work between  $35^\circ\text{C}$  and  $600^\circ\text{C}$ , the Model 9123 is one of our most popular instruments. It has a "smart" controller that automatically increases fan speed for cooling the block and then reduces the fan speed at a specific set-point temperature for maximum stability during calibrations.

It has an accuracy of  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  up to  $300^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  to  $600^\circ\text{C}$ . Resolution is  $0.01^\circ\text{C}$  and stability is  $\pm 0.02^\circ\text{C}$ . Inserts are available with two sensor holes for doing comparison calibrations. Uniformity between holes is typically  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ .



9304 carrying case for 9105, 9122 and 9123 dry-wells.



Combine a Tweener with Hart's new "Let's Do Lunch" dry-well and you'll never have to leave the lab.

Industrial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HIGH-ACCURACY DRY-WELLS

Specifications	9105	9122	9123
Range	-25°C to 140°C (-13°F to 284°F)	35°C to 600°C (95°F to 1112°F)	35°C to 600°C (95°F to 1112°F)
Accuracy	±0.1°C	Center Well: ±0.1°C at 100°C ±0.1°C at 300°C ±0.3°C at 600°C	±0.1°C to 300°C ±0.5°C to 600°C
Stability	±0.02°C	±0.02°C at 100°C ±0.03°C at 300°C ±0.05°C at 600°C	±0.02°C to 400°C ±0.05°C to 600°C
Uniformity	Drilled wells: ±0.05°C	±0.05°C at 100°C ±0.12°C at 300°C ±0.45°C at 600°C	up to ±0.05°C in multiple-hole inserts
Well Depth	6 inches		
Computer Interface	RS-232 Interface included with Model 9930 Windows® control software		
Heating Time to Max	10 minutes	45 minutes	15 minutes
Test Wells	5 wells: 2 at 1/4" (6.35 mm), 1 at 3/16" (4.8 mm), 1 at 1/8" (3.2 mm), and 1 interchangeable	9 wells: 4 interchangeable and 5 at 1/4" (6.35 mm)	1 interchangeable well
Resolution	0.01°C or °F		
Display	LED, °C or °F, user-selectable		
Size	12.5" H x 8" W x 10.5" D (318 x 203 x 267 mm)		
Weight	30 lb. (13.6 kg)	25 lb. (11.3 kg)	15 lb. (6.8 kg)
Power	110 VAC, 60 Hz (220 VAC, 50 Hz optional)		

### Ordering Information 9105

9105	Low-Temp Dry-Well, includes 1/4" insert
2125	IEEE-488 Option
2168	Blank Insert
2169	1/16" Insert (1.6 mm)
2170	1/8" Insert (3.2 mm)
2171	5/32" Insert (4 mm)
2172	3/16" Insert (4.8 mm)
2173	1/4" Insert (6.35 mm)
2174	5/16" Insert (7.9 mm)
2175	3/8" Insert (9.5 mm)
2176	1/2" Insert (12.7 mm)
2177	5/8" Insert (15.9 mm)
2181	1 User-specified Hole
2182	2 User-specified Holes
9304	Carrying Case

### Ordering Information 9122

9122	High-Capacity Dry-Well, includes 1/8", 3/16", 3/8", and 1/4" inserts
2125	IEEE-488 Option
2152	Blank Insert
2154	1/8" Insert (3.2 mm)
2155	5/32" Insert (4 mm)
2156	3/16" Insert (4.8 mm)
2157	1/4" Insert (6.35 mm)
2158	5/16" Insert (7.9 mm)
2159	3/8" Insert (9.5 mm)
2160	1/2" Insert (12.7 mm)
2161	5/8" Insert (15.9 mm)
2162	1 User-specified Hole
2163	2 User-specified Holes
9304	Carrying Case

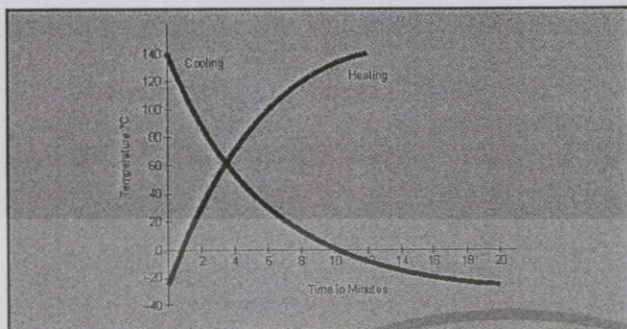
### Ordering Information 9123

9123	High-Speed Dry-Well, includes 1/4" insert
2125	IEEE-488 Option
2131	Blank Insert
2133	1/8" Insert (3.2 mm)
2134	5/32" Insert (4 mm)
2135	3/16" Insert (4.8 mm)
2136	1/4" Insert (6.35 mm)
2137	5/16" Insert (7.9 mm)
2138	3/8" Insert (9.5 mm)
2139	1/2" Insert (12.7 mm)
2140	5/8" Insert (15.9 mm)
2141	3/4" Insert (19 mm)
2142	7/8" Insert (22 mm)
2150	1 User-specified Hole
2151	2 User-specified Holes
9304	Carrying Case

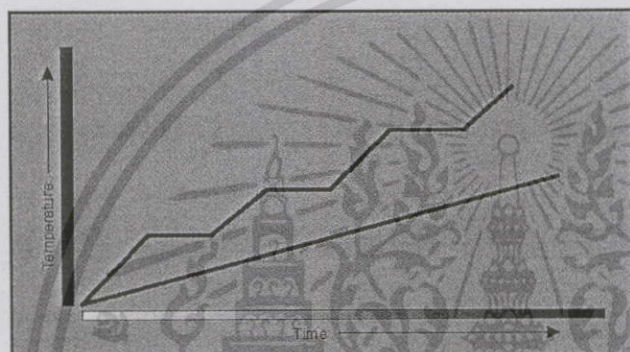
Industrial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

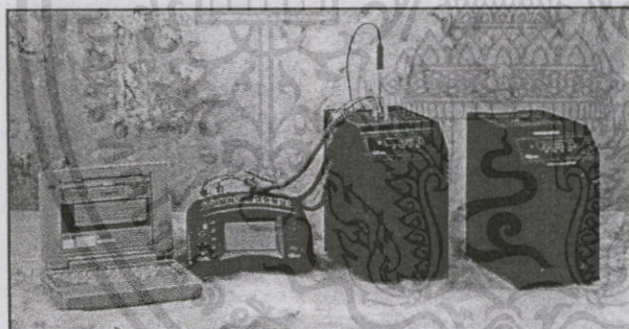
Ranges from  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $600^{\circ}\text{C}$



9105 heating and cooling rates.



The programmable ramp and soak function lets you perform semi-automated sensor testing—or you can set a single controlled ramp to test thermal cutouts.



Use these dry-wells with a 1560 Black Stack and Hart's Calibrate-It software for the most advanced and complete automated sensor calibration system.

Technical Tip

Maximum Accuracy

To get the most accurate calibrations possible from a dry-well calibrator, you should use an external reference thermometer. If, however, you are NOT using an external reference, there are a few important things you should keep in mind.

First, you are using a reference. You're comparing the reading of your test probe against the display of the dry-well. The dry-well display is based on its own control sensor, usually located at the bottom of the well. Therefore, to make the best comparison, your test probe should be inserted to the same depth as the control sensor. This was the method used when the dry-well's display was calibrated at the factory.

Second, your test probe should fit snugly into one of the test wells. Again, this is how it was originally calibrated at the factory. If your probe is too loose, thermal contact is naturally poor and a large error has been introduced. Custom inserts are available to help solve this problem.

Third, you should not introduce fluids into the wells of a dry-block in an attempt to improve thermal contact. It is too dangerous. If thermal contact is so poor that you're thinking about doing this, consider buying a bath instead. Micro-baths are now available that are just as portable and easy to use as dry-wells.

The point here is that the accuracy specs of your dry-well are based upon how the manufacturer calibrates it. If you're relying on those specs, you need to use the dry-well the same way they do—with a good, snug fit at the bottom of the well.

Industrial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9 Digital Communication Interface

The dry-well calibrator is capable of communicating with and being controlled by other equipment through the digital interface. Two types of digital interface are available — the RS-232 serial interface and the IEEE-488 GPIB interface.

With a digital interface the instrument may be connected to a computer or other equipment. This allows the user to set the set-point temperature, monitor the temperature, and access any of the other controller functions, all using remote communications equipment.

### 9.1 Serial Communications

The calibrator is installed with an RS-232 serial interface that allows serial digital communications over fairly long distances. With the serial interface the user may access any of the functions, parameters and settings discussed in Section 8 with the exception of the BAUD rate setting.

#### 9.1.1 Wiring

The serial communications cable attaches to the calibrator through the DB-9 connector at the back of the instrument. Figure 9 shows the pin-out of this connector and suggested cable wiring. To eliminate noise, the serial cable should be shielded with low resistance between the connector (DB9) and the shield.

#### 9.1.2 Setup

Before operation the serial interface must first be set up by programming the BAUD rate and other configuration parameters. These parameters are programmed within the serial interface menu. The serial interface parameters menu is outlined in Figure 6.

To enter the serial parameter programming mode first press

#### RS-232 Cable Wiring for IBM PC and Compatibles

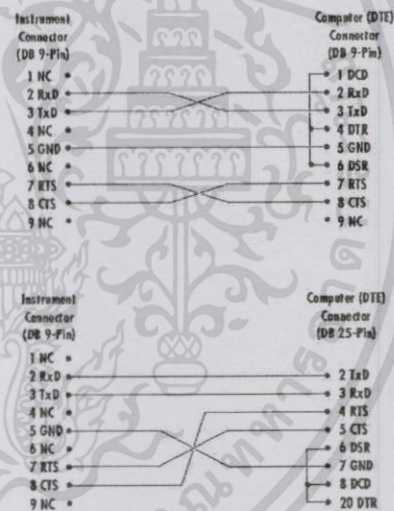


Figure 9 Serial Cable Wiring Diagram

“EXIT” while pressing “SET” and release to enter the secondary menu. Press “SET” repeatedly until the display reads “ProbE”. This is the menu selection. Press “UP” repeatedly until the serial interface menu is indicated with “SERIAL”. Finally press “SET” to enter the serial parameter menu. In the serial interface parameters menu are the BAUD rate, the sample rate, the duplex mode, and the linefeed parameter.

#### 9.1.2.1 BAUD Rate

The BAUD rate is the first parameter in the menu. The display prompts with the BAUD rate parameter by showing “BAUD”. Press “SET” to choose to set the BAUD rate. The current BAUD rate value is displayed. The serial communications BAUD rate may be programmed to 300, 600, 1200, or 2400 BAUD. The BAUD rate is pre-programmed to 1200 BAUD. Use “UP” or “DOWN” to change the BAUD rate value. Press “SET” to set the BAUD rate to the new value or “EXIT” to abort the operation and skip to the next parameter in the menu.

#### 9.1.2.2 Sample Period

The sample period is the next parameter in the menu and prompted with “SAMPLE”. The sample period is the time period in seconds between temperature measurements transmitted from the serial interface. If the sample rate is set to 5, the instrument transmits the current measurement over the serial interface approximately every five seconds. The automatic sampling is disabled with a sample period of 0. Press “SET” to choose to set the sample period. Adjust the period with “UP” or “DOWN” and then use “SET” to set the sample rate to the displayed value.

#### 9.1.2.3 Duplex Mode

The next parameter is the duplex mode indicated with “”. The duplex mode may be set to half duplex (“HALF”) or full duplex (“FULL”). With full duplex any commands received by the thermometer via the serial interface are immediately echoed or transmitted back to the device of origin. With half duplex the commands are executed but not echoed. The default setting is full duplex. The mode may be changed using “UP” or “DOWN” and pressing “SET”.

#### 9.1.2.4 Linefeed

The final parameter in the serial interface menu is the linefeed mode. This parameter enables (“On”) or disables (“OFF”) transmission of a linefeed character (LF, ASCII 10) after transmission of any carriage-return. The default setting is with linefeed on. The mode may be changed using “UP” or “DOWN” and pressing “SET”.

### 9.1.3 Serial Operation

Once the cable has been attached and the interface set up properly the controller will immediately begin transmitting temperature readings at the programmed rate. The serial communications uses 8 data bits, one stop bit, and no parity. The set-point and other commands may be sent via the serial interface to set the temperature set-point and view or program the various parameters. The interface commands are discussed in section . All commands are ASCII character strings terminated with a carriage-return character (CR, ASCII 13).

## 9.2 IEEE-488 Communication

The IEEE-488 interface is available as an option. Instruments supplied with this option may be connected to a GPIB type communication bus which allows many instruments to be connected and controlled simultaneously. To eliminate noise, the GPIB cable should be shielded

### 9.2.1 Setup

To use the IEEE-488 interface first connect an IEEE-488 standard cable to the back of the calibrator. Next set the device address. This parameter is programmed within the IEEE-488 interface menu. The IEEE-488 interface parameters menu is outlined in Figure 6.

To enter the IEEE-488 parameter programming menu first press "EXIT" while pressing "SET" and release to enter the secondary menu. Press "SET" repeatedly until the display reaches "PrObE". This is the menu selection. Press "UP" repeatedly until the IEEE-488 interface menu is indicated with "IBEE". Press "SET" to enter the IEEE-488 parameter menu. The IEEE-488 menu contains the IEEE-488 address parameter.

#### 9.2.1.1 IEEE-488 Interface Address

The IEEE-488 address is prompted with "AddrESS". Press "SET" to program the address. The default address is 22. Change the device address of the calibrator if necessary to match the address used by the communication equipment by pressing "UP" or "DOWN" and then "SET".

### 9.2.2 IEEE-488 Operation

Commands may now be sent via the IEEE-488 interface to read or set the temperature or access other controller functions. All commands are ASCII character strings and are terminated with a carriage-return (CR, ASCII 13). Interface commands are listed below.

### 9.3 Interface Commands

The various commands for accessing the calibrator functions via the digital interfaces are listed in this section (see Table 2 starting on page 47). These commands are used with both the RS-232 serial interface and the IEEE-488 GPIB interface. In either case the commands are terminated with a carriage-return character. The interface makes no distinction between upper and lower case letters, hence either may be used. Commands may be abbreviated to the minimum number of letters which determines a unique command. A command may be used to either set a parameter or display a parameter depending on whether or not a value is sent with the command following a "=" character. For example "s"<CR> returns the current set-point and "s=50.00"<CR> sets the set-point to 50.00 degrees.

In the following list of commands, characters or data within brackets, "[" and "]", are optional for the command. A slash, "/", denotes alternate characters or data. Numeric data, denoted by "n", may be entered in decimal or exponential notation. Spaces may be added within command strings and will simply be ignored. Backspace (BS, ASCII 8) may be used to erase the previous character. A terminating CR is implied with all commands.

Table 2 Communications Commands

Command Description	Command Format	Command Example	Returned	Returned Example	Acceptable Values
<b>Display Temperature</b>					
Read current set-point	s[etpoint]	s	set: 9999.99 (C or F)	set: 150.00 C	
Set current set-point to n	s[etpoint]=n	sr=450			Instrument Range
Read scan function	sc[an]	sc	scan: (ON or OFF)	scan: ON	
Set scan function:	sc[an]=on/off(F)				ON or OFF
Turn scan function on	sc[an]=on	sc=on			
Turn scan function off	sc[an]=off(F)	sc=of			
Read scan rate	sr[ate]	sr	srat: 999.99 (C or F)/min	srat: 10.0 C/min	
Set scan rate to n degrees per minute	sr[ate]=n	sr=5			.1 to 100°C
Read display temperature hold status	hm[ode]	hm	hm: (OFF or AUTO or NO or NC)		
Set display temperature hold mode:	hm[ode]=OFF/AUTO/NO O/NC				OFF or AUTO or NO or NC
Set hold mode to off	hm[ode]=OFF(F)	hm=of			
Set hold mode to automatic	hm[ode]=AU(TO)	hm=auto			
Set hold mode to normally open	hm[ode]=NO	hm=no			
Set hold mode to normally closed	hm[ode]=NC	hm=nc			
Read temperature	t[emperature]	t	t: 9999.99 (C or F)	t: 55.69 C	
Read hold status	ho[ld]	ho	ho:(Closed or Open), 9999.99 (C or F)	ho: Open, 75.0 C	
<b>Secondary Menu</b>					
Read proportional band setting	pr[op-band]	pr	pb: 999.9	pb: 15.9	
Set proportional band to n	pr[op-band]=n	pr=8.83			Depends on Configuration
Read cutoff setting	c[utoff]	c	c: 9999 (C or F)	c: 620 C, in	
Set cutoff setting:	c[utoff]=n/r[eset]				Temperature Range
Set cutoff to n degrees	c[utoff]=n	c=500			
Reset cutoff now	c[utoff]=r[eset]	c=r			
Read heater power (duty cycle)	po[wer]	po	p%: 9999	po: 1	
<b>Ramp and Soak Menu</b>					
Read number of programmable set-points	pn	pn	pc: 9	pn: 2	
Set number of programmable set-points to n	pn=n	pn=4			1 to 8
Read programmable set-point number n	ps[n]	ps3	psn: 9999.99 (C or F)	ps1: 50.00 C	
Set programmable set-point number n to n	ps[n]=n	ps3=50			1 to 8, Instrument Range
Read program set-point soak time	pt	pt	ti: 999	ti: 5	
Set program set-point soak time to n minutes	pt=n	pt=5			0 to 500
Read program control mode	pc	pc	prog: (OFF or ON)	prog: OFF	
Set program control modes:	pc=g[0]/s[top]/c[ont]				GO or STOP or CONT
Start program	pc=g[0]	pc=g			
Stop program	pc=s[top]	pc=s			
Continue program	pc=c[ont]	pc=c			
Read program function	pf	pf	pf: 9	pf: 3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9 Digital Communication Interface

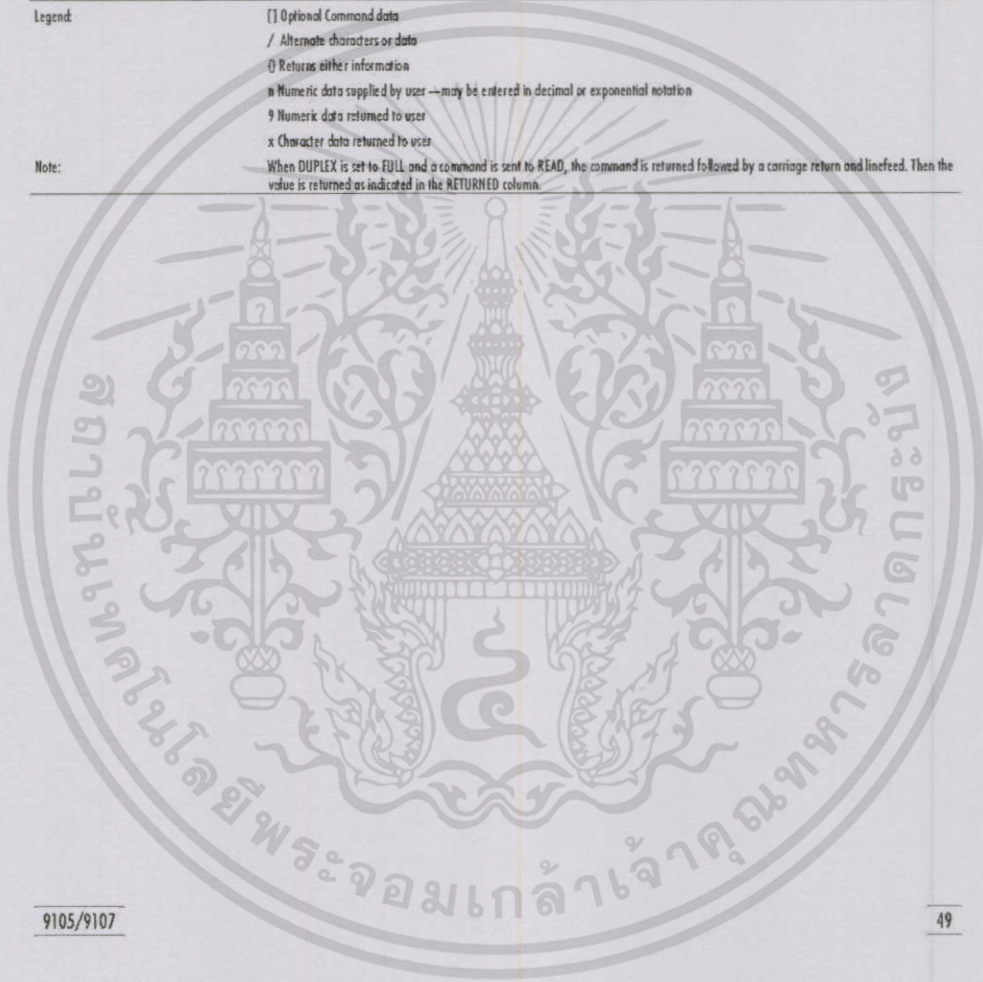
## Communications Commands Continued

Command Description	Command Format	Command Example	Returned	Returned Example	Acceptable Values
Set program function to <i>n</i>	pf= <i>n</i>	pf=2			1 to 4
<b>Configuration Menu</b>					
<b>Probe Menu</b>					
Read R0 calibration parameter	r[0]	r	r0: 999.999	r0: 100.578	
Set R0 calibration parameter to <i>n</i>	r[0]= <i>n</i>	r=100.324			98.0 to 104.9
Read ALPHA calibration parameter	al[phi]	al	al: 9.9999999	al: 0.0038573	
Set ALPHA calibration parameter to <i>n</i>	al[phi]= <i>n</i>	al=0.0038433			.00370 to .00399
Read DELTA calibration parameter	de[ta]	de	de: 9.99999	de: 1.46126	
Set DELTA calibration parameter to <i>n</i>	de[ta]= <i>n</i>	de=1.45			0.0 to 2.9
Read BETA calibration parameter	be[ta]	be	be: 9.999	be: 0.342	
Set BETA calibration parameter to <i>n</i>	be[ta]= <i>n</i>	be=0.342			-100.0 to 100.0
<b>Operating Parameters Menu</b>					
Set temperature units:	u[nits]=c/f				C or F
Set temperature units to Celsius	u[nits]=c	u=c			
Set temperature units to Fahrenheit	u[nits]=f	u=f			
Read cutoff mode	cm[ode]	cm	cm: (xxxx)	cm: AUTO	
Set cutoff mode:	cm[ode]=r[eset]/a[uto]				RESET or AUTO
Set cutoff to be reset manually	cm[ode]=r[eset]	cm=r			
Set cutoff to be reset automatically	cm[ode]=a[uto]	cm=a			
Read approach setting	ap[proach]	ap	ap: 9	ap: 5	
Set approach setting to <i>n</i> degrees	ap[proach]= <i>n</i>	ap=15			0 to 20°C
Read stability	ts	ts	ts: 9	ts: 0.5	
Set soak stability to <i>n</i> degrees	ts= <i>n</i>	ts=1			.01 to 4.99°C
<b>Serial Interface Menu</b>					
Read serial sample setting	sa[mple]	sa	sa: 9	sa: 1	
Set serial sampling setting to <i>n</i> seconds	sa[mple]= <i>n</i>	sa=0			0 to 4000
Set serial duplex mode:	du[plex]=f[ull]/h[alf]				FULL or HALF
Set serial duplex mode to full	du[plex]=f[ull]	du=f			
Set serial duplex mode to half	du[plex]=h[alf]	du=h			
Set serial linefeed mode:	lf[eed]=on/off				ON or OFF
Set serial linefeed mode to on	lf[eed]=on	lf=on			
Set serial linefeed mode to off	lf[eed]=off	lf=off			
<b>Calibration Menu (WARNING – changing the following calibration values may change the accuracy of the instrument.)</b>					
Read B0 calibration parameter	*b0	*b0	b0: 9	b0: 0	
Set B0 calibration parameter to <i>n</i>	*b0= <i>n</i>	*b0=0			-999.9 to 999.9
Read B0 calibration parameter	*b0	*b0	b0: 999.99	b0: 156.25	
Set B0 calibration parameter to <i>n</i>	*b0= <i>n</i>	*b0=156.25			-999.9 to 999.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Communications Commands Continued

Command Description	Command Format	Command Example	Returned	Returned Example	Acceptable Values
These commands are only used for factory testing.					
Read software cutout mode	*sco	*sco	sco: (ON or OFF)	sco: ON	
Set software cutout mode:	*sco=ON/OFF[F]				ON or OFF
Set software cutout mode on	*sco=ON	*sco=on			
Set software cutout mode off	*sco=OFF[F]	*sco=off			
Miscellaneous (not on menus)					
Read firmware version number	*ver[ <i>size</i> ]	*ver	ver.9999.9.99	ver.9185.3.54	
Read structure of all commands	h[ <i>lp</i> ]	h	list of commands		
Legend:	[] Optional Command data / Alternate characters or data {} Returns either information n Numeric data supplied by user—may be entered in decimal or exponential notation 9 Numeric data returned to user x Character data returned to user				
Note:	When DUPLEX is set to FULL and a command is sent to READ, the command is returned followed by a carriage return and linefeed. Then the value is returned as indicated in the RETURNED column.				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การใช้งาน ADO เพื่อเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล Access



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ADO Data Control

ADO Data Control เป็นตัว Control ที่ได้รับการออกแบบให้สนับสนุนเทคโนโลยี ADO ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ใน Visual Basic 6

### การรวมกับข้อมูล

เทคโนโลยีการรวมข้อมูล หมายถึง เมื่อมีการวางตัว control ลงบนฟอร์มแล้ว และรวมตัว control บางส่วนหรือทั้งหมดเข้ากับตัว control อีกตัว เช่น data control ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล data control ให้ผู้ใช้สามารถเลื่อนไปยังเรคคอร์ดต่างๆ ในฐานข้อมูล เมื่อมีการเรคคอร์ดใหม่ ค่าของฟิลด์จะปรากฏ ตัว bound control เมื่อมีการปรับค่าในตัว control การเปลี่ยนค่าจะส่งไปที่ฐานข้อมูล

การรวมข้อมูลของ ADO เป็นการปฏิบัติ เทคโนโลยีการแสดงผลข้อมูลจากฐานข้อมูล ประการแรก ผู้ใช้อาจจะไม่ได้ทำงานกับฐานข้อมูลตลอดเวลา ซึ่งใน Visual Basic 6 ไม่ได้กล่าวถึงตัว bound control และ data control แต่กล่าวถึง data consumer ที่ผูกติดกับแหล่งข้อมูล ประการต่อๆ Visual Basic มี data consumer หลายประเภท เช่น ตัว intrinsic control หรือตัว control ภายนอก, class, COM, component, ตัว control แบบ Homemade ActiveX (หรือ User control), หรือ Data Report designer และมีแหล่งข้อมูลหลายประเภทที่สามารถเลือกได้ เช่น ตัว control แบบ ADO Data, class, COM component, User control หรือ Data Environment designer การเลือกแหล่งข้อมูลและ consumer จะทำให้แบบแผนการรวมข้อมูลมีความยืดหยุ่นในโปรแกรมประยุกต์ที่ศึกษา data control แบบดั้งเดิม เมื่อมีการใช้การรวมข้อมูลของ ADO ซึ่งไม่ได้เป็นการเชื่อมแบบสถาปัตยกรรม 2-tier เนื่องจากการประยุกต์ไม่ได้รวมโดยตรงกับฟิลด์ในฐานข้อมูล แต่สามารถใช้ตัวกลาง COM component เพื่อที่จะใช้เครื่องมือสำหรับการออกแบบตามสถาปัตยกรรม 3-tier ที่การประมวลผลสามารถทำได้ที่เครื่องลูกข่าย เครื่องแม่ข่ายหรือเครื่องอื่นได้

### กลไกการรวม

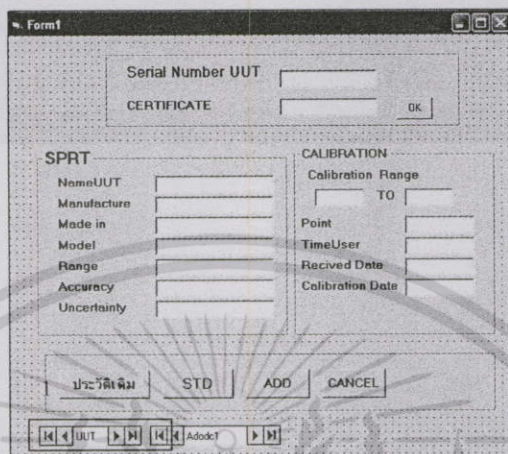
ADO Data control สามารถรวมตัว control ที่ต่างกัน และนำไปประยุกต์กับ data source หรือ consumer อื่นเนื่องจาก ADO Data control ไม่ได้เป็นตัว intrinsic control ดังนั้นการนำมาใช้ต้องเพิ่มตัว control เข้ามาด้วยวิธีการดังนี้

1. ที่เมนู Project เลือก Components (Project -> Components) หรือคลิกเมาส์ปุ่มขวามือ Tool Box แล้วเลือก Components จากเมนู popup
2. เมื่อได้อะลือกบ็อกซ์ Components ปรากฏขึ้นให้เลื่อนรายการไปที่ Microsoft ADO data control 6.0 (OLE DB) ให้คลิกที่ check box ด้านหน้า แล้วคลิกปุ่ม OK
3. ADO data control จะได้รับการแทรกที่ Tool Box โดยมีชื่อย่อ Adodc

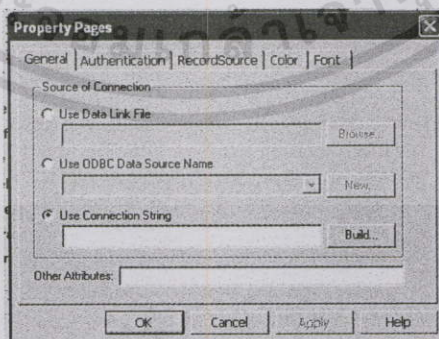
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเพิ่ม Adodc (ADO data control) บนฟอร์ม

1. จากโปรแกรมที่ได้ทำไว้มีส่วนที่จะต้องใส่ Adodc ในการเชื่อมต่อฐานข้อมูลหลายส่วน จึงขอคัดตัวอย่างมาบางส่วนดังรูป



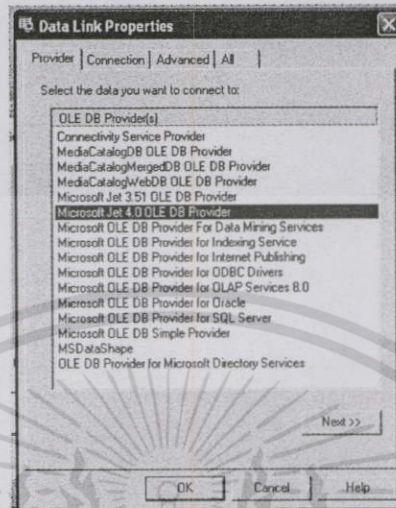
2. คลิกที่ Tool ของ Adodc บน Toolbox แล้ววางลงบนฟอร์มในตำแหน่งที่ 1 ตามปกติควรอยู่ด้านล่างของฟอร์ม แล้วกำหนดคุณสมบัติ Align เป็น 2-vbAlignButton เพื่อให้สามารถปรับขนาดตามฟอร์มได้
3. สร้าง Connection สำหรับการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล
4. ที่เมนู View เลือก Property Pages (View -> Property Pages) หรือคลิกเมาส์ปุ่มขวาแล้วเลือก Property Pages
5. บนไดอะล็อกบ็อกซ์ของ Property Pages ที่แท็บ General ให้กำหนดติดต่อกับแหล่งข้อมูลได้ 3 แบบ คือ ไฟล์ Data Link, ODBC Data Source Name (DSN), และ Connection String ในงานวิจัยเลือกใช้ Connection String



ให้คลิกที่ปุ่มตัวเลือกของ Connection String เมื่อช่องข้อความด้านล่าง Connection String เปลี่ยนสีขาวให้คลิกปุ่ม Build ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ของ Data Link Properties ที่หน้าของแท็บ Provider ให้เลือก Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider แล้วคลิกปุ่ม Next

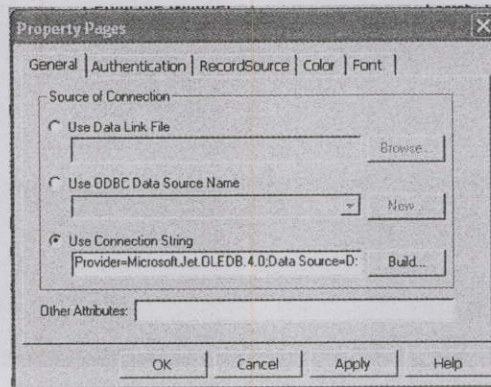


7. ที่แท็บ Connection ให้คลิกที่ปุ่มด้านหลังช่องข้อความของ Select or Enter Database Name จะปรากฏ Window ของ Select Access Database ให้เลือกรฐานข้อมูล (ตามตัวอย่างเลือกจาก D:\DTAC\Calibration3.mdb) คลิกปุ่ม Open ชื่อของฐานข้อมูลและพาร์ทจะปรากฏในช่องข้อความหมายเลข 1 ของแท็บ Connection หรือพิมพ์พาร์ทและชื่อฐานข้อมูลลงในช่องข้อความเอง

ในช่องข้อความ User Name ใช้สำหรับกำหนดชื่อผู้ใช้ที่สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลได้ ในที่นี้กำหนดเป็น Admin หมายถึงผู้ใช้ที่สามารถเข้าถึงทุกส่วนของฐานข้อมูลได้ ส่วนช่อง Password สำหรับการกำหนดรหัสผ่านเข้าฐานข้อมูล

คลิกปุ่ม Test Connection เมื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง ADO data control กับฐานข้อมูลที่เลือกถ้าสามารถติดต่อกันได้ จะปรากฏข้อความ "Test Connection Succeeded" ให้คลิกปุ่ม OK

8. ที่ Data Link Properties ให้คลิกปุ่ม OK เพื่อไปยัง Property Page จะปรากฏพารามิเตอร์ของการติดต่อระหว่าง ADO data control กับฐานข้อมูลในช่อง Connection String



9. คลิกที่แท็บ Record source บน Property Page ให้เลือก 2-adCmdTable ในช่อง Command Type เพื่อการติดต่อกับ table จากนั้นช่อง Table or Stored Procedure Name จะเปลี่ยนเป็นสี่ขาวและมีรายชื่อ table ให้เลือก table ชื่อ tblUUT

10. คลิกปุ่ม OK

11. วาด Text Box และกำหนดค่าคุณสมบัติให้กับ Text box ทุกตัวที่แสดงค่าจากฐานข้อมูล โดยที่ ส่วนของ DataField นั้นจะต้องตรงกับกับ Field ของ Access จากตัวอย่างสามารถที่ จำจำแนกได้ว่า Text Box เชื่อมต่อกับ Field ไหนของ Access ได้ดังตารางต่อไปนี้

Text Box VB	Field Access	Text Box VB	Field Access
txtserialuut	serialNoUUT	txtrange	UUTRange
txtreceive	OrderID	txtstart	StartRange
txtnameuut	UUTName	txtend	EndRange
txtmodel	UUTManufacturer	txtpoint	Point
txtmanu	UUTModel	txtTimeuser	UserTime
txtmadein	UUTMadeIn	txtcaldate	ReceivedDate
txtuncer	UUTUncer	txtcalibretion	IssueDate
txtaccuracy	UUTAccuracy		

12. ทดลองการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล โดยการสั่งเริ่มโปรแกรม แล้วเทียบกับค่าที่อยู่ในฐานข้อมูล

The image shows two screenshots from a software application. The top screenshot is a form titled 'Form1' with the following fields:

- Serial Number UUT: [ ]
- CERTIFICATE: T001 [OK]
- SPRT section:
  - NameUUT: STD
  - Manufacture: KMITL
  - Made in: Thailand
  - Model: PT100
  - Range: 0 to 400
  - Accuracy: 0.1
  - Uncertainty: 0.1
- CALIBRATION section:
  - Calibration Range: 25 TO 100
  - Point: 16
  - TimeUser: 2:35:06
  - Received Date: 15/8/2551
  - Calibration Date: 15/9/2551
- Buttons: ประวัติเดิม, STD, ADD, CANCEL
- Navigation: < UUT >, < Adoda1 >

The bottom screenshot shows a table titled 'tblUUT : Table' with the following data:

serialNoUUT	OrderID	UUTName	UUTManufacturer	UUTModel	UUTMadeln	UUTUnce	UUTAccu	UUTRange	UUTChannel	StartRange	EndRange	Point
se001	T000	Thermocouple	Polo	ws5op15	Thai	2	1	0 to 300		150	250	
KMITLD1	T0001	STD	KMITL	PT100	Thailand	0.1	1	0 to 400		25	100	
KMITLD2	T0002	UUT4	KMITL	PT100	Thailand	5	1	0 to 400		25	100	
KMITLD3	T0003	UUT2	KMITL	PT100	Thailand	2	2	0 to 400		25	100	
Ser	T001	LDG	h	op-12	l	2	1	1	1	2	2	2
*										0	0	

รูปแสดงฐานข้อมูลที่โปรแกรมทำการเชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

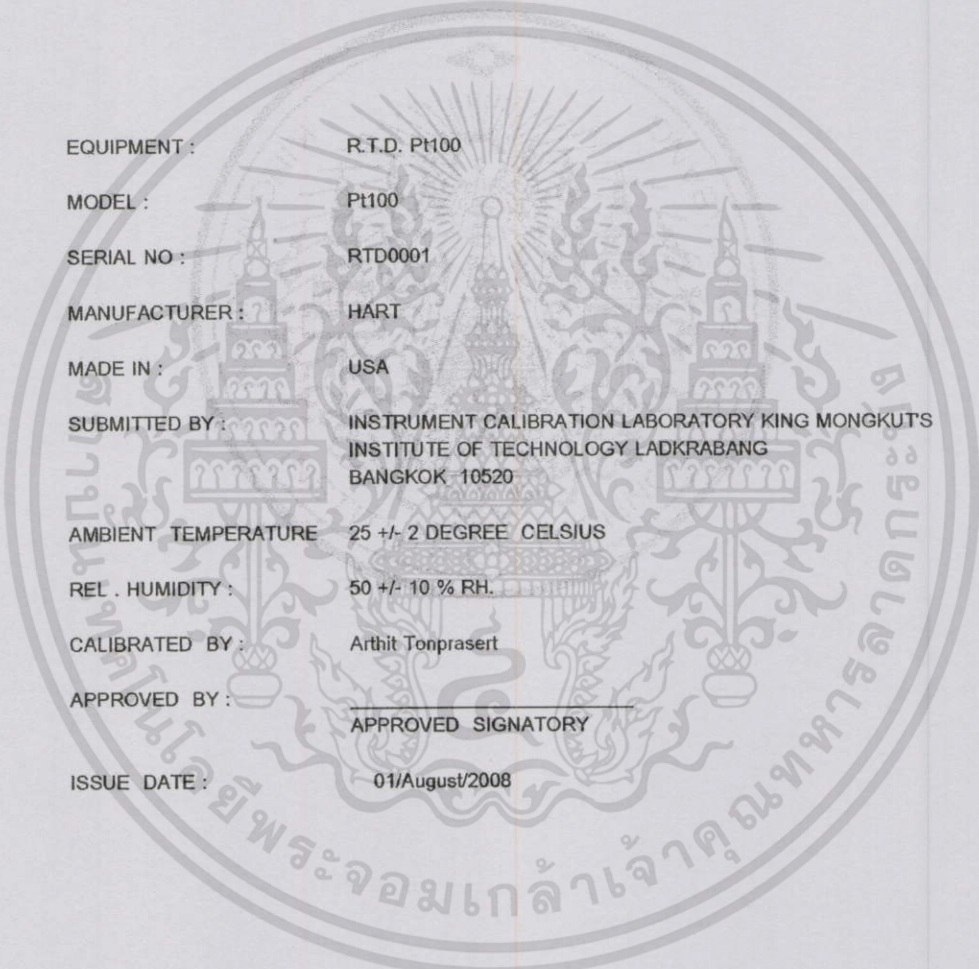
ตัวอย่างใบรับรองผลที่ได้จากโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cert . No . : 0001

Page.No : 1 of 3



EQUIPMENT : R.T.D. Pt100  
MODEL : Pt100  
SERIAL NO : RTD0001  
MANUFACTURER : HART  
MADE IN : USA  
SUBMITTED BY : INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY KING MONGKUT'S  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
BANGKOK 10520  
AMBIENT TEMPERATURE 25 +/- 2 DEGREE CELSIUS  
REL . HUMIDITY : 50 +/- 10 % RH.  
CALIBRATED BY : Arthit Tonprasert  
APPROVED BY : \_\_\_\_\_  
APPROVED SIGNATORY  
ISSUE DATE : 01/August/2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECEIVED DATE : 7/30/2008

CALIBRATION DATE : 8/1/2008

PROCEDURE USED :-

This instrument was calibration by comparison with Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) and immersion depth 150 mm .

The Temperature scale used was based on ITS -90

Condition of this result of calibration

1. Reference standard instrument :-

<u>Instrument</u>	<u>Model</u>	<u>Serial No.</u>	<u>Cert No</u>	<u>Due Date</u>
1) HART	9105	66149	02T1897	12 July 2004
2) SPRT	18004B0906B1	593670	37913	4 July 2004

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only

RESULT OF TEST:-

<u>SET POINT ( DEGREE C )</u>	<u>INDICATOR READING ( DEGREE C )</u>	<u>STANDARD READING ( DEGREE C )</u>	<u>ERROR ( DEGREE C )</u>	<u>UNCERTAINTY OF MEASUREMENT ( + / - DEGREE C )</u>
25	25.397	28.102	2.705	0.001
30	30.585	33.243	2.659	0.005
35	35.674	38.459	2.786	0.003
40	40.748	43.446	2.698	0.010
45	45.762	48.404	2.642	0.015
50	50.813	53.801	2.988	0.001
55	55.993	59.066	3.074	0.003
60	61.104	64.299	3.195	0.001
65	66.181	69.372	3.192	0.003
70	71.239	74.483	3.243	0.003

The reported uncertainty of measurement was based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k = 2.00$ , providing a level of confidence of approximately 95%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECEIVED DATE : 7/30/2008

CALIBRATION DATE : 8/1/2008

PROCEDURE USED :-

This instrument was calibration by comparison with Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) and immersion depth 150 mm .

The Temperature scale used was based on ITS -90

Condition of this result of calibration

1. Reference standard instrument :-

<u>Instrument</u>	<u>Model</u>	<u>Serial No.</u>	<u>Cert No</u>	<u>Due Date</u>
1) HART	9105	66149	02T1897	12 July 2004
2) SPRT	18004B0906B1	593670	37913	4 July 2004

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only

RESULT OF TEST:-

<u>SET POINT ( DEGREE C )</u>	<u>INDICATOR READING ( DEGREE C )</u>	<u>STANDARD READING ( DEGREE C )</u>	<u>ERROR ( DEGREE C )</u>	<u>UNCERTAINTY OF MEASUREMENT ( + / - DEGREE C )</u>
75	76.283	79.587	3.304	0.005
80	81.269	84.700	3.431	0.001
85	86.447	89.985	3.538	0.003
90	91.456	94.954	3.498	0.010
95	96.415	100.107	3.692	0.003
100	101.516	105.189	3.673	0.005

The reported uncertainty of measurement was based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k = 2.00$ , providing a level of confidence of approximately 95%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



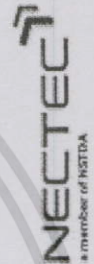
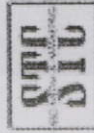
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29  
29<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (ECON-29)

9-10 พฤศจิกายน 2549

มหาวิทยาลัยวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



- สภา**
- นายกฯรัฐมนตรี**
- รัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ**
- อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**
- ประธานคณะกรรมการประชุม ECON-29**
- คณะกรรมการ**
- สภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย**
- คณะกรรมการประชุม ECON-29**
- คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิการประชุม ECON-29**
- คณะกรรมการจัดการประชุม ECON-29**
- ผู้จัดการสหภาพการประชุมน ECON-29**
- คณาจารย์**
- นักวิจัย**
- นักวิชาการ**
- นักวิจัยที่เข้าร่วมงานวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)**



Power search

Close

Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เมื่อ  $x_i$  เป็นค่าของปริมาณที่วัดครั้งที่  $i$  ของตัวแปร  $x$  การกระจายของค่าที่ได้จากการวัดซ้ำๆ ค่าเฉลี่ยที่ขึ้นได้จะแตกต่างกัน แต่สามารถพิจารณาการกระจายเหล่านี้ได้ด้วยการหาการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์แบบมาตรฐาน (Standard deviation: SD) อีกค่า ๑ มีค่าเป็นหน่วยปริมาตร หรือ ปริมาตร (Q)

$$Sd = \left\{ \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \mu}{n} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

เมื่อ  $x_i$  -ค่าที่วัดได้ในครั้งที่  $i$   $\mu$  -ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล  
ในการมีที่แปรผันได้จำนวนครั้งไม่มาก การพิจารณาว่า  
เนื่องแบบมาตรฐานจะเป็นตัวแปรของ  $z$  หรือ  $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$  ซึ่ง  
สมการ (3) และค่าที่บอกมาตรฐานของค่าที่วัด (Standard deviation of mean:  $\sigma$ ) จะได้จากสมการ (4)

$$Sd = \left\{ \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{n-1} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{Sd}{\sqrt{n}}$$

จากสมการ (๔) ค่า  $\sigma$  หรือเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน  
ของ Type A ได้จากสมการ (5)

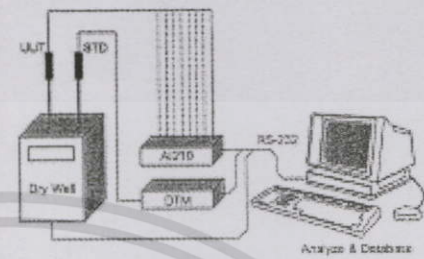
$$u(x_i) = \sigma \quad (5)$$

ระบบการสอบเทียบอุณหภูมิด้วยตัววัดอุณหภูมิในกรณีวัดที่ใช้  
วิธีสอบเทียบแบบ SPAT (Standard Platinum Resistance Thermometer) ซึ่ง  
การสอบเทียบวิธีนี้จะใช้โลหะบริสุทธิ์ เช่นกันมาตรฐาน (RTD) จะใช้  
สารที่มีอุณหภูมิกับอุณหภูมิตัววัดอุณหภูมิ (UUT) ที่สอบเทียบ  
เป็นเช่น Thermocouple หรือ RTD แต่เนื่องจากโดยปกติแล้วโลหะจะมี  
ค่าความคงตัวที่  $\approx 0.5^\circ\text{C}$  ดังนั้นค่าความคงตัวที่สอบเทียบกับ  
แบบ จะมีค่า  $\approx 2^\circ\text{C}$

3. ระบบการปฏิบัติงาน

ส่วนสำคัญของระบบการสอบเทียบอุณหภูมิด้วยตัววัดอุณหภูมิ  
ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย Dry Well ( $500^\circ\text{C}$ ) ชุดมาตรฐานอุณหภูมิ  
(AL210) ชุดพีเรอเมเตอร์ในโหมด (PMT) ชุดมาตรฐาน RTD รุ่น TC (8) 8-

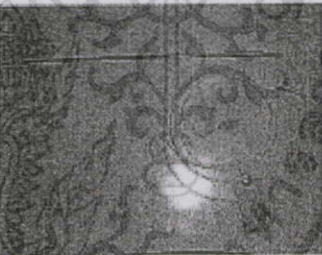
600 °C และชุดพีเรอเมเตอร์ที่ปรับให้ตรงกับระบบข้อมูลเพื่อประมวลผล  
ผลของข้อมูล



รูปที่ 1. ชุดอุปกรณ์การสอบเทียบอุณหภูมิ

4. การเชื่อมโยงระบบ

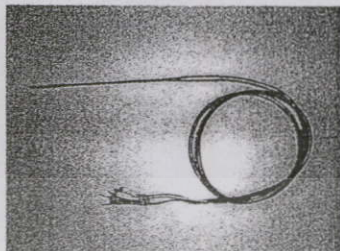
การสอบเทียบอุปกรณ์ STD ของมาตรฐาน (รูปที่ ๑) กับ  
อุปกรณ์ UUT (รูปที่ ๒) จะวัดอุณหภูมิด้วยขนาดของอุณหภูมิ  
อุณหภูมิที่  $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$  และค่าที่บอกมาตรฐานของค่าที่วัด (Standard deviation of mean:  $\sigma$ ) จะได้จากสมการ (4)  
อุณหภูมิที่อ่านได้จากอุปกรณ์ STD จากชุด DTM จะส่งไปยัง  
คอมพิวเตอร์มาตรฐาน IEEE-488 ใช้เป็นคอมพิวเตอร์ที่ประมวลผล  
และเก็บข้อมูล เพื่อให้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับทดสอบแบบอัตโนมัติ  
ใช้กับอุปกรณ์ UUT แต่ละตัว โดยได้โปรแกรม User Basic ในกรณีที่  
อุณหภูมิของอุณหภูมิในโหมด (PMT) จะอยู่ในสัญญาณ  $z$  ของ  
ค่าที่บอกมาตรฐาน (มาตรฐานอุณหภูมิที่สอบเทียบมาตรฐาน 8 ค่า)



รูปที่ 2. ลักษณะของ STD และ UUT

CT12

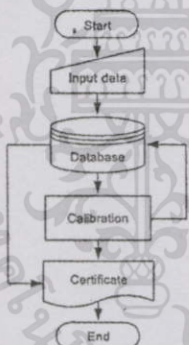
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. UUT ชนิด PT100 ที่นำมาสอบเทียบ

5. การทำงานของโปรแกรม

ระบบการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ เริ่มจากกรณำอุปกรณ์ UUT มาทำการป้อนข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลผู้กร้ ข้อมูลพนักงาน และ Serial No. ของ UUT ที่ต้องการสอบเทียบ จากนั้นโปรแกรมจะทำการค้นหาประวัติในฐานข้อมูล ถ้ามีประวัติอยู่แล้วจึงเริ่มกระบวนการสอบเทียบและออกใบรับรองให้ตามลำดับ โดยสามารถเลือกวิธีการสอบเทียบได้ 3 กรณีจากโปรแกรมคือ อุปกรณ์ใหม่สำหรับการสอบเทียบใหม่ อุปกรณ์เดิมสำหรับการสอบเทียบใหม่ และอุปกรณ์เดิมสำหรับการสอบเทียบเดิม ดังแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 4

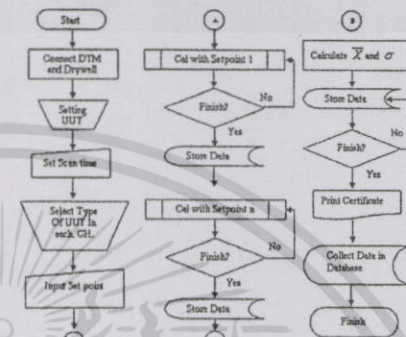


รูปที่ 4. แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม

6. กระบวนการของการสอบเทียบ

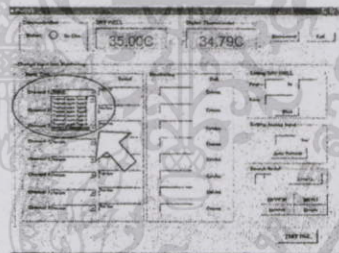
คอมพิวเตอร์จะทำการรับ - ส่งข้อมูลเพื่อติดต่อกับ Dry well และชุดของ DTM ทางพอร์ตคอมพิวเตอร์พร้อมกันแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้

จาก UUT เมื่อบุคลากรผู้ปฏิบัติงานกำหนดชนิดของ UUT และตั้งค่าจุดในกรวด (Set point) ของอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบแล้ว โปรแกรมจะเริ่มกระบวนการสอบเทียบตามค่าที่ตั้งไว้ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 35 °C ดังแสดงแผนภูมิขั้นตอนของการสอบเทียบในรูปที่ 5



รูปที่ 5. แผนภูมิขั้นตอนการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

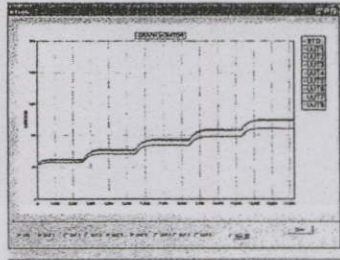
ในกรณีที่ UUT เป็นอุปกรณ์เดิมที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้วและต้องการสอบเทียบพร้อมกันหลายๆ ตัวเมื่อป้อน Serial No. ให้กับคอมพิวเตอร์และเลือกช่องที่ต้องการสอบเทียบจากชุด AI210 แล้ว โปรแกรมจะค้นหาข้อมูลประวัติจากรฐานข้อมูลที่เคยบันทึกไว้โดยอัตโนมัติ และส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับช่องที่เลือกไว้ของชุด AI210 ซึ่งสามารถแสดงการเลือกชนิด UUT และช่องที่ใช้สอบเทียบได้รูปที่ 6



รูปที่ 6. แสดงการเลือกช่องที่ 1 จากชุด AI210

CT12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11. กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

STANDARD	STANDARD	STANDARD	STANDARD
NAME	UNIT	UNIT	UNIT
DATE	DATE	DATE	DATE
CONTACT	CONTACT	CONTACT	CONTACT

PERIOD OF TEST	PERIOD OF TEST	PERIOD OF TEST	PERIOD OF TEST
DATE	DATE	DATE	DATE
TIME	TIME	TIME	TIME
TIME	TIME	TIME	TIME
TIME	TIME	TIME	TIME

รูปที่ 13. แสดงข้อมูลทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการสอบเทียบ

รูปที่ 12 แสดงฐานข้อมูลที่ได้จากการทำแนวของคอมพิวเตอร์ เช่น ทำมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อน ทำจุดในการวัด และค่าความไม่แน่นอน เพื่อนำไปไว้รอการปรับรูป รูปที่ 13 เป็นกราฟแสดงข้อมูลทั้งหมดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนสุดท้ายก่อนพิมพ์ใบรับรองให้กับ UAT แต่ละตัวที่ผ่านการสอบเทียบ

Type	Standard	Unit	Date	Time
10	100	mm	1/1/98	10:00
10	100	mm	1/1/98	10:00
10	100	mm	1/1/98	10:00
10	100	mm	1/1/98	10:00

รูปที่ 12. แสดงค่าคุณสมบัติที่ได้จากการสอบเทียบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า การนำระบบสอบเทียบมาไว้ร่วมกับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้วนั้น ค่าที่ได้จากการสอบเทียบมีความถูกต้อง แม่นยำ และสะดวกในการเก็บ บันทึกข้อมูล และสามารถที่จะสอบกลับได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการเก็บข้อมูลลงในระบบฐานข้อมูล

8. บทสรุป

จากการทดลองระบบการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยอัตโนมัติที่ได้พัฒนาขึ้น ผลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ และการทำงาน ของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถลดความคิดพลาดอัน เกิดจากการปฏิบัติงานของบุคลากรจริงได้ ตลอดจนโปรแกรมมีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงหรือเลือกใช้ค่าต่างๆ ที่เหมาะสมกับการสอบเทียบ สะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัวย้อนหลังจากระบบฐานข้อมูล ใช้ช่วงเวลาสำหรับการสอบเทียบน้อยลง ด้วยหลักการของ Data Logger ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จึงสามารถสอบเทียบอุปกรณ์ UAT ได้พร้อมกันหลายๆ ตัว อีกทั้งเป็นการเก็บประสิทธิภาพในการสอบเทียบให้มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นการคำนวณและประมวลผลโดยอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิศักดิ์ หงษ์ธนาพาณิช, Visual Basic 4.0 professional, ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น, กรุงเทพฯ, 2539.
- [2] พีชิต สุขเจริญพงษ์, การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม, ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น, กรุงเทพฯ, 1978.
- [3] Alan S. Morris, Measurement and calibration requirements for quality assurance to ISO 9000, John Wiley, Chichester, 1997.
- [4] Richard S. Figliola, Donald E. Bessley, Theory and design for mechanical measurements, John Wiley, New York, 1991.
- [5] The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, Edition 1, United Kingdom Accreditation Service, England, 1997.

CT12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นาย อาทิตย์ ต้นประเสริฐ  
วัน เดือน ปี เกิด 3 มกราคม 2525  
ที่อยู่ 5 ซอยนนทบุรี 31 ตำบลท่าทราย อำเภอ เมือง  
จังหวัด นนทบุรี 11000 โทร.0-2526-7087  
ประวัติการศึกษา 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประสบการณ์การทำงาน  
2547 - ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกร บริษัทพีริไซซ์อิเล็กทรอนิกส์จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้