ระบบการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

DBMS FOR TELEOPERATE TEMPERATURE CALIBRATION VIA INTERNET

วาทการ มูลไชยสุข
WATAKARN MOONCHAISOOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

ระบบการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

DBMS FOR TELEOPERATE TEMPERATURE CALIBRATION VIA INTERNET

วาทการ มูลไชยสุข

WATAKARN MOONCHAISOOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

DBMS FOR TELEOPERATE TEMPERATURE CALIBRATION VIA INTERNET

WATAKARN MOONCHAISOOK

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

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต
ชื่อนักศึกษา	นาย วาทการ มูลไชยสุข
รหัสนักศึกษา	45060411
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต วัตถุประสงค์เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการสอบเทียบ โดยเน้นการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเชิงไฟฟ้า และใช้วิธีการสอบเทียบตามมาตรฐาน วิธีการนี้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบหรือหัวหน้างานสามารถควบคุม และตรวจสอบคุณภาพการสอบเทียบ ณ ที่สำนักงานได้โดยอาศัยโปรแกรมเว็บเบราเซอร์ทั่วไป เช่น โปรแกรม Internet Explorer ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เจ้าหน้าที่จะติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านพอร์ทอนุกรมและ GPIB (IEEE 488) จากนั้นซอฟต์แวร์จะดำเนินขั้นตอนการสอบเทียบตามค่าที่กำหนดทางอินเตอร์เน็ต คำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด รายงานผลการสอบเทียบ และบันทึกผลลงในฐานข้อมูล ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตเปรียบเทียบกับการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ แสดงให้เห็นว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ได้ค่าใกล้เคียงกันมาก และวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตสามารถลดเวลาในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีแบบ PT100 ได้ 25.93% และตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิ้ลแบบ K และ J ลดได้ 24.44 %

Thesis	DBMS for Teleoperate Temperature Calibration via Internet
Student	Mr. Watakarn Moonchaisook
Student ID	45060411
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Prasit Julsereewong

ABSTRACT

This thesis is to present the teleoperate temperature calibration via internet. Objectives of this method are to decrease measurement error, to decrease human work reduction, to increase efficiency and comfort. This thesis emphasizes to calibrate thermoelectric probe, and reference working standard procedure. The principle of this method is special calibration of accreditation laboratory or senior technician who can performed in-house calibration by web browser, such as Microsoft Internet Explorer. At the laboratory site, the operator is only required to perform the measurement connection between the hardware and personal computer; hence a non specialized technician can work the calibration procedure. All apparatuses must have a communication interface in order to connect them to the personal computer via serial port and GPIB (IEEE 488) when the automatic calibration software runs. In this situation, the automatic calibration procedures can be implemented. The measured data are calculated for the errors and the approved uncertainty in temperature measurement of the Unit under Test (UUT). The measured data and the calculated data are recorded in the database system. The result of experiments between teleoperate temperature calibration via internet and manual calibration are equally value, and the development method used time less than manual calibration (RTD PT 100 = 25.93%, Thermocouple Type K, J = 24.44%).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ อ. ธีรวัฒน์ เทพมณี ผู้ที่ให้คำแนะนำที่มีค่ายิ่งและช่วยจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็น ทำให้การทำงานและการทดลองของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักยิ่ง พี่ๆ ทุกคนผู้คอยให้กำลังใจ กำลังความคิดมาโดยตลอด รวมถึงครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

วาทการ มูลไชยสุข

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....3

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....4

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6

2.1 พื้นฐานตัววัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเชิงไฟฟ้า.....6

2.1.1 เทอร์มอคัปเปิล (Thermocouples) 6

2.1.2 อาร์ทีดี (RTD: Resistance Temperature Detectors) 12

2.2 มาตรวิทยาเบื้องต้น.....15

2.2.1 นิยามศัพท์มาตรวิทยา.....15

2.2.2 มาตรฐานการวัด.....16

2.2.3 ความสอบกลับได้ของการวัด (Traceability of Measuring).....18

2.3 องค์ประกอบของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด.....20

2.3.1 บุคลากรผู้ทำการสอบเทียบ.....20

2.3.2 อุปกรณ์มาตรฐานการวัด.....21

2.3.3 สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ.....21

2.3.4 เอกสารมาตรฐานแสดงขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน.....22

2.3.5 ระบบคุณภาพในการสอบเทียบ.....23

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 หลักการในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด....24
2.4.1 แหล่งของความไม่แน่นอนในการวัด....25
2.4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A....26
2.4.3 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B....28
2.4.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม....30
2.4.5 ค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty)....30
2.4.6 การรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด....31
2.5 การสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต....32
2.5.1 การพัฒนาเว็บไซต์โดยใช้ ASP....33
2.5.2 การเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล....34
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....36

บทที่ 3 หลักการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ....39
3.1 การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ผู้สอบเทียบ (Manual Temperature Calibration) 39
3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ....40
3.2 การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ (Automatic Temperature Calibration) 44
3.2.1 ตัวอย่างโปรแกรมสอบเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัติของบริษัท Fluke Corporation (Hart Scientific Division) ® รุ่น 9938 MET/TEMP II Version 4.3....44

บทที่ 4 การพัฒนาการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....51
4.1 การเตรียมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต..51
4.1.1 การติดตั้งจัดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับสอบเทียบ....51
4.1.2 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์....52
4.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและวัดค่าอุปกรณ์สอบเทียบและฐานข้อมูล....56
4.3 การออกแบบฐานข้อมูล....64
4.3.1 การตั้งรหัสผ่านระบบฐานข้อมูล....65

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4 การพัฒนาเว็บไซต์สำหรับให้ผู้ปฏิบัติการสามารถควบคุมการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต....67

บทที่ 5. การใช้งานซอฟแวร์ เว็บไซต์ และผลการทดลอง....72
5.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนา....72
5.2 การทำงานของการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....73
5.3 การทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....75
5.3.1 ขั้นตอนของเจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบใช้งานซอฟต์แวร์....77
5.3.2 ขั้นตอนของผู้ปฏิบัติการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต โดยใช้โปรแกรมเว็บเบราเซอร์....89
5.4 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....94
5.4.1 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT-100....94
5.4.2 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K....95
5.4.3 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J....96
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....105

เอกสารอ้างอิง....107

ภาคผนวก....110
ภาคผนวก ก. รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง....111
ภาคผนวก ข. รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....125
ภาคผนวก ค. ตัวอย่าง Source Code ของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ....137
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่....148

ประวัติผู้เขียน....155

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 จำนวนห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำแนกรายภาคในปี พ.ศ. 2544.....1

2.1 พิกัดความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) ของเทอร์มอคัปเปิลชนิดต่างๆ.....11

2.2 บทบาทของสถาบันมาตรวิทยาในการสอบเทียบและความสามารถสอบกลับได้.....19

2.3 ผลการวัดการวัดตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน.....24

2.4 การคำนวณค่าความผิดพลาด.....25

2.5 การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B.....29

4.1 รายละเอียดตารางในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์การสอบเทียบ.....64

5.1 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ผ่านอินเตอร์เน็ต.....94

5.2 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิด อาร์ทีดี แบบ PT100 ใช้ผู้สอบเทียบ.....94

5.3 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต.....95

5.4 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ใช้ผู้สอบเทียบ.....95

5.5 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J ผ่านอินเตอร์เน็ต.....96

5.6 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J ใช้ผู้สอบเทียบ.....96

5.7 เปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ (UUT) จากผลทดลองทั้งหมด.....97

5.8 เปรียบเทียบเวลาในการสอบเทียบของตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ จากผลทดลองทั้งหมด.....98

ก.1 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิอาร์ทีดี ชนิด PT 100.....111

ก.2 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ผ่านอินเตอร์เน็ต.....112

ก.3 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 ผ่านอินเตอร์เน็ต.....113

ก.4 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 โดยใช้ผู้สอบเทียบ....114

ก.5 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 โดยใช้ผู้สอบเทียบ.....115

ก.6 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิลชนิด K.116

ก.7 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต...117

ก.8 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต.....118

ก.9 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K โดยใช้ผู้สอบเทียบ.119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.10 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K โดยใช้ผู้สอบเทียบ....120
ก.11 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ผ่านอินเตอร์เน็ต....121
ก.12 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ผ่านอินเตอร์เน็ต....122
ก.13 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J โดยใช้ผู้สอบเทียบ.123
ก.14 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J โดยใช้ผู้สอบเทียบ....124
ข.1 รายละเอียดอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่น 9105 ของบริษัท Hart Scientific....125

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 วงจรการทดลองของซีเบ็ค....6
2.2 วงจรการทดลองของเพลเทียร์....7
2.3 กฎของโลหะแทรก....8
2.4 กฎของอุณหภูมิแทรก....8
2.5 การรักษาอุณหภูมิที่จุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ 0°C โดยใช้น้ำแข็ง....9
2.6 รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ด้วยวงจรไฟฟ้า....10
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิลชนิดต่างๆ....11
2.8 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดีแบบ 2 สาย....13
2.9 วงจรต่อใช้งานอาร์ทีดีแบบ 3 สาย....14
2.10 วงจรต่อใช้งานอาร์ทีดีแบบ 4 สาย....14
2.11 ภาพรวมของชั้นโพรโตคอล TCP/IP....33
2.12 การทำงานของเทคโนโลยี ASP....34
2.13 หลักการเว็บเพจที่พัฒนาจาก ASP เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล....35
3.1 วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน....39
3.2 วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน....40
3.3 ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานของบริษัท Hart Scientific Model 5627....40
3.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิยี่ห้อ YOKOGAWA Model 7563....41
3.5 อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ของเหลว ยี่ห้อ ISOTECTH Model 820....41
3.6 แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบแห้ง ยี่ห้อ Hart Scientific....42
3.7 การจัดวางเครื่องมือวัดและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน....43
3.8 ลักษณะการจุ่มตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ (ก) ภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ของเหลว (ข) ภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง....43
3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล....45
3.10 หน้าจอเริ่มต้นโปรแกรม MET/TEMP II Version 4.3....46
3.11 หน้าจอสำหรับกำหนดเครื่องมือวัดและแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ....47
3.12 หน้าจอสำหรับกำหนดค่าตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน....47
3.13 การกำหนดจุดอุณหภูมิสอบเทียบ....48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.14 หน้าจอสำหรับกำหนดค่าความไม่แน่นอนในการวัด....48

3.15 หน้าจอแสดงการสอบเทียบ....49

3.16 หน้าจอรายงานผลการสอบเทียบ....49

3.17 ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ....50

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอุณหภูมิ....51

4.2 การเชื่อมต่อสาย GPIB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์....52

4.3 ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน....53

4.4 อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน....53

4.5 พอร์ท GPIB (IEEE 488) ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐาน....53

4.6 พอร์ท GPIB (IEEE 488) ของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน....54

4.7 กล้องดิจิตอลและกล้อง IP....54

4.8 สายสัญญาณเชื่อมต่อกล้องดิจิตอล....54

4.9 สายเชื่อมต่อ GPIB (IEEE-488)....55

4.10 การ์ด GPIB (IEEE-488)....55

4.11 สายวัดสัญญาณจากตัววัดอุณหภูมิของบริษัท YOGOKAWA....55

4.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การสอบเทียบกับซอฟแวร์สำหรับสอบเทียบ....56

4.13 แผนภูมิแสดงการทำงานของการตรวจสอบรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก....57

4.14 แผนภูมิแสดงการทำงานของหน้าจอตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือวัด....57

4.15 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ....58

4.16 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD)....59

4.17 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลบุคลากรห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....60

4.18 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบ....61

4.19 หลักการทำงานของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ....62

4.20 หลักการทำงานของหน้าจอประวัติการสอบเทียบของห้องปฏิบัติการ....63

4.21 การกำหนดความสัมพันธ์ของตารางในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์การสอบเทียบอุณหภูมิ....65

4.22 การกำหนดรหัสผ่านของฐานข้อมูล Database.mdb....66

4.23 การกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงออบเจ็กต์ของผู้ใช้งาน....66

4.24 การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.25 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บเริ่มต้น (Default.asp)....68
4.26แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บกำหนดข้อมูล (DataUUT.asp)....69
4.27 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บสอบเทียบอุณหภูมิ....70
4.28 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บผลการสอบเทียบอุณหภูมิ....71
5.1 ซอฟต์แวร์มาตรฐานของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9930 (Interface-it)....72
5.2 ผลการทดสอบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเทียบกับซอฟต์แวร์มาตรฐาน....73
5.3 การทำงานของเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ....74
5.4 ตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีที่นำมาสอบเทียบ....75
5.5 การจัดอุปกรณ์และเครื่องมือวัด....75
5.6 หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้ล็อกอิน....77
5.7 หน้าจอหลัก....77
5.8 การตรวจสอบการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด....79
5.9 หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ....80
5.10 หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน....81
5.11 หน้าจอแสดงข้อมูลเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....81
5.12 ข้อมูลบริษัทหรือหน่วยงานที่ขอรับบริการสอบเทียบ....82
5.13 หน้าจอตรวจสอบข้อมูลการสอบเทียบ....83
5.14 การสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ....84
5.15 หน้าจอแสดงภาพที่ได้จากกล้องที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....84
5.16 หน้าจอตรวจสอบข้อมูลได้รับค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต....85
5.17 หน้าจอแสดงการวัดค่าการสอบเทียบ....85
5.18 กราฟแสดงค่าระหว่างตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบและตัวอุณหภูมิมาตรฐาน....86
5.19 ใบรับรองผลการสอบเทียบ....87
5.20 หน้าจอผลการสอบเทียบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล....88
5.21 ใบรายงานผลการสอบเทียบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....88
5.22 เว็บเพจเริ่มต้นการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต....89
5.23 รายละเอียดหน้าจอป้อนค่าสำหรับสอบเทียบ....90
5.24 รายละเอียดของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน....90

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.25 รายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน....91
5.26 รายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ....91
5.27 หน้าจอแสดงภาพที่ได้จากกล้องดิจิตอล....92
5.28 เว็บเพจแสดงการสอบเทียบ....93
5.29 เว็บเพจแสดงใบรายงานผลการสอบเทียบฝั่งผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ....93
5.30 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิด RTD แบบ PT100 กับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ....95
5.31 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K กับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ....96
5.32 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J กับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ....97
5.33 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ฝั่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....99
5.34 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ฝั่งอินเตอร์เน็ต....100
5.35 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ฝั่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบ....101
5.36 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ฝั่งอินเตอร์เน็ต....102
5.38 กราฟแสดงค่าตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต....103
5.39 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ฝั่งอินเตอร์เน็ต....104

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้ประกอบการหรือผู้ผลิตต้องเร่งพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ ดังนั้นจะต้องควบคุมคุณภาพของสินค้าให้สอดคล้องกับข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆที่ยอมรับ เช่น ISO9000 ISO14000 และกฎเกณฑ์สากลอื่นๆ ข้อกำหนดมาตรฐานที่กล่าวมาแล้วได้กำหนดให้ต้องมีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานของเครื่องมือวัด ดังนั้นการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการหรือผู้ผลิตจะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง [1]

โดยธรรมชาติเครื่องมือวัดส่วนใหญ่เมื่อนำมาใช้งานครั้งแรกผลการวัดจะถูกต้อง แต่เมื่อเวลาผ่านไปเครื่องมือวัดก็จะเริ่มอ่านค่าคลาดเคลื่อน เนื่องจากการเสื่อมสภาพทางองค์ประกอบของเครื่องมือวัดนั่นเอง จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) [2] โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ระหว่างเครื่องมือวัดที่ต้องการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงมาตรฐาน เพื่อหาความสัมพันธ์หรือปรับแต่งให้เครื่องวัดที่ได้รับการสอบเทียบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและจะต้องรายงานผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดนั้นๆ ด้วย

เมื่อผู้ประกอบการต้องการสอบเทียบเครื่องมือวัดของตนเองก็อาจทำได้หลายวิธี เช่น ขอรับบริการจากหน่วยงานหรือบริษัทที่ให้บริการสอบเทียบ หรือสร้างห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายในบริษัท แต่จากการสำรวจของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ [3] สรุปให้เห็นถึงโรงงานหรือบริษัทขนาดกลางและขนาดย่อม ขาดเจ้าหน้าที่และผู้เชี่ยวชาญที่จะทำหน้าที่สอบเทียบเครื่องมือวัดและบริษัทที่ให้การบริการสอบเทียบมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะรองรับความต้องการสอบเทียบเครื่องมือวัดของโรงงานและส่วนมากจะตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำแนกรายภาคในปี พ.ศ. 2545 [3]

จำนวนห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำแนกรายภาคในปี พ.ศ. 2545	
ภาค	**จำนวน (แห่ง)**
กรุงเทพมหานคร	53
ภาคกลาง (ไม่รวมกรุงเทพมหานคร)	14
ภาคตะวันออก	6
ภาคใต้	2
รวม	**75**

จากตารางที่ 1.1 พบว่าบริษัทที่ให้บริการสอบเทียบจะตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานครเป็นส่วนใหญ่ ทำให้โรงงานหรือบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่อยู่ภาคอื่นจะต้องใช้ระยะเวลานานในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น โรงงานไม่สามารถวางแผนการสอบเทียบได้ ซึ่งมีผลต่อการผลิตของโรงงาน บางบริษัทที่ให้บริการก็ยังใช้การสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ (Manual Calibration) [4] คือใช้เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวัดค่าและคำนวณผลการสอบเทียบเอง ทำให้การสอบเทียบเครื่องมือวัดในปริมาณมาก และซ้ำกัน มีผลให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty of Measurement) ทั้งยังเสี่ยงต่อความเสียหายของเครื่องมือวัดที่เกิดขึ้นจากการขนส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบอีก เมื่อพิจารณาสาขาที่มีความต้องการสอบเทียบ โดยพิจารณาผลการสำรวจของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติปี 2545 [3] พบว่าสาขาเครื่องมือวัดอุณหภูมิก็เป็นสาขาหนึ่งที่มีความต้องการสอบเทียบเป็นอย่างมาก ถ้าสามารถพัฒนาการให้บริการสอบเทียบในสาขานี้ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบให้น้อยลง ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

งานวิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต เพื่อเพิ่มความสามารถการบริการสอบเทียบให้มากยิ่งขึ้น วิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตเป็นการสอบเทียบอุณหภูมิที่นำเอาเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตมาช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญการสอบเทียบจากบริษัทหรือหน่วยงานที่ให้การรับรองมาตรฐานการสอบเทียบ หรือหัวหน้างานที่ต้องการสอบเทียบภายในหน่วยงาน แต่ไม่ต้องการเคลื่อนย้ายเครื่องมือวัดออกมาจากระบบ สามารถควบคุมและตรวจสอบคุณภาพการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตจากภาพที่ได้จากกล้องที่ติดตั้งภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยผู้ควบคุมการสอบเทียบจะกำหนดค่าข้อมูลและควบคุมการสอบเทียบผ่านโปรแกรมเว็บเบราเซอร์ (Web Brower) ทั่วไป เช่น โปรแกรม Internet Explorer ข้อมูลที่กำหนดจะส่งผ่านอินเตอร์เน็ตไปยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบของโรงงานหรือห้องที่เครื่องมือวัดนั้นติดตั้งอยู่ ที่ห้องปฏิบัติการจะมีเจ้าหน้าที่ทำการจัดวางและเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์สอบเทียบอัตโนมัติ (Automatic Calibration Software) และปฏิบัติการสอบเทียบตามคำแนะนำจากผู้ควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ต การวัดค่าของเครื่องมือวัดและขั้นตอนการคำนวณจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติโดยซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งไว้แล้ว พร้อมทั้งรายงานผลการสอบเทียบให้ทราบและบันทึกผลการสอบเทียบที่ได้ลงในฐานข้อมูลของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะลดข้อผิดพลาดจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ ลดเวลาและต้นทุนในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบภายนอก ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบภายนอก แต่ยังคงรักษาความเชื่อมั่นในผลการวัดได้เช่นเดียวกันกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานทั่วไป และในแง่นโยบายการพัฒนาของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ [1] วิธีการนี้เป็นการเผยแพร่ความรู้ทางด้านมาตรวิทยาให้แก่

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบของภาคอุตสาหกรรม ขนาดกลางและขนาดย่อมได้เข้าใจความสำคัญและวิธีปฏิบัติการสอบเทียบที่ถูกต้อง โดยศึกษาและทำความเข้าใจผ่านระบบอินเตอร์เน็ตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการวัดและการสอบเทียบอุณหภูมิตามมาตรฐานแบบใช้ผู้สอบเทียบและแบบอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตมาปรับปรุงและพัฒนาวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิ

1.2.3 เพื่อลดปัญหาและเวลาที่เกิดจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

หลักการสอบเทียบอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ วิธีนี้ผู้ที่ทำการสอบเทียบจะเป็นผู้กำหนดค่าอุณหภูมิสำหรับสอบเทียบ ปรับตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด วัดค่าและคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดเอง บันทึกและจัดเก็บรายงานผลการสอบเทียบในรูปแบบเอกสาร และทำการสอบเทียบภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ แบบที่ 2 คือ การสอบเทียบแบบอัตโนมัติ เป็นการนำเอาคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์สำหรับการสอบเทียบมาช่วยในการลดขั้นตอนในการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด คำนวณค่าความไม่แน่นอนและสามารถจัดเก็บรายงานผลการทดลองไว้ในฐานข้อมูล เพื่อการอ้างอิงในการสอบเทียบครั้งต่อไป จะเห็นว่าวิธีการสอบเทียบแบบอัตโนมัติเพิ่มความถูกต้องและสะดวกในการสอบเทียบให้มากขึ้น แต่ทั้ง 2 วิธี ต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการสอบเทียบต่อการสอบเทียบ 1 ครั้ง ถ้ามีการสอบเทียบเป็นปริมาณมากจะต้องใช้เวลานานในการสอบเทียบให้ทันตามกำหนด รวมทั้งระยะเวลาในการรับและส่งเครื่องมือวัดที่สอบเทียบไปยังบริษัทหรือโรงงานที่ขอรับบริการใช้เวลานาน

การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบทั้ง 2 วิธี และนอกจากนั้นในกรณีที่ทำการสอบเทียบภายในหน่วยงาน หัวหน้างานสามารถตรวจสอบการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตได้อีกด้วย การเข้าถึงข้อมูลผลการสอบเทียบของหน่วยงานต่างๆ ก็สามารถทำได้สะดวก ทำให้การพิจารณาที่จะใช้งานเครื่องมือวัดสามารถทำได้รวดเร็วและส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น และจากการศึกษางานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และบทความทางวิชาการเกี่ยวกับมาตรวิทยา ซึ่งในบทความวิชาการต่างประเทศนั้นได้ทดลองวิจัยและนำไปใช้งานจริงแล้ว ตัวอย่างเช่น สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา [5] ได้วิจัยเกี่ยวกับวิธีการสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สผ่านอินเตอร์เน็ต

(Tele-Calibration of Gas Flow Meters) ซึ่งอาศัยหลักการสอบเทียบที่ควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ตเพื่อความสะดวก โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 เป็นการศึกษาความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องมือวัด การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด และวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิตามมาตรฐานแบบใช้ผู้สอบเทียบและแบบอัตโนมัติ

1.4.2 เน้นการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเชิงไฟฟ้าประกอบด้วย เทอร์มอคับเปิล (Thermocouples) และอาร์ทีดี (RTD: Resistance Temperature Detectors) โดยใช้อ่างสร้างอุณหภูมิแบบแห้ง (Dry-Well Calibrator) ในการสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน และวิธีการสอบเทียบจะอ้างอิงตามมาตรฐานขั้นใช้งาน (Working Standard)

1.4.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ จะต้องมีช่องเชื่อมต่อสัญญาณแบบอนุกรม (RS 232) หรือ GPIB (IEEE 488) สำหรับให้คอมพิวเตอร์สามารถควบคุมขั้นตอนการสอบเทียบและอ่านค่าเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด

1.4.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมขั้นตอนการสอบเทียบใช้โปรแกรมไมโครซอฟ วีชวล เบสิค 6.0 (Microsoft Visual Basic 6.0) และทำการบันทึกผลการสอบเทียบไว้ในฐานข้อมูลไมโครซอฟ แอคเซส 2000 (Microsoft Access 2000) สำหรับเว็บไซต์พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมไมโครซอฟ วีชวล อินเตอร์เดฟ (Microsoft Visual InterDev) โดยใช้เทคโนโลยี ASP ด้วยภาษา HTML VBSCRIPT และ JAVASCRIPT

1.5 ขั้นตอนในการศึกษา

1.5.1 สำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบอุณหภูมิ

1.5.2 ศึกษาขั้นตอน วิธีการวัดและวิธีปฏิบัติในการสอบเทียบอุณหภูมิ

1.5.3 ศึกษาขั้นตอน และวิธีการควบคุมและสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต

1.5.4 ศึกษาวิธีการสร้างซอฟต์แวร์ควบคุมและจัดเก็บข้อมูลการสอบเทียบ

1.5.5 ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมการสอบเทียบและจัดเก็บข้อมูลการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต

1.5.6 ทดสอบซอฟต์แวร์และทำการแก้ไขข้อผิดพลาด

1.5.7 ทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

1.5.8 สรุปและประเมินผลการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ช่วยให้การสอบเทียบอุณหภูมิที่มีปริมาณมาก สามารถทำการสอบเทียบได้ทันตามกำหนด เพิ่มความสะดวกในการติดตามและประเมินมาตรฐานการสอบเทียบ ประหยัดเวลาในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบทำให้เพิ่มความรวดเร็วในการสอบเทียบให้มากยิ่งขึ้น

1.6.2 ทำให้เจ้าหน้าที่หรือหัวหน้างานสามารถเข้าถึงข้อมูลเครื่องมือที่สอบเทียบได้ทั่วถึง

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่นๆ

1.6.4 ส่งเสริมนโยบายของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติในการเพิ่มความรู้ ความสามารถในการสอบเทียบของบริษัทขนาดกลางและขนาดย่อมได้

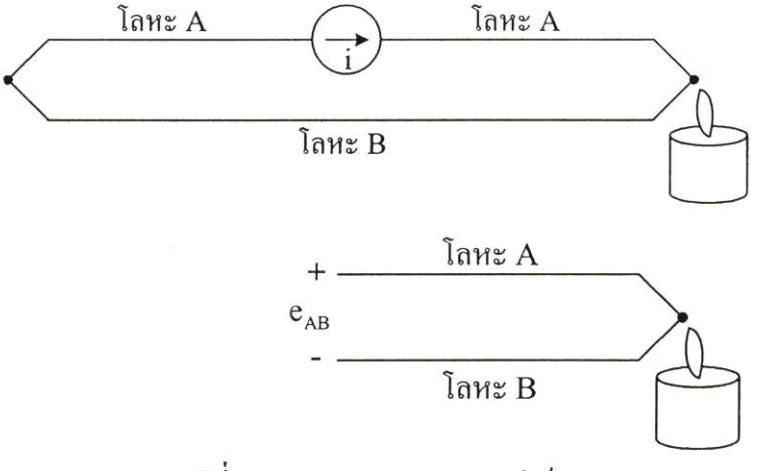
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานตัววัดอุณหภูมิที่อาศัยหลักการเชิงไฟฟ้า [2, 6-8]

2.1.1 เทอร์มอคัปเปิล (Thermocouples)

เทอร์มอคัปเปิลเป็นตัววัดอุณหภูมิที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุดในอุตสาหกรรม ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมในเรื่องของโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก ขนาดเล็ก ทนต่อการสั่นสะเทือน และมีผลตอบสนองในการวัดที่รวดเร็วเพียงพอในช่วงอุณหภูมิต่ำและสูงได้ดี

หลักการพื้นฐานของเทอร์มอคัปเปิลถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อโทมัส ซีเบ็ค (Thomas Seebeck) ในปี ค.ศ. 1821 โดยเขาพบว่าเมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันตามรูปที่ 2.1 จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้า(i) จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (e_{AB}) ขึ้นที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า "ซีเบ็คโวลเตจ"



รูปที่ 2.1 วงจรการทดลองของซีเบ็ค

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

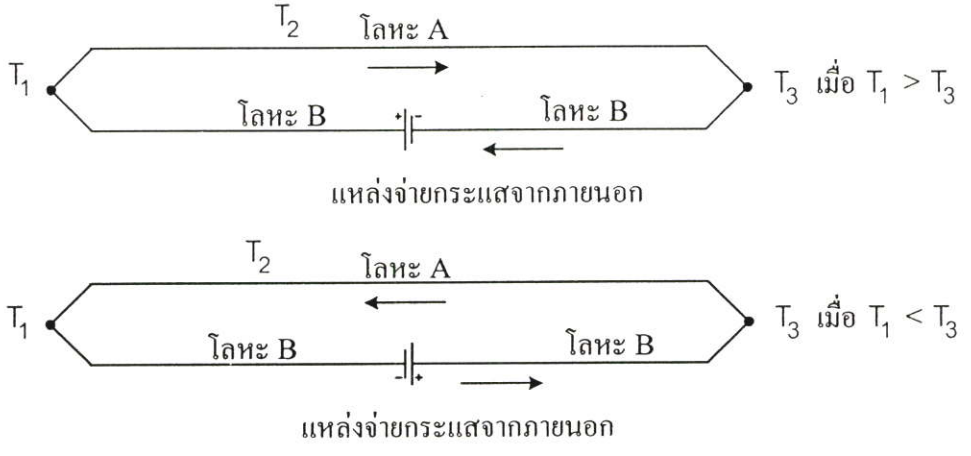
$$e_{AB} = \alpha(\Delta T) \tag{2.1}$$

เมื่อ e_{AB} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ มีหน่วยเป็น โวลต์

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (Seebeck Coefficient) เป็นค่าคงที่ หน่วยโวลต์/เคลวิน (Volt/K)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ขั้วทั้งสอง หน่วย เคลวิน (K)

ต่อมาในปี 1834 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Jean C.A. Peltier ได้ค้นพบผลของการป้อนกระแสไฟฟ้าจากภายนอกในทิศทางหนึ่งเข้าไปในลวดตัวนำ ทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองของจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง วงจรการทดลองของเพลเทียร์ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรการทดลองของเพลเทียร์

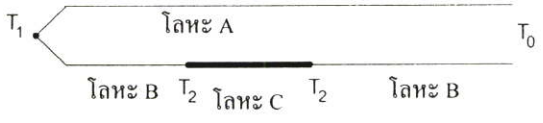
ต่อมาได้มีการสรุปเป็นกฎของแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (Thermoelectric Law) ได้กฎ 3 ข้อ คือ

- กฎของวงจรโลหะชนิดเดียว (Law of the Homogeneous Circuit)

ในวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ปลายจุดต่อทั้งสอง

- กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals)

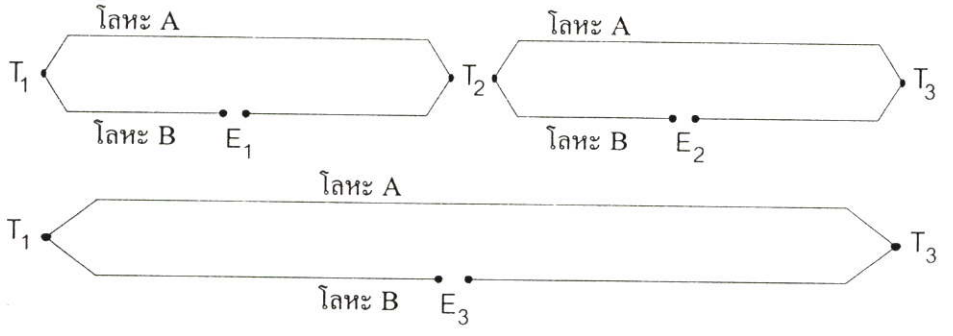
ในวงจรเทอร์มอคัปเปิลจะประกอบไปด้วยโลหะ A และโลหะ B แต่ถ้านำลวดโลหะเส้นที่สาม (โลหะ C) มาแทรก หากจุดต่อของปลายโลหะ C ที่แทรกทั้งสองมีอุณหภูมิ T_2 เท่ากันแล้ว โลหะ C ที่แทรกเข้ามานี้จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กฎของโลหะแทรก

- กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเทอร์มอคัปเปิลชุดใดๆ ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกันจะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์มอคัปเปิลชุดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเทอร์มอคัปเปิลทั้งสองชุด



รูปที่ 2.4 กฎของอุณหภูมิแทรก

จากรูปที่ 2.4 จะสามารถหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ดังนี้

$$E_3 = E_1 + E_2 \tag{2.2}$$

จากสมการที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิกลางสายหรือกลางวงจร (T_2) ไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม อุณหภูมิที่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะได้มาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ T_1 และ T_3 เท่านั้น

2.1.1.1 จุดอุณหภูมิอ้างอิง (Reference Junction)

จากหลักการทำงานของเทอร์มอคัปเปิลที่ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดวัด (Measuring Junction) เทียบกับจุดอุณหภูมิอ้างอิง (Reference Junction) ถ้าอุณหภูมิที่จุดวัดมีค่าคงที่ แต่อุณหภูมิที่จุดอ้างอิงไม่คงที่ จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ก็จะไม่ถูกต้อง ดังนั้นในการใช้งานต้องมีวิธีการที่ทำให้การอ่านค่าจากเทอร์มอคัปเปิลได้ถูกต้อง จำเป็นจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่จุดวัดอุณหภูมิอ้างอิงคงที่ ซึ่งวิธีการควบคุมจุดอุณหภูมิอ้างอิงเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องมีดังนี้

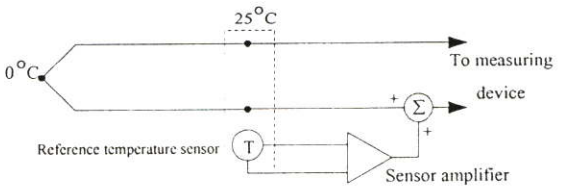
1. รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ $0^{\circ}C$ ด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์ เป็นการรักษาอุณหภูมิที่จุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ $0^{\circ}C$ โดยการจุ่มจุดอุณหภูมิอ้างอิงลงในอ่างบรรจุน้ำแข็ง (Ice Bath) ที่ทำจากน้ำบริสุทธิ์ วิธีนี้เหมาะสำหรับห้องทดลองเท่านั้น เพราะจะต้องคอยเติมน้ำแข็งตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การรักษาอุณหภูมิที่จุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ 0°C โดยใช้น้ำแข็ง

2. รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ 0°C ด้วยเครื่องทำความเย็น วิธีนี้จะใช้เครื่องทำความเย็นเรียกว่า Ice Point Cell เพื่อรักษาอุณหภูมิคงที่

3. รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ที่ 50°C ด้วยเตาไฟฟ้า (Oven) โดยการจุ่มจุดอุณหภูมิอ้างอิงลงในเตาไฟฟ้าที่ปรับตั้งอุณหภูมิที่ 50°C เช่น ในการวัดอุณหภูมิที่ 0°C โดยใช้จุดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 50°C ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้เท่ากับ - 2.023 mV ค่าที่วัดได้นี้จะต้องชดเชยด้วยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จุดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 50°C มีค่าเท่ากับ 2.023 mV เพราะฉะนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจริงจะเท่ากับ – 2.023 + 2.023 = 0.000 mV หรือเท่ากับ 0°C ดังนั้นควรที่ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Digital Thermometer) ที่สามารถชดเชยอุณหภูมิที่จุดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 50°C ได้ จึงจะวัดค่าได้ถูกต้องตามอุณหภูมิจริง

4. รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ด้วยวงจรไฟฟ้า ซึ่งวงจรไฟฟ้านี้จะรวมอยู่ในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้จุดอุณหภูมิอ้างอิง แต่จะใช้ตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามอุณหภูมิ เช่นอาร์ทีดีหรือเทอร์มิสเตอร์ เรียกว่าตัววัดอุณหภูมิอ้างอิง (Reference Temperature Sensor) ต่ออยู่ในวงจรบริดจ์เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การวัดอุณหภูมิที่ 0°C อุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ 25°C แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ 0.000 mV – 1.000 mV = -1.000 mV ส่วนตัววัดอุณหภูมิอ้างอิงที่วัดอุณหภูมิบรรยากาศ 25°C แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 1.000 mV เมื่อนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งสองมารวมกัน จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ -1.000 mV + 1.000 mV = 0.000 mV เมื่อนำตัววัดอุณหภูมิ (Measuring device) มาอ่านค่าก็จะได้อุณหภูมิที่จุดวัดเท่ากับ 0°C ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รักษาอุณหภูมิของจุดอุณหภูมิอ้างอิงให้คงที่ด้วยวงจรไฟฟ้า

2.1.1.2 ชนิดของเทอร์มอคัปเปิล

ชนิดของเทอร์มอคัปเปิลที่ใช้งานในปัจจุบันได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน 7 แบบด้วยกัน กำหนดโดย The Instrument Society of America (ISA) เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตต่างๆใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และรูปที่ 2.7 แสดงถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาท์พุทเทียบกับอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิลทั้ง 7 ชนิด ชนิดของเทอร์มอคัปเปิลแบ่งออกเป็นแบบต่างๆดังนี้

1. เทอร์มอคัปเปิลแบบ S เป็นเทอร์มอคัปเปิลที่สายลบทำมาจากพลาตินัม และสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างพลาตินัม 90% กับโรเดียม 10% สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1,400 °C เหมาะสำหรับการใช้งานระยะเวลาสั้นๆ และสามารถทนอุณหภูมิที่วัดได้ถึง 1,482 °C แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสีและไอของอโลหะ เช่น อาเซนิค ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง

2. เทอร์มอคัปเปิลแบบ R สายบวกทำจากพลาตินัม สายลบทำจากส่วนผสมของพลาตินัม 87% กับ โรเดียม 13% ผลที่ได้จะทำให้แบบ R ให้เอาท์พุทสูงกว่าแบบ S คุณสมบัติด้านอื่นๆจะเหมือนกับแบบ S สามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,400 °C

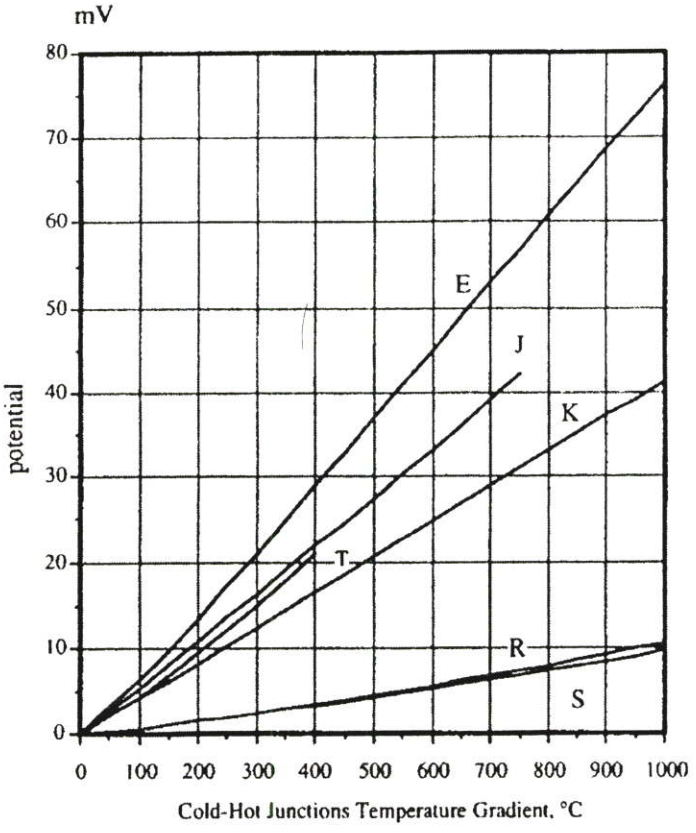
3. เทอร์มอคัปเปิลแบบ B สายบวกทำจากพลาตินัม 70% กับ โรเดียม 30% สายลบทำจากพลาตินัม 94% กับ โรเดียม 6% คุณสมบัติที่เด่นคือ แข็งแรงและทนทาน สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1,704°C แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีไอของโลหะและอโลหะเช่นเดียวกับแบบ R และ S

4. เทอร์มอคัปเปิลแบบ J เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง 60% กับ นิเกิล 40% เป็นแบบที่ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538°C

5. เทอร์มอคัปเปิลแบบ K สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 10% กับ โครเมียม 90% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 95% กับ 5% ของส่วนผสมระหว่าง อลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิกอน นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด เพราะสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1,260°C และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250°C ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน

6. เทอร์มอคัปเปิลแบบ T เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สายบวกทำจากทองแดง และสายลบทำจากคอนสแตนแตน (Constantan) สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -184°C แต่อุณหภูมิทางบวกวัดได้ต่ำกว่าแบบอื่นๆ คือประมาณ 370°C เท่านั้น

7. เทอร์มอคัปเปิลแบบ E สายบวกทำจากส่วนผสมระหว่างโครเมียม 10% กับ นิเกิล 90% และสายลบทำจากคอนสแตนแตน อุณหภูมิใช้งานปกติอยู่ระหว่าง -250°C ถึง 871°C คุณสมบัติคล้ายกับเทอร์มอคัปเปิลแบบ K



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิลชนิดต่างๆ

2.1.1.3 ค่าความผิดพลาดของเทอร์มอคัปเปิลมาตรฐาน

ตามมาตรฐานในการผลิตเทอร์มอคัปเปิลเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ANSI ได้กำหนดพิกัดความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) ของการใช้งานเทอร์มอคัปเปิลวัดอุณหภูมิในแต่ละชนิดดังนี้

ตารางที่ 2.1 พิกัดความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) ของเทอร์มอคัปเปิลชนิดต่างๆ

ชนิด เทอร์มอคัปเปิล	ย่านการวัดอุณหภูมิ	พิกัดความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance)	
		แบบมาตรฐาน (เลือกค่าที่สูงกว่า)	แบบพิเศษ (เลือกค่าที่สูงกว่า)
T	0 - 350° C	± 1° C หรือ 0.75%	± 0.5° C หรือ ± 0.4%
J	0 - 750° C	± 2.2° C หรือ ± 0.75%	± 1.1° C หรือ ± 0.4%
E	0 - 900° C	± 1.7° C หรือ 0.5%	± 1° C หรือ ± 0.4%
K	0 - 1250° C	± 2.2° C หรือ 0.75%	± 1.1° C หรือ ± 0.4%
R, S	0 to 1450° C	± 1.5° C หรือ ± 0.25%	± 0.6° C หรือ ± 0.1%
B	870 to 1700° C	± 0.5%	

2.1.2 อาร์ทีดี (RTD: Resistance Temperature Detectors)

ตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีจะอาศัยหลักการของความต้านทานไฟฟ้าต่อความร้อน โดยทั่วไปโลหะเกือบทุกชนิดจะมีคุณสมบัติ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานไฟฟ้าจะมากขึ้นตาม ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการที่ 2.3

$$R_t = R_0(1+\alpha T) \tag{2.3}$$

เมื่อ R_t = ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ $t^{\circ}C$

R_0 = ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$

α = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความทานไฟฟ้า หน่วยเป็น $\Omega/\Omega/^{\circ}C$

ค่า α มีค่าเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น พลาตินัม มีค่าเท่ากับ 0.00392 Ω / Ω / $^{\circ}C$ จากย่านอุณหภูมิ $0^{\circ}C$ ถึง 100°C นิเกิล มีค่าเท่ากับ 0.0063 Ω / Ω /°C และทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.00425 Ω / Ω / °C

ในทางปฏิบัติ ค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง (Nonlinearity) สำหรับห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอน สามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R_t = R_0\left(1+\alpha T+\beta T^2+\gamma T^4 \ .....\right) \tag{2.4}$$

ค่า α, β และ γ ได้จากการทดลอง ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น พลาตินัม จะมีค่า $\alpha = 3.985\times10^{-3}\ \Omega/\Omega/^{\circ}C$, $\beta = -5.856\times10^{-7}\ \Omega/\Omega/^{\circ}C$ $\gamma = -4.330\times10^{-10}\ \Omega/\Omega/^{\circ}C$

2.1.2.1 ชนิดของอาร์ทีดี

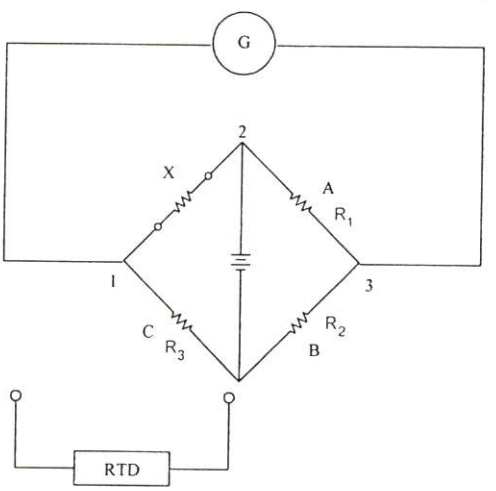
- อาร์ทีดีแบบพลาตินัมเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในงานอุตสาหกรรม มีค่ามาตรฐาน 100 โอห์ม ที่ $0^{\circ}C$ แต่ในการวัดอุณหภูมิสูงถึง 600°C ควรใช้อาร์ทีดีพลาตินัมแบบ 10 โอห์ม เพราะจะให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม
- อาร์ทีดีแบบนิเกิล จะวัดอุณหภูมิได้ไม่สูงเท่ากับพลาตินัม ย่านการใช้งานอยู่ในช่วง −195°C ถึง 360°C มีค่าผิดพลาดต่ำและคุณสมบัติเชิงเส้นที่ดี
- อาร์ทีดีแบบทองแดง เป็นแบบที่ให้คุณสมบัติเชิงเส้นในการวัดดีที่สุด แต่ย่านการใช้งานแคบประมาณ -200°C ถึง 150°C และมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ
- อาร์ทีดีแบบทังสเตน ไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะมีเสถียรภาพไม่ดี แต่มีข้อดีคือสามารถทนอุณหภูมิได้สูง

2.1.2.2 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดี

- วงจรแบบ 2 สาย

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ วีธสโตน บริดจ์ (Wheatstone Bridge) จากรูปที่ 2.8 ให้ X คือตัวอาร์ทีดี ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ตัวต้านทานประกอบอีก 3 ตัวคือ A B และ C อยู่ในทรานสมิตเตอร์ในอุณหภูมิบรรยากาศ ตัวต้านทาน A B และ C ที่ใช้จะต้องมีความถูกต้องสูงและมีค่าเลื่อน (drift) ต่ำมาก

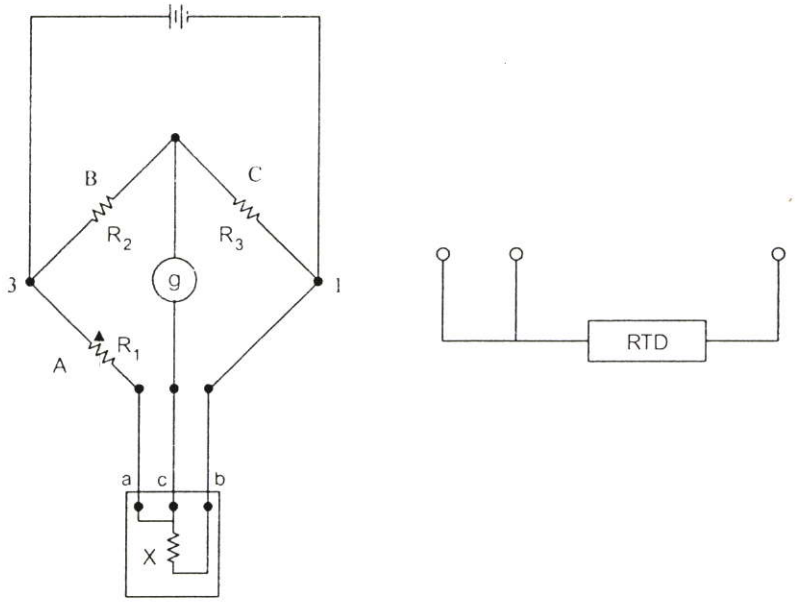
วงจรบริดจ์นี้จะอยู่ในภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0°C ซึ่งจะทำให้อัตราส่วน $\frac{X}{C} = \frac{A}{B}$ เครื่องกัลวาโนมิเตอร์จะชี้ที่ 0°C วงจรนี้ใช้ได้เมื่อตัวทรานสมิตเตอร์อยู่ใกล้กับตัวอาร์ทีดีมากๆ เท่านั้นเพราะถ้าสายยาว ค่าผิดพลาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของสาย ค่าผิดพลาดนี้ขึ้นอยู่กับ ความยาวของสายตัวนำจากอาร์ทีดี และอุณหภูมิของสายตัวนำนี้ถ้ามีค่ามากขึ้นค่าผิดลพาดก็จะสูงขึ้น วงจรแบบ 2 สายจึงเหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงนัก



รูปที่ 2.8 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดีแบบ 2 สาย

- วงจรแบบ 3 สาย

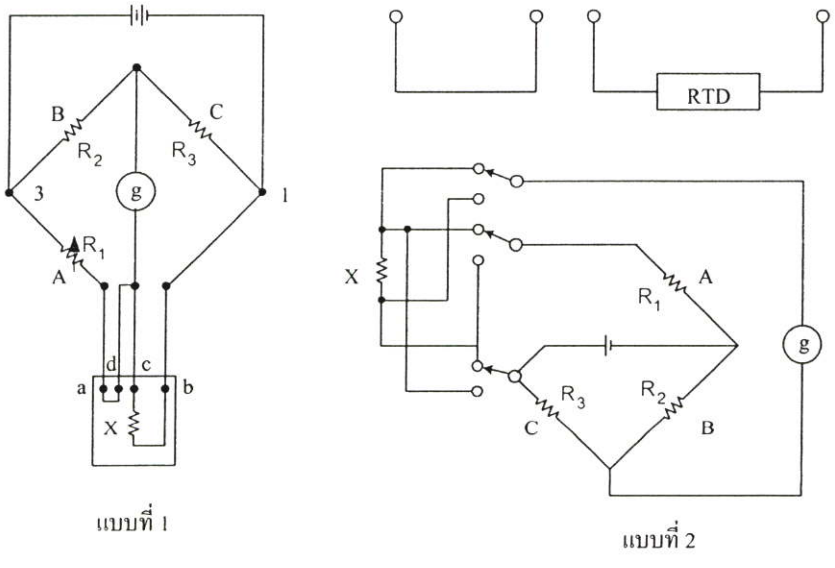
วงจรอาร์ทีดีแบบ 3 สายเป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป จากรูปที่ 2.9 สายทั้งสาม a, b และ c จากอาร์ทีดี (X) ที่ต่อเข้าวงจรบริดจ์จะต้องมีขนาด ความยาวเท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด เพื่อให้ค่าความต้านทานของทั้งสามสายเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุล $X = \frac{C}{B} A$ ให้ B = C เนื่องจาก a = b = c ดังนั้น X + b จึงเท่ากับ A + a ค่าอุณหภูมิของการวัดจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี (X) เพียงตัวเดียว



รูปที่ 2.9 วงจรต่อใช้งานอาร์ทีดีแบบ 3 สาย

- วงจรการวัดแบบ 4 สาย

วงจรการวัดแบบ 4 สายแบ่งได้เป็น 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบที่เลื่อนจุดต่อของบริดจ์ไปอยู่ภายนอก สายที่ต่อจากอาร์ทีดีทั้ง 4 เส้นจะต้องมีขนาด ความยาวและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนวงจรการวัดแบบ 3 สาย ส่วนแบบที่ 2 จะมีสวิทช์สำหรับโยกสลับสายแล้วอ่านค่าครั้งที่หนึ่ง จากนั้นสลับสายเพื่ออ่านค่าครั้งที่สอง นำค่าทั้งสองครั้งมาหาค่าเฉลี่ย ดังนั้นในการวัดครั้งหนึ่งๆ ต้องทำการอ่านค่า 2 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรต่อใช้งานอาร์ทีดีแบบ 4 สาย

2.2 มาตรวิทยาเบื้องต้น [4, 9]

มาตรวิทยา หมายถึง ศาสตร์แห่งการวัดหรือวิชาที่ว่าด้วยเรื่องของการวัดไม่ว่าจะเป็นสาขาใดก็ตาม เป็นการวัดที่รวมเอาทฤษฎีและทุกมิติของการปฏิบัติมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องตามต้องการ และสามารถรายงานค่าของผลการวัดได้ โดยการรายงานนั้นได้รวมเอาการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วย

2.2.1 นิยามศัพท์มาตรวิทยา [4, 10]

มาตรวิทยา (Metrology) คือ ความรู้ที่เกี่ยวกับการวัด มาตรวิทยาครอบคลุมทุกเรื่องทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ ไม่ว่าจะมีความถูกต้องระดับใด และไม่ว่าจะอยู่ในสาขาวิทยาศาสตร์หรือสาขาเทคโนโลยีใด ๆ

ค่าจริง (ของปริมาณ) (True value (of a quantity)) คือ ค่าซึ่งแสดงลักษณะของปริมาณที่นิยามไว้อย่างสมบูรณ์ในภาวะที่เป็นอยู่ ขณะเมื่อพิจารณาปริมาณนั้น ค่าจริงของปริมาณเกิดจากความคิดทางอุดมคติ และโดยทั่วไปไม่สามารถรู้ค่าที่พอดีได้

การวัด (Measurement) คือ ชุดของการดำเนินการต่างๆ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าของปริมาณใดปริมาณหนึ่ง

ระเบียบวิธีการวัด (Method of measurement) คือ ชุดของการดำเนินการทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ซึ่งในความหมายทั่วไป เกี่ยวกับสมรรถนะของการวัดที่สอดคล้องกับหลักการที่กำหนดไว้

การสอบเทียบ (Calibration) คือ ชุดของการดำเนินการซึ่งสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชี้บอกโดยเครื่องวัดหรือระบบการวัดหรือค่าที่แสดง โดยเครื่องวัดที่เป็นวัสดุกับค่าสมนัย (Corresponding value) ที่รู้ของปริมาณที่วัดภายใต้สภาวะที่บ่งไว้

การทวนสอบ (Verification) คือ การยืนยันโดยการตรวจสอบและมีหลักฐานแสดงว่าเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุ

ความสอบกลับได้ (Traceability) คือ สมบัติ (Property) ของผลการวัด ที่สามารถหาความสัมพันธ์กับมาตรฐานที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไป ได้แก่ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานแห่งชาติ โดยการเปรียบเทียบกันอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่

มาตรฐานการวัด (Measurement Standard) คือ เครื่องวัด เครื่องวัดที่เป็นวัสดุ หรือระบบการวัดที่มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดนิยาม ตรวจสอบ รักษา หรือทำให้เกิดหน่วย หรือค่าที่รู้หนึ่งค่าหรือมากกว่าของปริมาณ เพื่อให้เครื่องวัดอื่น ๆ ได้ใช้เปรียบเทียบ

ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty of Measurement) คือ การประเมินบอกลักษณะในพิสัยของค่า ซึ่งครอบคลุมค่าจริงของปริมาณที่วัด

ความถูกต้อง (Accuracy) คือ ความสามารถของเครื่องมือวัดที่แสดงความถูกต้องใกล้เคียงกันระหว่างผลของการวัดกับค่าจริงของปริมาณที่วัด

ความละเอียด (Resolution) คือ ปริมาณค่าที่บอกความสามารถของเครื่องมือวัดที่แสดงค่าความแตกต่างที่มีความหมายเพียงพอระหว่างค่าใกล้เคียงของปริมาณที่แสดงค่าอยู่ เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลอ่านค่าได้ 10.3°C แสดงว่าค่าความละเอียดเท่ากับ 0.1°C

ค่าผิดพลาด (Error) คือ ค่าชี้บอกของเครื่องวัดลบด้วยค่าจริงของปริมาณที่วัด

ค่าปรับแก้ (Correction) คือ ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดเชิงระบบที่สมมติขึ้น โดยนำมาบวกทางพีชคณิตกับค่ายังไม่ปรับแก้ของการวัด

2.2.2 มาตรฐานการวัด [10]

มาตรฐานการวัดเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในระบบการวัด เพราะมาตรฐานการวัดและหน่วยวัดที่เท่าเทียมกันและยอมรับกันระหว่างประเทศ จะทำให้การค้าและความร่วมมือระหว่างประเทศเป็นไปในมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งระดับความเชื่อมั่นในความเท่าเทียมกันของมาตรฐานการวัดได้จากการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดระหว่างกัน (Intercomparison) และความสามารถของผู้ปฏิบัติการที่ทำการวิจัยอยู่ในห้องปฏิบัติการต่างๆ ผลก็คือความเชื่อถือในมาตรฐานเหล่านี้สามารถถ่ายทอดมาสู่ผู้ใช้งานในลักษณะลูกโซ่ของการสอบกลับได้ (Chain of Traceability) ซึ่งหมายความว่าผลการวัดจะไม่มีความหมาย ถ้าไม่สามารถอ้างอิงกลับไปที่มาตรฐานแห่งชาติได้อย่างต่อเนื่องเป็นลำดับชั้นขึ้นไป การจัดลำดับชั้นของมาตรฐานในที่นี้ได้มาจาก International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology: VIM ซึ่งได้นิยามไว้ดังนี้

1. มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard) หมายถึง มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีคุณสมบัติทางมาตรวิทยาสูงสุดและมีค่าเป็นที่ยอมรับโดยปราศจากการอ้างอิงถึงมาตรฐานอื่นที่เป็นปริมาณเดียวกัน

2. มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard) หมายถึง มาตรฐานที่ได้ค่ามาจากการเปรียบเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิของปริมาณเดียวกัน

3. มาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standard) คือ มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยความตกลงร่วมกันระหว่างประเทศ เพื่อเป็นฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นทั้งหมดที่เกี่ยวข้องระหว่างประเทศ

4. มาตรฐานแห่งชาติ (National Standard) คือ มาตรฐานที่เป็นที่ได้รับการกำหนดโดยทางการ เพื่อใช้เป็นรากฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นทั้งหมดของปริมาณที่เกี่ยวข้องในประเทศ

5. มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standard) คือ มาตรฐานที่โดยทั่วไปมีคุณสมบัติทางมาตรวิทยาสูงสุดมีไว้ ณ จุดใช้งานหรือในหน่วยงาน ซึ่งการวัดที่กระทำในหน่วยงานได้มาจากมาตรฐานนี้

6. มาตรฐานถ่ายทอด (Transfer Standard) คือ มาตรฐานที่ใช้สำหรับการนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่น

7. มาตรฐานขั้นใช้งาน (Working Standard) คือ มาตรฐานที่ใช้สำหรับการสอบเทียบหรือการตรวจสอบกับวัสดุวัด เครื่องมือวัด หรือวัสดุอ้างอิงมาตรฐานขั้นใช้งานจะสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงเสมอ และมาตรฐานใช้งานนี้อาจใช้สำหรับงานประจำเพื่อให้มั่นใจว่าการวัดที่กระทำเป็นไปอย่างถูกต้อง บางครั้งก็เรียกว่า มาตรฐานสำหรับตรวจสอบ (Check Standard)

การจัดหาเครื่องมือมาตรฐานมาใช้งาน จะต้องเลือกเครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดที่เหมาะสมกับงานที่จะนำไปวัด กล่าวคือเครื่องมือมาตรฐานจะต้องมีค่าความถูกต้องที่ดีกว่าเครื่องมือวัดอยู่ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า ยกเว้นในกรณีเป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องสูงมากอาจจะอนุโลมให้เครื่องมือมาตรฐานดีกว่า 1 ถึง 2 เท่าได้เป็นกรณีไป

ก่อนที่เลือกเครื่องมือวัดได้เหมาะสมกับงานนั้น ๆ จำเป็นต้องเข้าใจเกี่ยวกับคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการบอกคุณลักษณะของเครื่องมือเสียก่อน ดังนี้

1. ความถูกต้องของการวัด (Accuracy) หมายถึง เครื่องมือวัดมีความสามารถในการอ่านได้ใกล้ค่าจริงเท่าใด เช่น มิเตอร์ตัวหนึ่งมีค่าความถูกต้องในการวัดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.5 % ของค่าที่แสดงผลหมายถึง ถ้าวัดแรงดันไฟฟ้า 100 VDC มิเตอร์แสดงผล 100 VDC ค่าที่แท้จริงที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 100 +/- 0.5 คือ ระหว่าง 99.5 ถึง 100.5 VDC บริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดทั่วไปมักจะระบุค่า ค่าความถูกต้องในการวัดมาในคุณลักษณะของเครื่องมือวัด เราจะพิจารณาค่าความถูกต้องในการวัดของเครื่องมือวัดเป็นปัจจัยสำคัญ

2. ความแม่นยำในการวัด (Precision) ค่านี้จะแสดงให้ทราบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการแสดงค่าที่ซ้ำที่เดิมได้ดีหรือไม่ เมื่อป้อนค่าคงที่ค่าหนึ่งในการวัดหลาย ๆ ครั้ง ตามปกติบริษัทผู้ผลิตจะไม่ระบุค่านี้มาในเอกสารบอกคุณลักษณะของเครื่องมือวัด

3. ความเสถียรในการอ่านเครื่องมือวัด (Stability) ค่านี้จะแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนไปของผลการวัด ซึ่งเกิดขึ้นจากเครื่องมือวัดเองเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ถ้าเครื่องมือวัดมีความเสถียรในการอ่านไม่ดี ก็หมายความว่าการอ่านของเครื่องมือวัดนั้นเลื่อนค่าไปตามเวลา ผู้ผลิตมักจะระบุค่าความเสถียรในการอ่านค่าของเครื่องมือวัดมาในเอกสารบอกคุณลักษณะของเครื่องมือวัด

4. ระดับสัญญาณรบกวน (Noise Floor) ที่เกิดขึ้นในตัวเครื่องมือวัดเอง ถึงแม้ว่าจะมิได้ป้อนสัญญาณอะไรเลย แต่เครื่องวัดจะแสดงค่าของระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในตัวเครื่องวัดออกมา หากค่านี้มาก ความไวในการวัดของเครื่องมือวัดจะลดลง ค่าระดับสัญญาณรบกวน

นี้บริษัทผู้ผลิตจะระบุมาในเอกสารบอกคุณลักษณะของเครื่องมือวัด หากผู้ซื้อไม่สนใจก็อาจจะเกิดปัญหาในการวัดได้

2.2.3 ความสอบกลับได้ของการวัด (Traceability of Measuring) [4, 10]

ความสอบกลับได้ของการวัด หมายถึง ผลการวัดที่สามารถหาความสัมพันธ์กับมาตรฐานที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไป ได้แก่ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานแห่งชาติ โดยการเปรียบเทียบอย่างต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ การบอกได้ของผลการวัดแต่ละครั้งที่ได้จากการวัดแตกต่างจากค่ามาตรฐานแห่งชาติหรือมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่เท่าใด โดยสอบย้อนกลับไปยังมาตรฐานโดยไม่ขาดช่วง ดังนั้นการสอบกลับได้จึงเป็นการส่งต่อหน่วยวัด SI ตามนิยาม จากจุดเริ่มต้นโดยได้รับการถ่ายทอดผ่านห้องปฏิบัติการสอบเทียบหลายระดับจนถึงผู้ใช้งาน ซึ่งถ้าพิจารณาจากความหมายของความสามารถสอบกลับได้ จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างด้วยกันที่จะทำให้เกิดห่วงโซ่ของการเปรียบเทียบโดยไม่ขาดขั้นตอน ปัจจัยต่าง ๆ นี้ประกอบด้วย

1. การเปรียบเทียบอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ จากผู้ใช้งานเครื่องมือวัดกลับไปสู่มาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องยอมรับ ซึ่งโดยทั่วไปคือมาตรฐานแห่งชาติหรือมาตรฐานระหว่างประเทศ
2. มีความไม่แน่นอนของการวัดในแต่ละขั้นตอน จะต้องคำนวณตามวิธีที่กำหนดและรายงานค่าเพื่อให้สามารถคำนวณความไม่แน่นอนรวมของทุกขั้นตอนได้
3. การจัดทำเป็นเอกสารจะต้องทำตามวิธีดำเนินการที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป อีกทั้งผลของการเปรียบเทียบก็ต้องทำเป็นเอกสารเช่นกัน
4. ความสามารถของห้องปฏิบัติการหรือองค์กรที่ทำการเปรียบเทียบจะต้องแสดงให้เห็นถึงความสามารถทางเทคนิค เช่น การรับรองความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025
5. ห่วงโซ่ของการเปรียบเทียบต้องอ้างถึงหน่วยวัด SI ถ้าเป็นไปได้จะต้องสิ้นสุดลงที่มาตรฐานปฐมภูมิ ที่ทำให้เป็นจริงของหน่วยวัด SI
6. ช่วงระยะเวลาระหว่างการสอบเทียบจะต้องกระทำซ้ำตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ระยะของช่วงเวลานี้จะขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ตัวแปร เช่น ความไม่แน่นอนที่ต้องการ ความถี่ของการใช้งาน การนำไปใช้ และความเสถียรของเครื่องมือ

โดยปกติห่วงโซ่ความสอบกลับได้ (Traceability Chain) ของทุกประเทศจะเหมือนกัน คือ มีสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติทำหน้าที่จัดหา รักษา พัฒนามาตรฐานการวัด และถ่ายทอดค่าวัดต่อไปยังภาคอุตสาหกรรม สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติต้องเป็นที่ยอมรับและเชื่อถือได้ในระดับนานาชาติ และจะต้องมีห้องปฏิบัติการสอบเทียบระดับทุติยภูมิหรือระดับอ้างอิง (Secondary or Reference Standards) รับความถูกต้องของค่าวัดและถ่ายทอดอีกทอดหนึ่ง ดังตารางที่ 2.1 โดยมีลำดับขั้นของการสอบเทียบดังนี้

ตารางที่ 2.2 บทบาทของสถาบันมาตรวิทยาในการสอบเทียบและความสามารถสอบกลับได้

ระดับมาตรฐาน	องค์กร	ขอบข่ายงาน
Traceability System National Standards	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	- จัดหา รักษา และพัฒนามาตรฐานแห่งชาติ - เป็นองค์กรนำในการพัฒนา และผลักดันให้เกิด ระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ
Secondary Standards	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบของภาครัฐและภาคเอกชน ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ (ภาควิศวกรรมการวัดคุม สจล.)	ถ่ายทอดความถูกต้องของมาตรฐานการวัดจาก สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ไปสู่มาตรฐานอ้างอิง ของภาคอุตสาหกรรม
Working Standards	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ	รักษามาตรฐานชั้นใช้งาน โดยสอบกลับได้ถึงมาตรฐานแห่งชาติ สู่เครื่องมือตรวจ วัด ในโรงงาน
Measuring Equipment	เครื่องมือตรวจวัดและทดสอบที่ต้องการสอบเทียบ	เครื่องมือตรวจวัดและทดสอบที่ใช้

1. ระดับระหว่างประเทศ มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standards) ได้จากการทำให้เป็นจริง (Realization) จากนิยามของหน่วยวัด SI โดย Conference General des Poids et Measure (CGPM) ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบสำหรับการพัฒนามาตรฐานปฐมภูมิและจัดให้มีการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศในระดับที่มีความถูกต้องสูงสุด คือ Bureau International des Poids et Measure (BIPM) ซึ่งมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส

2. ระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของแต่ละประเทศถือเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รักษามาตรฐานทางมาตรวิทยาขั้นสูงสุดของประเทศ ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของการสอบกลับได้สำหรับปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องของประเทศนั้น ๆ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีหน้าที่ทำให้มั่นใจว่ามาตรฐานปฐมภูมิที่รักษาไว้นั้น สามารถเปรียบเทียบได้ในระดับระหว่างประเทศ และมีหน้าที่รับผิดชอบในการกระจายค่ามาตรฐานสู่ผู้ใช้งาน ได้แก่ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ หน่วยงานของรัฐ และภาคอุตสาหกรรม

3. ระดับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ (Reference Standard) ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับรองโดยบุคคลที่สามหรือองค์กรให้การรับรองที่ประจำในแต่ละประเทศ ที่ให้การรับรองโดยการตรวจประเมินความสามารถทางเทคนิคตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ซึ่งหนึ่งในข้อกำหนดที่สำคัญได้แก่ ความสามารถสอบกลับได้ของการวัดถึงระบบหน่วยระหว่างประเทศ การให้การรับรองโดยทั่วไปหมายถึงการรับรองความสามารถของการวัดพร้อมกับความไม่แน่นอนน้อย

ที่สุดที่ห้องปฏิบัติการสามารถกระทำได้ ซึ่งได้มาจากการใช้เครื่องมือวัด มาตรฐานการวัดและวิธีการวัดที่เหมาะสมนั่นเอง

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองจะต้องแสดงหลักฐานความสามารถสอบกลับได้ของการวัดที่ได้จากการสอบเทียบมาตรฐานอ้างอิงในห้องปฏิบัติการกับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับรองที่มีความสามารถของการวัดดีกว่าตน

4. ระดับห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายในโรงงาน (Industrial standards) การสอบเทียบที่กระทำขึ้นภายในโรงงาน เพื่อทำให้มั่นใจว่าเครื่องมือตรวจและทดสอบทั้งหมดที่มีผลต่อคุณภาพได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานใช้งานของโรงงานโดยมาตรฐานใช้งานของโรงงานจะต้องได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรอง หรือจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ แล้วแต่กรณี ซึ่งความสามารถในการทำการสอบเทียบเองจะต้องคำนึงถึงความสามารถของปฏิบัติงาน วิธีการในการวัด เครื่องมือและมาตรฐานการวัด ห้องปฏิบัติการตลอดจนระบบการบันทึกผล เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องและแม่นยำของการวัด

2.3 องค์ประกอบของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดจะต้องประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

1. บุคลากรผู้ทำการสอบเทียบ
2. อุปกรณ์มาตรฐานการวัด (Measurement Standard)
3. สภาพแวดล้อมในการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด
4. เอกสารขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด
5. ระบบคุณภาพในการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

2.3.1 บุคลากรผู้ทำการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดจะต้องมีเจ้าหน้าหรือบุคลากรที่เป็นผู้ทำการสอบเทียบ โดยที่ผู้รับผิดชอบจะต้องจัดเตรียมเจ้าหน้าที่ในการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดให้ได้มาตรฐาน ในการคัดเลือกเจ้าหน้าที่ที่จะมาทำการสอบเทียบ ควรพิจารณาจากคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ผ่านการศึกษาที่จำเป็นได้รับการฝึกอบรมมีความรู้ทางเทคนิคและมีประสบการณ์ในงานที่จะต้องรับผิดชอบ
2. มีความสามารถในการแก้ปัญหา กล้าตัดสินใจในทางเทคนิค
3. มีความอดทน ซื่อสัตย์ ซื่อตรง
4. เป็นผู้ที่นิยมชมชอบความสมบูรณ์ ทำอะไรให้เสร็จไม่ตกค้าง
5. เป็นผู้ที่มีใจกว้าง ยอมรับความคิดเห็นผู้อื่น

6. เป็นผู้ที่มีความมั่นใจในตัวเองและสนใจในรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ

7. ยอมรับข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น กล้าสอบถามปัญหาที่ยังเห็นว่ายังไม่เข้าใจ

8. มีความสามารถในการร่วมงานกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดี

2.3.2 อุปกรณ์มาตรฐานการวัด

นอกจากต้องมีบุคลากรที่จะมาทำการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดแล้ว อุปกรณ์มาตรฐานการวัดก็เป็นองค์ประกอบอันดับที่สองของการสอบเทียบ การจัดเตรียมหาอุปกรณ์มาตรฐานการวัดนั้นจะต้องจัดเตรียมให้ได้ตามคุณภาพดังต่อไปนี้

1. ต้องมีความถูกต้องมากพอที่จะใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน ตัวอย่างเช่นในหน่วยงานมีเครื่องวัดที่ต้องการสอบเทียบมาตรฐานที่มีค่าความถูกต้องเท่ากับ +/- 1% ของค่าที่วัด ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกอุปกรณ์มาตรฐานที่มีค่าความถูกต้องไม่มากกว่า +/-0.025% ของค่าที่วัด หรือประเมิน 4 – 10 เท่า ขึ้นไป

2. ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีเสถียรภาพในการทำงานสูง กล่าวคือค่าความถูกต้องในการทำงานไม่เปลี่ยนไปตามเวลาจนทำให้ความถูกต้องลดลงจนไม่สามารถยอมรับได้

3. ต้องมีย่านการวัดและความละเอียดในการวัดที่เพียงพอต่อการใช้งานสอบเทียบ

4. ต้องเป็นเครื่องมือที่สามารถสอบย้อนได้ถึงมาตรฐานแห่งชาติ

5. ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกซื้อเครื่องมือมาตรฐานการวัดที่สามารถหาที่สอบเทียบมาตรฐานได้ง่ายภายในประเทศ เพราะการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือที่เป็นมาตรฐานการวัดจะต้องกระทำทุกวงรอบเวลาที่กำหนด การหาแหล่งสอบเทียบยากจะทำให้เกิดปัญหาในการสอบเทียบในครั้งต่อไป

2.3.3 สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบนั้นจะต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมของห้องที่ทำการสอบเทียบให้มีสภาวะตามข้อกำหนดสากลของห้องสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด กล่าวคือ

1. ต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องสอบเทียบมาตรฐานให้คงที่ตามมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 23 องศาเซลเซียส +/- 3 องศาเซลเซียส นอกจากจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ในค่าดังกล่าวแล้วจะต้องควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละชั่วโมงไม่ควรมากกว่า 0.6 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อความถูกต้องในการทำงานเครื่องมือวัด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมากจะทำให้ผลการสอบเทียบมาตรฐานเกิดความไม่แน่นอนในการวัดอย่างมากด้วยเช่นกัน

2. ต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ภายในห้องสอบเทียบที่มีค่าอยู่ที่ 45% RH +/- 15% RH อนึ่ง ถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีมากเกินกว่าขีดจำกัดจะทำให้เกิดสนิมกับส่วนที่เป็นโลหะของเครื่องมือวัด ในทางตรงกันข้ามการมีความชื้นในอากาศน้อยกว่าที่กำหนด ก็ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องประจุไฟฟ้าในอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นง่ายซึ่งบางครั้ง จะทำลายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บางชิ้นได้

3. ปริมาณฝุ่น เนื่องจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดประกอบด้วยเครื่องมือที่มีความถูกต้องสูงและความละเอียดในการวัดสูงมาก ปริมาณฝุ่นที่มากเกินไปอาจจะทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้ เนื่องจากฝุ่นจะเข้าไปจับบริเวณรอยต่อหรือหัววัดต่าง ๆ สำหรับข้อกำหนดของเรื่องปริมาณฝุ่นไม่ได้มีการกำหนดตายตัวไว้แต่ต้องรักษาความสะอาดภายในห้องสอบเทียบตลอดเวลา

4. ระดับความสว่างบนโต๊ะสอบเทียบมาตรฐานจะต้องให้มีความสว่างเพียงพอที่จะทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ทำการสอบเทียบไม่ต้องใช้สายตามากจนปวดตา ระดับแสงบนโต๊ะสอบเทียบไม่ควรน้อยกว่า 100 ฟุต/แรงเทียน

5. ระดับเสียงในห้องปฏิบัติการ ระดับเสียงในพื้นที่สอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดที่มีความดังมากเกินไปจะทำให้ผลการวัดบางชนิดผิดพลาด และยังส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพโดยตรงของผู้ปฏิบัติงาน ในเรื่องความสามารถในการได้ยินเสียงเรื่องความเครียดในขณะทำงานดังนั้นห้องปฏิบัติการสอบเทียบทั่วไปจึงพยายามรักษาระดับเสียงในห้องปฏิบัติการให้มีค่าต่ำกว่า 45 dB

6. ความกดดันบรรยากาศภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการป้องกันฝุ่นจากภายนอกไม่ให้เข้าไปในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และป้องกันไม่ให้อากาศร้อนภายนอกห้องปฏิบัติการรั่วไหลเข้ามาในห้องปฏิบัติการ จึงต้องรักษาความกดดันภายในห้องให้มากกว่าบรรยากาศภายนอกอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.1 นิ้วน้ำ

2.3.4 เอกสารมาตรฐานแสดงขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน

เอกสารมาตรฐานแสดงขั้นตอนการสอบเทียบ เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด เพราะถ้าปราศจากการสอบเทียบมาตรฐาน การสอบเทียบเครื่องมือวัดที่จัดเตรียมไว้อย่างดี การสอบเทียบที่กระทำแต่ละครั้งก็จะได้ผลที่ไม่ใช่ค่าซ้ำ (Repeatability) ทำให้ผลการสอบเทียบไม่น่าเชื่อถือ เพราะไม่ทราบว่าการสอบเทียบครั้งใดถูกต้อง การให้ได้มาซึ่งผลการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดอาจจะได้มาจาก

1. เอกสารคู่มือการสอบเทียบจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องวัดนั้น

2. สิ่งพิมพ์ทางวิชาการหรือบทความทางวิชาการที่เป็นที่ยอมรับ

3. การเขียนขึ้นเองโดยผู้ชำนาญการในสาขาต่าง ๆ และได้ผ่านการตรวจสอบโดยผู้มีอำนาจให้ใช้ในขั้นตอนนั้นได้

2.3.5 ระบบคุณภาพในการสอบเทียบ

ระบบคุณภาพ (Quality System) หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยโครงสร้างองค์กร หน้าที่ความรับผิดชอบ วิธีดำเนินการ กระบวนการ และทรัพยากร สำหรับการนำการบริหารงานคุณภาพไปปฏิบัติ ระบบคุณภาพในการสอบเทียบมาตรฐานประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. การควบคุมคุณภาพในการปฏิบัติการสอบเทียบ หมายถึง ระเบียบที่เขียนขึ้นหรือข้อบังคับต่าง ๆ หรือระบบขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานประจำวันที่ทำให้มั่นใจว่าการปฏิบัติมีคุณภาพตลอดเวลา โดยปกติแล้วห้องปฏิบัติการสอบเทียบมักจะกำหนดนโยบายคุณภาพของหน่วยงานไว้เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามนโยบายคุณภาพตลอดเวลา

2. การประกันคุณภาพในการปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน หมายถึง การวางแผนการปฏิบัติที่เป็นระบบเพื่อแสดงให้เห็นอย่างเพียงพอว่าระบบหรืออุปกรณ์มาตรฐานมีคุณภาพตามที่ต้องการอย่างแท้จริง ซึ่งการประกันคุณภาพนี้อาจกระทำได้โดยกรรมวิธีดังต่อไปนี้

ก) การใช้วิธีการเก็บข้อมูลโดยหลักสถิติ

การประกันคุณภาพวิธีนี้จัดเป็นการประกันคุณภาพภายในห้องปฏิบัติการการสอบเทียบ ซึ่งผู้บริหารห้องปฏิบัติการจะต้องมีความรู้ทางด้านสถิติเบื้องต้นที่จะเข้าใจและสามารถดำเนินการประกันคุณภาพโดยหลักสถิติได้ ตัวอย่างเช่นการเก็บข้อมูลค่าของอุปกรณ์มาตรฐานเป็นระยะเวลาช่วงหนึ่งและกำหนดแนวโน้มการเลื่อนค่าในอนาคต

ข) การขอรับการรองรับความสามารถห้องปฏิบัติการ

การขอรับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ(Laboratory Accreditation) ตามมาตรฐานสากล ISO/IEC–GUIDE 25 หรือ มอก. 1300-2537 เป็นกรรมวิธีการประกันคุณภาพจากภายนอก ที่วัดความสามารถในการวัดทางวิชาการและได้รับการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการที่เป็นกลาง ห้องปฏิบัติการจะต้องจัดระบบคุณภาพให้เป็นไปตามข้อกำหนดห้องปฏิบัติการที่ได้ผ่านการรับรองความสามารถแล้วจะได้รับการยอมรับในผลการวัดจากหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ

ค) การเข้าร่วมโครงการการทดสอบความชำนาญ

เป็นการทดสอบความชำนาญในการวัดของห้องปฏิบัติการผู้เข้าร่วมจะต้องทำการวัด อุปกรณ์ที่รู้ค่าความถูกต้อง และรายงานผลการวัดตามสภาพจริงตามห้องปฏิบัติการวัดได้ โดยผู้จัดโครงการจะเป็นผู้ประเมินว่าที่เข้าร่วมโครงการมีความสามารถในการวัดตามที่ระบุไว้ได้จริงหรือไม่

2.4 หลักการในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด [2, 4, 8-9]

ในอดีตการบอกผลการวัดของเครื่องมือวัดใดๆ จะเป็นการพิจารณาจากค่าความผิดพลาด (Error) ที่คำนวณได้จากค่าจริงลบกับค่าที่วัดได้

ค่าความผิดพลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

- ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error: e) คือค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัด

$$e = X_t - X_m \tag{2.5}$$

เมื่อ e = ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error)

X_t = ค่าจริง (True Value)

X_m = ค่าที่วัด (Measured Value)

- ค่าความผิดพลาดสัมพันธ์ (Relative Error) หรือเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาด (% Error) คือค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้จากค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง

$$\% \text{ Error} = \left|\frac{X_t - X_m}{X_t}\right| \times 100\% \tag{2.6}$$

เมื่อ % Error = ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์

X_t = ค่าจริง (True Value)

X_m = ค่าที่วัด (Measured Value)

ตัวอย่างที่ 1 การหาค่าความผิดพลาดของการวัดตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานที่อุณหภูมิ $10^0C, 30^0C, 50^0C, 70^0C, 90^0C$ ค่าที่วัดได้มีดังนี้

ตารางที่ 2.3 ผลการวัดการวัดตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง (^0C)	ค่าที่อ่านได้	
	ตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (^0C)	ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^0C)
10.0	10.1	10.0
30.0	29.8	30.0
50.0	50.3	50.0
70.0	70.4	70.0
90.0	89.8	90.0

วิธีคิด

สามารถหาค่าความผิดพลาด โดยใช้สมการที่ 2.4 และ 2.5 ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การคำนวณค่าความผิดพลาด

ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง (^{0}C)	ค่าที่อ่านได้จาก		ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (^{0}C)	ค่าผิดพลาดสัมพันธ์ (%)
	ตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (^{0}C)	ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^{0}C)		
10.0	10.1	10.0	-0.10	1.00
30.0	29.8	30.0	0.20	0.67
50.0	50.3	50.0	-0.30	0.60
70.0	70.4	70.0	-0.40	0.57
90.0	89.8	90.0	0.2	0.22

แต่ความเป็นจริง ในการวัดไม่สามารถรู้ค่าจริงที่ถูกต้องได้ เป็นเพียงค่าที่ตกลงกันเท่านั้นว่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดและไม่มีการวัดครั้งใดที่ไม่มีความผิดพลาด การวัดทุกครั้งมีความผิดพลาดในการวัดทั้งสิ้นเพราะเกิดความไม่แน่นอนในการวัด เพราะฉะนั้นเพื่อให้ผลการวัดมีมาตรฐานเพียงพอที่จะยอมรับได้จึงจำเป็นจะต้องคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) ในแต่ละครั้งของการวัดด้วย แทนการพิจารณาเพียงแค่ค่าความผิดพลาดเพียงค่าเดียว

ความไม่แน่นอนของการวัด [4] คือ ค่าของผลการประเมินที่เจาะจงไปที่คุณสมบัติเฉพาะในช่วงที่คาดว่าค่าจริงของสิ่งที่จะวัดนั้นเป็นอยู่ โดยทั่วไปจะระบุพร้อมด้วยค่าความน่าจะเป็นไปได้ด้วยค่าระดับความมั่นใจ (Confidence Level) เพราะการสอบเทียบจะมีความสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่จะทำได้นั้นจำเป็นจะต้องให้ข้อมูลและอธิบายให้ผู้ใช้ข้อมูลได้ทราบถึงค่าที่ได้จากการสอบเทียบพร้อมระบุค่าความไม่แน่นอนในการวัดไว้ในรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งหลายองค์กรให้การยอมรับว่าการสอบเทียบนั้นมีความสมบูรณ์ดีที่สุด

2.4.1 แหล่งของความไม่แน่นอนในการวัด

จากมาตรฐาน ISO-9000 และ ISO/IEC 17025 กำหนดในเรื่องการวัดและการสอบเทียบว่าจะต้องทราบค่าความไม่แน่นอนของการวัด จึงจะทราบว่าผลการวัดใด ๆ ที่ได้นั้นมีคุณภาพดีพอกับความต้องการของงานแต่ละงานหรือไม่ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในด้านนี้จึงจำเป็นต้องรู้วิธีประเมินองค์ประกอบต่าง ๆ หรือแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่ส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดด้วย

ความผิดพลาด [10] คือ ความแตกต่างระหว่างผลของการวัดกับค่าจริงของปริมาณที่ทำการวัด หลังจากการแก้ไขค่าแล้ว ในการวัดนั้นอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. จากการใช้วิธีการวัดที่ผิด
2. จากความผิดพลาดของเครื่องมือวัดเอง และจากการสอบเทียบมาตรฐาน
3. จากการอ่านค่าผิดหรือจากการคำนวณผิด
4. จากสภาพแวดล้อม และการรบกวนจากภายนอก
5. จากการรบกวนที่คาดเดาไม่ได้ ฯลฯ

โดยทั่วไปจะแบ่งความผิดพลาดเป็น 2 ชนิด [10] คือ

1. ความผิดพลาดสุ่ม

ความผิดพลาดสุ่ม (Random Error) คือ ความแตกต่างระหว่างผลการวัดที่เกิดแบบคาดเดาไม่ได้ จะเกิดแบบไม่มีระเบียบแบบแผนแน่นอน มักถูกมองว่าเป็น "สิ่งรบกวนที่ไม่มีระเบียบแน่นอน" ในกระบวนการวัดความผิดพลาดสุ่มนี้จะถูกประเมินค่าโดยวิธีทางสถิติ

2. ความผิดพลาดของระบบ

ความผิดพลาดของระบบ (Systematic Error) คือ ความแตกต่างจากค่าจริง ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในระบบการวัด ความผิดพลาดจากระบบเหล่านี้เป็นผลมาจากสิ่งที่วัดได้ (เป็นอุณหภูมิ ความชื้นหรือ ความดัน) และมีผลกระทบสัมพันธ์กับค่าของปริมาณที่ทำการวัดสิ่งอื่น ๆ เช่น ความผิดพลาดจากตัวมาตรฐาน เป็นต้น การเกิดความผิดพลาดสุ่มในเวลาหนึ่ง อาจเป็นความผิดพลาดของระบบในอีกด้านหนึ่งได้

ค่าความไม่แน่นอนในการวัด มีปัจจัยมาจากค่าความไม่แน่นอนในการวัดหลายๆปัจจัย ในการวัดมารวมกันเข้า ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนโดยรวม ดังนั้นในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดนั้น จะต้องทราบถึงแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยค่าที่นำมาพิจารณานั้นจะกำหนดและบอกโดยผู้เชี่ยวชาญทางเทคนิคในเรื่องนั้น

การประเมินค่าความไม่แน่นอนจะอาศัยวิธีมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในเอกสาร UKAS M3003 [11] แบ่งเป็นวิธีประเมิน "แบบ A (Type A)" กับ "แบบ B (Type B)" ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

แบบ A คือการประเมินโดยการคำนวณจากชุดข้อมูลการวัดซ้ำ ๆ กันหลายครั้งด้วยวิธีทางสถิติ

แบบ B คือการประเมินโดยพิจารณาจากค่าที่มีผลทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด

2.4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A (Type A Standard Uncertainty) เป็นการประเมินความไม่แน่นอนที่เกิดจากความผิดพลาดสุ่ม โดยการใช้หลักการทางสถิติ การประเมินนั้นจะคำนวณจากชุดข้อมูลการวัดซ้ำๆ กันหลายครั้ง และพิจารณาความถี่ของการวัดได้ค่าซ้ำกัน

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

- หาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของค่าที่วัด x_1, x_2, x_3,....., x_n ดังสมการที่ 2.6

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_n}{n} \tag{2.7}$$

- นำค่าเฉลี่ย $\overline{X}$ ที่ได้มาคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน S (Standard Deviation) ดังสมการที่ 2.8

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{X})^2}{n-1}} \tag{2.8}$$

- นำค่า S ที่ได้มาหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย σ (Standard Deviation of mean) ดังสมการที่ 2.9

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{2.9}$$

โดยที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Deviation of mean) หรือ σ ในสมการที่ (2.9) ถือว่าเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบ A

$$U_A(x) \equiv \sigma \tag{2.10}$$

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ A ของการสอบเทียบอาร์ทีดีชนิด Pt100 ที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C โดยอ่านค่าซ้ำ 5 ครั้งทุก 10 นาที ค่าที่อ่านได้มีดังนี้ 49.99, 50.00, 50.03, 50.00, 50.00 ตามลำดับ

วิธีคิด

ขั้นตอนมีดังนี้

- หาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของค่าที่วัดได้ $= \frac{49.99+50.00+50.03+50.00+50.00}{5} = 50.004\,^0$C

- นำค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ที่ได้มาคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน S (Standard Deviation)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

จะได้

$$(x_1 - \overline{X})^2 = (49.99-50.004)^2 = 0.000196$$

$$(x_2 - \overline{X})^2 = (50.00-50.004)^2 = 0.000016$$

$$(x_3-\bar{X})^2 = (50.03-50.004)^2 = 0.000676$$

$$(x_4-\bar{X})^2 = (50.00-50.004)^2 = 0.000016$$

$$(x_5-\bar{X})^2 = (50.00-50.004)^2 = 0.000016$$

$$S = \sqrt{\frac{(0.000196)+(0.000016)+(0.000676)+(0.000016)+(0.000016)}{4}}$$

จะได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

$$S = 0.0152\ ^0C$$

- นำค่า S ที่ได้มาหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (σ)

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.0152}{\sqrt{5}} = 0.447\ ^0C$$

$\therefore$ ค่าความไม่แน่นอนแบบ A มีค่าเท่ากับ 0.447 ^{0}C

2.4.3 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เป็นการประเมินโดยใช้หลักทางสถิติ ส่วนค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B จะอาศัยวิธีการประเมินจากวิธีมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในเอกสาร UKAS M3003 [11] ซึ่งได้แสดงถึงการกำหนดวิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนไว้อย่างครบถ้วน และในเอกสาร UKAS M3003 ได้สรุปค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B จากแบบการกระจายค่าที่ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบมักจะได้พบบ่อยๆ และขนาดของค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B ที่ประเมินได้มีดังนี้

- ค่าความไม่แน่นอนที่ได้มาจากใบแสดงผลการสอบเทียบจะมีรูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal Probability Distribution) ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณจะต้องหารด้วยค่าตัวประกอบครอบคลุม (K) คือ Uncertainty / K

- ถ้าแหล่งของความไม่แน่นอนให้ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Probability Distribution) ค่าที่นำมาคำนวณจะต้องหารด้วย $\sqrt{3}$ เช่น ค่าเลื่อน (Drift) ของตัววัดอุณหภูมิอ้างอิงและตัววัดอุณหภูมิทดสอบ ค่าความละเอียด (Resolution) ตัววัดอุณหภูมิอ้างอิงและตัววัดอุณหภูมิทดสอบ ค่าความไม่คงที่ของอุณหภูมิภายในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ

- ถ้าแหล่งความไม่แน่นอนให้ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายเป็นสามเหลี่ยม (Triangular Probability Distribution) ค่าที่นำมาคำนวณจะต้องหารด้วย $\sqrt{6}$

เมื่อได้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B ตามวิธีประเมินข้างต้น จะต้องรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B ย่อยๆทั้งหมดให้เป็นค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B รวม (U_b) ดังสมการที่ 2.11

$$U_b = \sum_{i=1}^{n} U_{bi}^2 \qquad (2.11)$$

เมื่อ U_b = ค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B รวม

U_{bi} = ค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B ย่อยๆ n ตัว

ตัวอย่างที่ 3 สมมุติให้การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิมีเครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับอ่านค่าจากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน

วิธีคิด

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B จะเป็นการประเมินว่าองค์ประกอบใดบ้างที่มีผลทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัดในครั้งนั้น ซึ่งการประเมินแล้วจะได้ค่าตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.5 การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B

สัญลักษณ์	แหล่งของความไม่แน่นอนในการวัดที่นำมาประเมิน	ค่าที่นำมาคำนวณ (±) ❶	รูปแบบการกระจาย [11]	ตัวหาร ❷	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B ❶/❷
U_{b1}	ค่าที่ได้จากการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานครั้งก่อน	0.003	ปกติ	2	0.0015
U_{b2}	ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	0.05	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.0289
U_{b3}	ค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	0.1	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.0557
U_{b4}	ค่าเลื่อนค่า (Drift) ของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	0.01	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.0058
U_{b5}	ค่าความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	0.05	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.0289
U_b	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B รวมทั้งหมด	$U_b = \sum_{i=1}^{5} U_{bi}^2$			**0.1208**

จากตารางแสดงตัวอย่างการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B ตามมาตรฐานในเอกสาร UKAS M3003 [11] ระบุไว้ โดยค่าที่นำมาประเมินจะพิจารณาจากการระบบที่ใช้ในการสอบเทียบในแต่ละครั้งว่าการสอบเทียบนั้นมีเครื่องมือวัดหรือตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานหรือองค์ประกอบใดบ้างที่จะผลทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการวัด

2.4.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม (Combined Standard Uncertainty: U_c) จะรวมเอาค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A และ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B เข้าด้วยกัน การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ได้จากทั้งสองกลุ่มใช้วิธีการรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เรียกว่า วิธีรากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root-Sum-of-Square: RSS) เพื่อให้ได้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดทั้งหมด ได้แสดงในสมการ 2.9

$$U_c=\sqrt{(U_a)^2+(U_b)^2} \tag{2.12}$$

เมื่อ

U_c = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม

U_a = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A

U_b = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B

2.4.5 ค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม ที่ประเมินได้มีความเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่มีความมั่นใจมากพอสำหรับเครื่องมือวัดในอุตสาหกรรมที่ต้องการความถูกต้องอย่างสูง จึงควรเลือกค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวมที่ประเมินได้ โดยจะต้องคูณด้วยค่าตัวประกอบครอบคลุม k (Coverage Factor) เพื่อให้เป็นค่าความไม่แน่นอนขยาย

$$U = kU_c \tag{2.13}$$

เมื่อ U = ค่าความไม่แน่นอนขยาย

k = ตัวประกอบครอบคลุมโดยมาตรฐาน [11] กำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

U_c = ค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม

ตัวอย่างที่ 4 จากตัวอย่างที่ 2 และ 3 ให้คำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวมและค่าความไม่แน่นอนขยาย

วิธีคิด

จากตัวอย่างที่ 2 ได้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ A (U_a) มีค่าเท่ากับ $0.47\ ^0C$

$$U_a = 0.47\ ^0C$$

และจากตัวอย่างที่ 3 ได้ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B (U_b) มีค่าเท่ากับ $0.1208\ ^0C$

$$U_b = 0.1208\ ^0C$$

$\therefore$ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดรวม (U_c)

$$U_c = \sqrt{\left(0.47\right)^2 + \left(0.1208\right)^2} = 0.487\ ^0C$$

$\therefore$ ค่าความไม่แน่นอนขยาย (U)

$$U = k\,U_c = 2(0.487) = 0.974\ ^0C$$

ผลของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ $50\ ^0C$ จะมีค่าเท่ากับ $50.004\ ^0C \pm 0.974\ ^0C$

2.4.6 การรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

การรายงานผลการสอบเทียบต้องรายงานอย่างถูกต้อง ชัดเจน ไม่คลุมเครือ และรายงานอย่างเป็นรูปธรรม เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะในขั้นตอนการสอบเทียบนั้น การรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐานบางครั้งก็เรียกว่า "ใบรับรองผลการสอบเทียบมาตรฐาน" เนื้อหาในใบรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดต้องประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1. มีหัวกระดาษเขียนว่าใบรายงานผลการสอบเทียบ
2. ชื่อ และที่ตั้งห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน
3. การชี้บ่งใบรายงานแต่ละแผ่นแสดงให้เห็นว่าเป็นชุดเดียวกัน และต้องแสดงให้เห็นส่วนที่เป็นใบรายงานแผ่นสุดท้ายด้วย (อาจแสดงหมายเลขใบรายงานผลและหมายเลขหน้า)
4. ชื่อที่อยู่ของลูกค้า

5. ระบุการสอบเทียบที่ใช้ในการสอบเทียบ

6. คำบรรยายคุณลักษณะตัวอย่างที่นำมาสอบเทียบที่ชัดเจน

7. วันที่รับตัวอย่างมาสอบเทียบ

8. วิธีการสุ่มตัวอย่างหรือกรรมวิธีตัวอย่าง ซึ่งอาจเกี่ยวพันกับการยอมรับ หรือการใช้ผลการสอบเทียบ

9. ผลการสอบเทียบมาตรฐาน ที่ประกอบด้วยหน่วยการวัด

10. ชื่อ ตำแหน่งของผู้มีอำนาจในการรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐาน

11. ข้อความที่ระบุการรายงานนี้ มีเฉพาะตัวอย่างที่นำมาสอบเทียบเท่านั้นเมื่อเกี่ยวข้อง

12. สภาวะที่ ที่ทำการสอบเทียบมาตรฐานเช่นอุณหภูมิที่ส่งผลต่อคุณภาพการสอบเทียบ

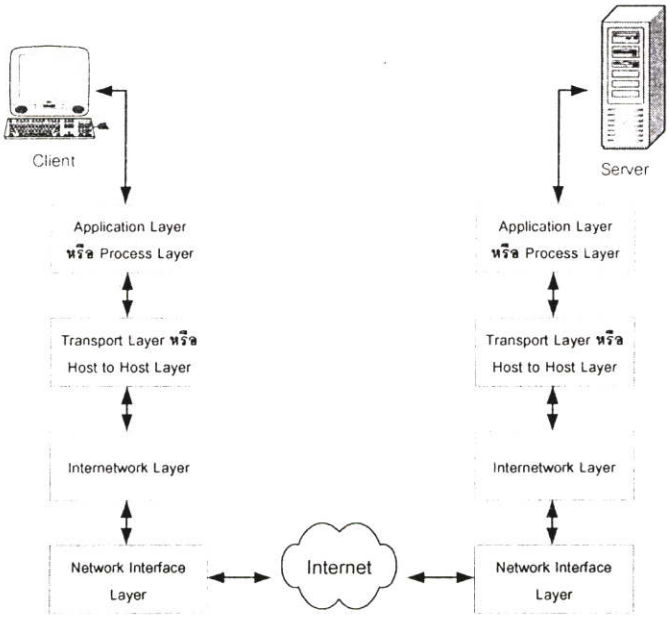
13. ความไม่แน่นอนในการสอบเทียบมาตรฐาน และหรือข้อความระบุความเป็นไปตามข้อคุณลักษณะของเครื่องมือวัด

14. หลักฐานแสดงความสามารถสอบกลับได้ของการวัด

ในกรณีที่เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบมาตรฐานมีการปรับแต่ง การรายงานผลการสอบเทียบมาตรฐานต้องระบุค่าทั้งก่อนปรับแต่งและหลังการปรับแต่ง ใบรายงานผลการสอบเทียบต้องไม่ระบุวันครบกำหนดสอบเทียบครั้งต่อไปลงในใบรายงาน ยกเว้นได้มีการตกลงกับลูกค้าเรียบร้อย การรายงานผลการสอบเทียบควรมีรูปแบบในการรายงานที่เป็นมาตรฐานเท่าที่เป็นไปได้และง่ายในการประยุกต์ใช้

2.5 การสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต [14-19]

อินเตอร์เน็ต คือ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ทั่วโลกเข้าด้วยกัน ซึ่งระบบอินเตอร์เน็ตจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการงานต่างๆ แก่เครื่องอื่นๆ เรียกว่าเครื่องแม่ข่าย (Server) ส่วนคอมพิวเตอร์ที่เข้ามาขอบริการงานต่างๆจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์เรียกว่าเครื่องลูกข่าย (Client) ในการทำงานในระบบลูกข่าย-แม่ข่าย จะมีโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานร่วมกันนั่นก็คือโปรแกรมที่ทำงานฝั่งแม่ข่ายและโปรแกรมที่ทำงานฝั่งลูกข่าย เช่น Microsoft Internet Explorer หรือ Netscape Navigator โดยการติดต่อสื่อสารกันของคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต จะมีมาตรฐานในการสื่อสารหรือโพรโตคอล (Protocol) เดียวกัน ซึ่งโพรโตคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) เป็นชุดของโพรโตคอลที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การสื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในระหว่างทางอาจจะผ่านเครือข่ายที่มีปัญหา โพรโตคอล TCP/IP ก็ยังสามารถที่จะค้นหาเส้นทางอื่นที่เหมาะสมในการส่งผ่านข้อมูลแทนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



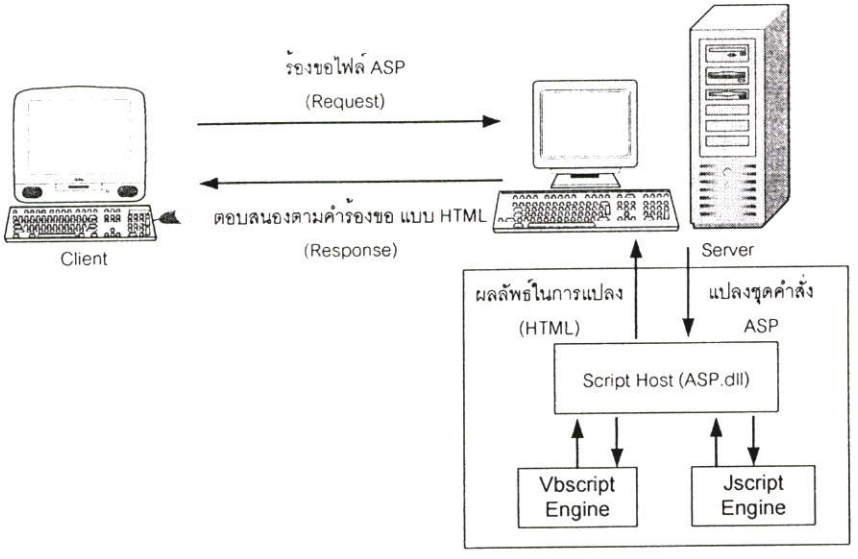
รูปที่ 2.11 ภาพรวมของชั้นโพรโตคอล TCP/IP

จากรูปที่ 2..11 แสดงหน้าที่ของชั้นในโพรโตคอล TCP/IP โดยเริ่มจากเมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลผ่านโปรแกรมหรือแอพพลิเคชั่น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านชั้นสื่อสารอินเตอร์เน็ต (Process Layer หรือ Application Layer) ทำหน้าที่ติดต่อกับแอพพลิเคชั่นและโพรโตคอลที่แอพพลิเคชั่นนั้นๆใช้งาน และส่งต่อมาให้ชั้นจัดการนำส่งข้อมูล (Transport Layer หรือ Host to Host Layer) ทำหน้าที่แบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็กเก็ต (Packet) ในชั้นนี้จะมีการสร้าง การเชื่อมต่อ (session) ระหว่างระบบขึ้นมาตามแต่ละโพรโตคอลที่ต้องการ ต่อมาเป็นการผนึกข้อมูลไปเป็นไอพีดาต้าแกรม (IP datagram) ที่ชั้นสื่อสารอินเตอร์เน็ต (Internetwork Layer) โดยอาศัยโพรโตคอล IP เพื่อให้สามารถติดต่อส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายไปยังเครือข่ายและเครื่องที่ถูกต้องได้ และในชั้นสุดท้ายจะเป็นการส่งข้อมูลออกสู่อินเตอร์เน็ต โดยผ่านชั้นติดต่อเครือข่าย (Network Interface Layer) เพื่อแปลงข้อมูลใหม่ และเพิ่มข้อมูลที่จำเป็นในการอ้างอิงตำแหน่ง จากนั้นจะแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งออกไปยังเครือข่าย ผ่านเกตเวร์ (Gateway) หรืออุปกรณ์สลับช่อง (Router) เพื่อผ่านไปยังเส้นทางที่กำหนดไว้ในอินเตอร์เน็ตต่อไป

2.5.1 การพัฒนาเว็บไซต์โดยใช้ ASP [17-18]

Active Server Pages (ASP) เป็นเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาเว็บไซต์ ที่ทำงานในฝั่งแม่ข่าย โดยภายในเอกสาร ASP จะประกอบด้วยแท็ก HTML และ Server Side Script (ภาษา VBScript, ภาษา Jscript) ซึ่งสคริปต์โค้ดของ ASP จะถูกประมวลผลที่ฝั่งแม่ข่าย โดยเครื่องมือในการแปลงชุดคำสั่ง VBScript Engine หรือใช้ Jscript Engine ขึ้นอยู่กับภาษาที่ใช้พัฒนาเว็บไซต์ จากนั้นจะส่ง

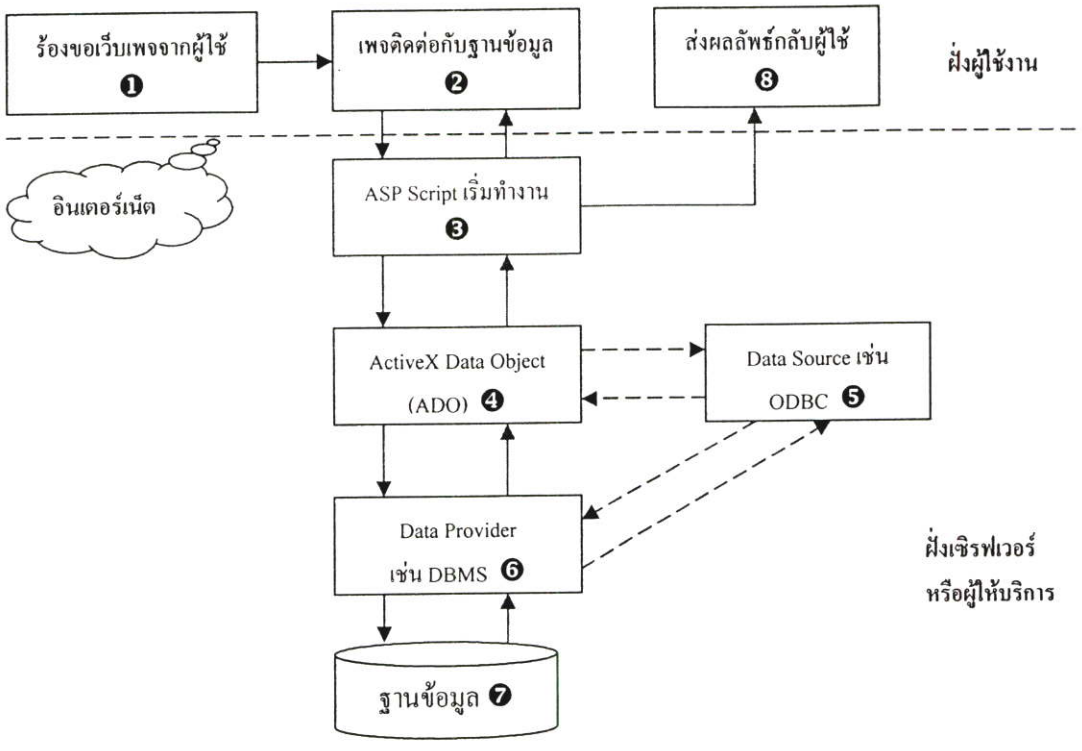
ผลลัพธ์สุดท้ายของการทำงานที่อยู่ในรูปแบบของ HTML ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและแสดงผลลัพธ์ที่เว็บเบราเซอร์ของลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของเทคโนโลยี ASP

2.5.2 การเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล

การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นด้วย ASP เพื่อติดต่อกับฐานข้อมูล สามารถทำได้โดยติดต่อผ่าน ADO (ActiveX Data Object) และเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่งข้อดีก็คือทำให้สามารถทำงานกับฐานข้อมูลชนิดต่างๆได้สะดวก หลักการเว็บเพจที่พัฒนาจาก ASP เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลแสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 หลักการเว็บเพจที่พัฒนาจาก ASP เพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล

จากรูปที่ 2.13 ขั้นตอนในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลของเว็บเพจที่พัฒนาจาก ASP อธิบายได้ดังนี้

❶ = ผู้ใช้งาน (Client) จะเปิดเว็บเพจที่พัฒนาจาก ASP เพื่อส่งหรือรับข้อมูลจากฐานข้อมูล จะทำการร้องขอมายังเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Server)

❷ = เว็บเซิร์ฟเวอร์เมื่อได้รับการร้องขอจะเรียกใช้โปรเซสเซอร์ ActiveX Server Page Script

❸ = โปรเซสเซอร์ ActiveX Server Page Script จะอ่านและเอ็กซิคิวต์ในส่วนของสคริปต์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์

❹ = โค้ดของสคริปต์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์จะโหลดออฟเจ็กต์ ADO ต่างๆ แล้วใช้เมธอดจากออบเจ็กต์เหล่านั้นเพื่อเข้าถึงแหล่งข้อมูล (Data Source) ในเซิร์ฟเวอร์จะเข้าถึงแหล่งข้อมูลในฐานข้อมูลไปที่ ❻ ได้โดยตรง

❺ = ในบางกรณีที่ฐานข้อมูลชนิดอื่นเช่น MS SQL Server, Oracle ออฟเจ็กต์ ADO จะผ่านทาง ODBC (Open Database Connectivity) ซึ่งทำหน้าที่เปิดตาราง อ่านหรือบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลได้เช่นเดียวกัน

❻ = ในที่สุด ADO จะส่งคำสั่งไปยังตัวจัดเตรียมข้อมูลโดยระบบจัดการฐานข้อมูลคือ DBMS (Database Management System)

❼ = สุดท้ายข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือบันทึกจะเข้าถึงฐานข้อมูลได้สำเร็จและจะส่งผลลัพธ์กลับไปยังเว็บเพจที่ร้องขอข้อมูลจากฐานข้อมูล

❽ = ผลลัพธ์ที่ได้จากฐานข้อมูล จะถูกนำมาแสดงในเว็บเพจ ตามการร้องขอจากผู้ใช้งาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jovan Bojkovski และคณะ [20] พัฒนาโปรแกรมสอบเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความสามารถในการให้การสอบเทียบให้ถูกต้องมากขึ้น เกิดความสม่ำเสมอในการวัด ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ และสามารถสอบเทียบอุณหภูมิได้รวดเร็วยิ่งขึ้น การสอบเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ จะประกอบด้วยโปรแกรมสำหรับควบคุมการสอบเทียบและเก็บผลการสอบเทียบ อุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบจะต้องสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ เช่น RS 232 หรือ IEEE 488 (GPIB) แหล่งกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน และตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ผลการพัฒนาการสอบเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถตั้งค่าแหล่งกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานรวดเร็วขึ้น 5-10 วินาที เพิ่มความรวดเร็วในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนและการจัดเก็บผลการสอบเทียบไว้ในฐานข้อมูล สามารถลดเวลาในขั้นตอนการสอบเทียบจนเสร็จสิ้นจากเดิมได้ 20% และลดเวลาในคำนวณและรายงานผลการสอบเทียบจากเดิมได้ 50%

David J. Southworth [21] พัฒนาวิธีการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิที่เครื่องมือวัดอุณหภูมิไม่มีพอร์ทเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้กล้องดิจิตอลในการอ่านค่าที่หน้าจอของเครื่องมือวัดนั้น แล้วทำการบันทึกผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่ทำการทดลองประกอบด้วย แหล่งสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานใช้สำหรับอ้างอิง คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งโปรแกรมสอบเทียบอัตโนมัติ กล้องดิจิตอล ผลการทดลองที่ได้จะเป็นการเก็บค่าที่วัดได้ในรูปภาพ ที่ภายในภาพจะบอกค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบและวัน เวลาที่ทำการสอบเทียบ ทำให้วิธีการสอบเทียบวิธีนี้จะเป็นการประหยัดต้นทุนในการซื้อเครื่องมือวัดอุณหภูมิราคาแพงและเป็นการนำเอากล้องดิจิตอลมาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบได้

J.A. Bailey. [22] นำเสนอแนวคิดและหลักการที่ห้องปฏิบัติการจะเลือกซอฟแวร์และคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสอบเทียบและการออกใบแสดงผลการสอบเทียบ โดยหลักการในการเลือกใช้ซอฟแวร์สามารถเลือกใช้ซอฟแวร์ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายหรือพัฒนาเองก็ได้ แต่วัตถุประสงค์ของซอฟแวร์จะต้องตอบสนองความต้องการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้ เช่น สามารถเก็บประวัติเครื่องมือวัดที่มีในห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้ เจ้าหน้าที่สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก ทำความเข้าใจได้ง่าย และสามารถเพิ่มอุปกรณ์ใหม่และวิธีการสอบเทียบได้ และในกรณีที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมีอยู่หลายห้อง ซอฟแวร์ที่ใช้จะต้องสามารถเชื่อมโยงกับเครือข่ายได้เพื่อให้วิธีการสอบเทียบได้มาตรฐานเดียวกันในทุกห้อง

Oldham N. และคณะ [23] พัฒนาวิธีการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบแบบหลายฟังก์ชันผ่านอินเตอร์เน็ต โดยยกตัวอย่างการทดลองสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์เทียบกับมาตรฐาน องค์ประกอบที่สำคัญของระบบสอบเทียบนี้คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ และดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาตรฐานที่ห้องปฏิบัติการระดับชาติ ในการตรวจสอบวิธีการสอบเทียบจะดูผ่านกล้องดิจิตอลผ่านอินเตอร์เน็ต ผลที่ได้คือ วิธีการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตนี้จะเกิดความสะดวกในการทำงาน และลดเวลาในการสอบเทียบ พร้อมทั้งทำให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานในระดับชาติและนานาชาติ เพราะผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอื่นสามารถทราบถึงวิธีการสอบเทียบที่เป็นมาตรฐานจากห้องปฏิบัติการแห่งชาติ โดยศึกษาผ่านอินเตอร์เน็ต

Lisa B. Baca และคณะ [24] พัฒนาการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบหลายฟังก์ชันผ่านอินเตอร์เน็ต โดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะตั้งอยู่ที่ Sandia National Laborotories, a Lockheat Martin Company, USA ส่วนผู้ปฏิบัติการสอบเทียบอยู่ที่ National Institute of Standards and Technology, Teddington, Middlesex, TW11 0lW, UK. โดยอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบคือดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ผู้ทำการสอบเทียบจะติดตามตรวจสอบวิธีการตั้งค่าการสอบเทียบและการจัดวางอุปกรณ์ โดยภาพที่ได้จากกล้องผ่านอินเตอร์เน็ต ผลที่ได้รับคือการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบหลายฟังก์ชันผ่านอินเตอร์เน็ตทำให้มั่นใจได้ว่าการสอบเทียบได้มาตรฐานและได้ผลการสอบเทียบมีค่าใกล้เคียงกับการสอบเทียบภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายเครื่องมือวัดมาตรฐานไปยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

R.A.Dudley และคณะ [25] พัฒนาการสอบเทียบเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzers) ผ่านอินเตอร์เน็ต เพื่อเป็นการยืนยันถึงมาตรฐานที่ย้อนกลับไปที่ห้องปฏิบัติการแห่งชาติได้ และการสอบเทียบจะสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายที่นำมาสอบเทียบมีค่าความถี่อยู่ที่ 45 MHz ถึง 110 GHz ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายตั้งอยู่จะมีคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมสอบเทียบอัตโนมัติ (PIMMS: Primary Microwave Measurement System) ที่สามารถติดต่อเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายผ่านพอร์ท GPIB (IEEE488) ผลการพัฒนาทำให้การให้บริการสอบเทียบเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

C. Cassiago และคณะ [26] ได้นำเอาอินเตอร์เน็ตมาช่วยในการสอบเทียบเครื่องมือวัดไฟฟ้าความถี่ต่ำ โดยห้องปฏิบัติการจะทำการติดตั้งเครื่องวัดของบริษัท Wavetek รุ่น 5720MFC เครื่องมือวัดที่ต้องการสอบเทียบจะเป็นรุ่น Wavetek รุ่น 4950MTS โดยการสอบเทียบจะใช้โปรแกรมการสอบเทียบอัตโนมัติ ที่ติดตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการ ซึ่งโปรแกรมจะสามารถกำหนดจุดสอบเทียบได้ 200 จุด เจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการจะต้องทำการอุ่นเครื่องมือวัดประมาณ 6 ชั่วโมง และทำการสอบเทียบพร้อมทั้งปรับตั้งเครื่องมือวัดอีก 4.5 ชั่วโมงจึงจะแล้วเสร็จ ผลที่จากการสอบเทียบเครื่องมือวัด

ไฟฟ้าความถี่ต่ำคือ จะลดขั้นตอนในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานเอง ทำให้ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบอีกด้วย

S. Narayanan [27] นำเสนอการพัฒนาระบบการสอบเทียบให้ดีที่สุด ในแง่ความคงที่ในการสอบเทียบ ลดค่าความไม่แน่นอนในการวัด และลดเวลาในการสอบเทียบให้น้อยที่สุด โดยระบบที่พัฒนาประกอบด้วยอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบบรรจุของเหลว 2 เครื่อง ย่านการสร้างอุณหภูมิ -80 ^{0}C ถึง 290 ^{0}C ใช้ของเหลวคือแอลกอฮอล และพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบบรรจุของเหลว ซึ่งขั้นตอนการสอบเทียบจะดำเนินการแบบอัตโนมัติ โดยโปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หลักการออกแบบจะจำลองระบบและทดลองผลโดยใช้โปรแกรม SPICE ผลการทดลองในระบบจริงที่ได้คือ อุณหภูมิภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบบรรจุของเหลวที่ตั้งไว้จะเปลี่ยนแปลงประมาณ $\pm 0.005^{0}$C ซึ่งเพียงพอในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบ Liquid in Glass

A. Carullo และคณะ [28] นำเสนอวิธีการสอบเทียบอุปกรณ์วัดและเก็บค่า (Data Acquisition) ผ่านอินเตอร์เน็ต โดยอุปกรณ์ที่ต้องการสอบเทียบและอุปกรณ์มาตรฐานจะอยู่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ผู้ควบคุมการสอบเทียบจะส่งคำสั่งผ่านอินเตอร์เน็ต โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ตพัฒนาจากโปรแกรมภาษาจาวา งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีรักษาความปลอดภัยในการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตโดยวิธีการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ทำให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลการสอบเทียบได้ ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญสอบเทียบประจำที่ห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถควบคุมการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตได้ ลดความเสียหายในการส่งอุปกรณ์ไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลการสอบเทียบที่มีประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตมาประยุกต์ใช้กับการสอบเทียบอุณหภูมิ โดยการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะเป็นการแก้ปัญหาข้อผิดพลาดจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ ลดเวลาและต้นทุนในการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบภายนอก ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบภายนอก แต่ยังคงรักษาความเชื่อมั่นในผลการวัดได้เช่นเดียวกันกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานทั่วไป

บทที่ 3
หลักการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ

ในบทนี้จะนำเสนอการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิในระดับมาตรฐานขั้นการใช้งาน(Working - Standard) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้

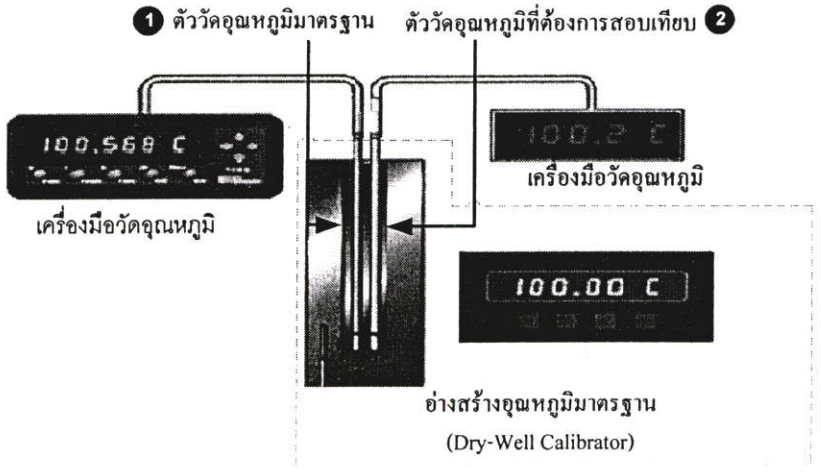
- การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ผู้สอบเทียบ (Manual Temperature Calibration)
- การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ (Automatic Temperature Calibration)

3.1 การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ผู้สอบเทียบ (Manual Temperature Calibration) [2, 4, 12-13]

การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบใช้ผู้สอบเทียบจะเป็นการใช้วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิโดยผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะเป็นผู้ดำเนินการสอบเทียบทั้งหมดทุกขั้นตอนภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ซึ่งวิธีการสอบเทียบจะใช้การสอบเทียบแบบเปรียบเทียบ (Comparative Method)

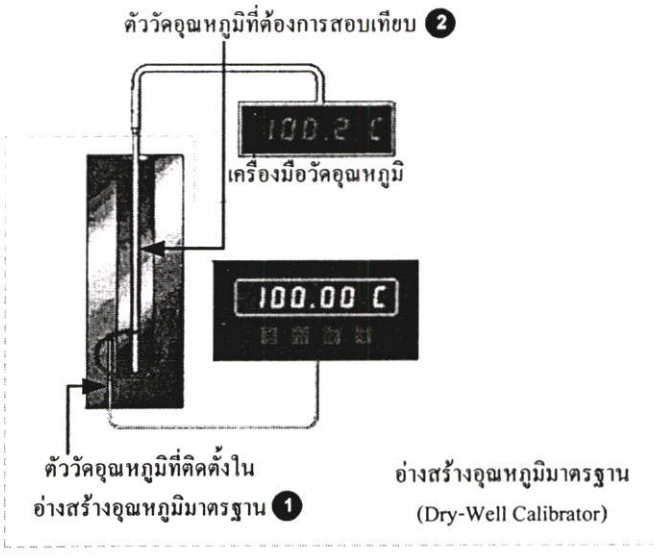
วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิโดยวิธีการเปรียบเทียบ จะอาศัยการเปรียบเทียบค่าของตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบเทียบกับกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานหรือแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (Heat Source) ได้โดยตรง

1. วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ โดยการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ต่ออยู่กับตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (❷) เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (❶) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

2. วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ โดยการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ต่ออยู่กับตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (❷) เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากตัววัดอุณหภูมิของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (❶) ดังรูปที่ 3.2

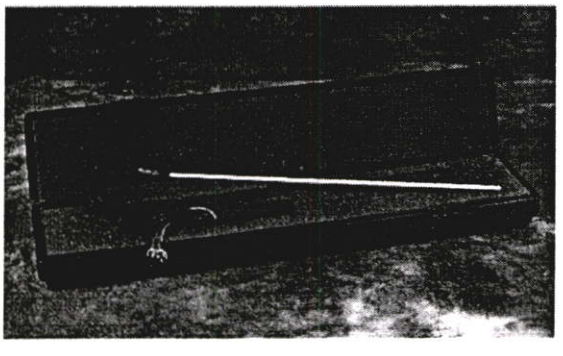


รูปที่ 3.2 วิธีสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิเทียบกับตัววัดอุณหภูมิของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ

1. ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

ตัววัดอุณหภูมิที่นำมาเป็นมาตรฐานจะต้องมีความเสถียรภาพและค่าความถูกต้องของการวัดที่สูงกว่าตัววัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบมากกว่า 4 เท่า ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานของบริษัท Hart Scientific Model 5627 ดังรูปที่ 3.3 เป็นตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานชนิดอาร์ทีดี (SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer) มีย่านการวัด -200 ^{0}C ถึง 500 ^{0}C ค่าความถูกต้องเท่ากับ ± 0.05 ^{0}C ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานชนิดนี้นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เพราะมีความเป็นเชิงเส้นระหว่างค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง



รูปที่ 3.3 ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานของบริษัท Hart Scientific Model 5627

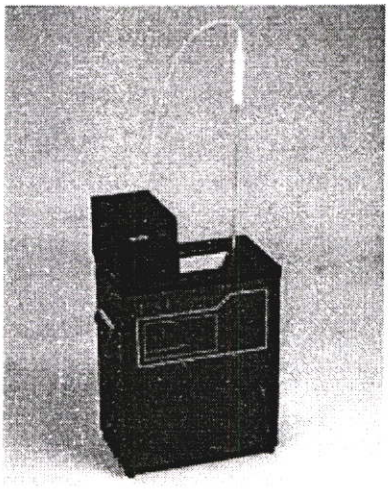
2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Readout)

เครื่องมือวัดอุณหภูมิจะทำหน้าที่ในการอ่านค่าจากตัววัดอุณหภูมิ ในการเลือกใช้งานจำเป็นจะต้องคำนึงถึงย่านการใช้งานและค่าความถูกต้องของการวัดให้เหมาะสมกับการสอบเทียบ เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานแบบดิจิตอล (Digital Thermometer) ยี่ห้อ YOKOGAWA Model 7563 ค่าความถูกต้องเท่ากับ $\pm 0.006\%$ สำหรับวัดเทอร์มอคัปเปิล และ $\pm 0.01\%$ สำหรับวัดอาร์ทีดี ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิยี่ห้อ YOKOGAWA Model 7563

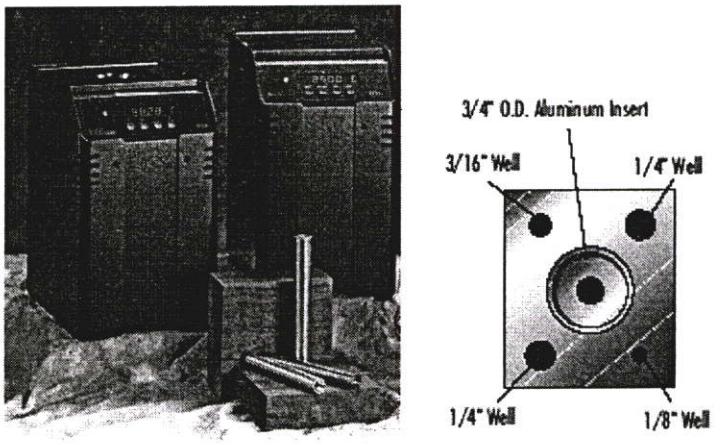
3. แหล่งกำเนิดอุณหภูมิ (Temperature Source)

แหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่นิยมใช้ในงานสอบเทียบมีอยู่หลายแบบ เช่น อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ของเหลว (Liquid bath) เป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่ใช้ของเหลวบรรจุในอ่าง ซึ่งของเหลวสามารถใช้น้ำ น้ำมัน หรือของเหลวอื่นๆตามมาตรฐานที่กำหนดจากผู้ผลิตได้ โดยของเหลวที่บรรจุในอ่างจะเป็นตัวกลางในการผ่านอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนไปยังตัววัดอุณหภูมิ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิชนิดนี้จะรักษาอุณหภูมิได้คงที่มากและค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบน้อยมาก เช่น อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ ยี่ห้อ ISOTECTH Model 820 ย่านการสร้างอุณหภูมิ $5\,^{0}\mathrm{C}$ ถึง $200\,^{0}\mathrm{C}$ มีค่าความถูกต้อง $\pm 0.01\,^{0}\mathrm{C}$ สามารถทำการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิพร้อมกันได้หลายตัวดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ของเหลว ยี่ห้อ ISOTECTH Model 820

ส่วนอีกประเภทหนึ่งคืออ่างสร้างอุณหภูมิแบบแห้ง (Dry-Well Calibrator) เป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่อาศัยโลหะเป็นตัวกลางส่งผ่านอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนสู่ตัววัดอุณหภูมิ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิประเภทนี้จะมีค่าความถูกต้องของการวัดที่น้อยกว่าแบบแรก แต่ข้อดีก็คือสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความแข็งแรง เช่น อ่างสร้างอุณหภูมิแบบแห้ง ยี่ห้อ Hart Scientific Model 9105 ย่านการสร้างอุณหภูมิ -20 ^{0}C ถึง 140 ^{0}C มีค่าความถูกต้อง ± 0.1 ^{0}C และค่าความละเอียดในการวัด 0.01 ^{0}C มีช่องสำหรับใส่ตัววัดอุณหภูมิได้ 5 ตัว ขนาด 3/4 นิ้ว 1/4 นิ้ว 1/8 นิ้ว และ1/16 นิ้ว ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบแห้ง ยี่ห้อ Hart Scientific

3.1.2 ขั้นตอนการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ

1. การตรวจสอบสภาวะเบื้องต้น (Initial Inspection)

โดยทั่วไปตัววัดอุณหภูมิที่จะส่งมาทำการสอบเทียบนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ทั้งแบบที่เป็นสายเปลือยและแบบที่มีปลอก (Sheath) หุ้ม ในเบื้องต้นให้ทำการสังเกตองค์ประกอบที่อาจจะส่งผลต่อการวัดและทำการบันทึกไว้

2. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ

- จัดเตรียมเครื่องมือวัดและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.7

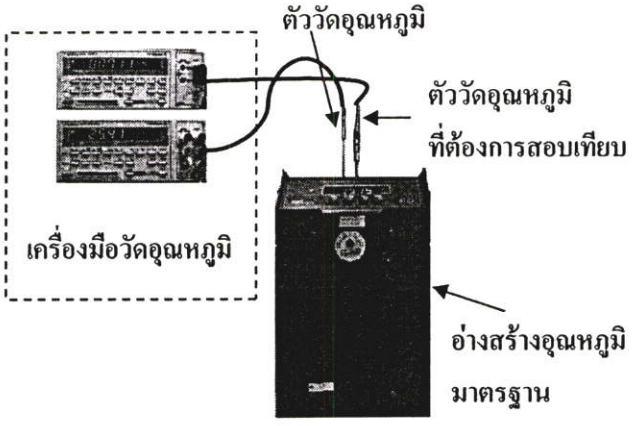
- อุ่นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ก่อนทำการสอบเทียบอย่างน้อย 30 นาที

- ปรับสภาพตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ โดยการอบที่อุณหภูมิใช้งานอย่างน้อย 2 ชั่วโมง จะทำให้ตัววัดอุณหภูมิวัดค่าได้อย่างถูกต้อง

3. ทำการกำหนดจุดสอบเทียบ

การกำหนดจุดสอบเทียบสามารถกำหนดได้โดยการพิจารณาจุดสอบเทียบ (Set-Point) ให้ครอบคลุมกับช่วงอุณหภูมิใช้งานจริงอย่างน้อยไม่ควรต่ำกว่า 3 จุด สำหรับการใช้งานเป็นช่วง

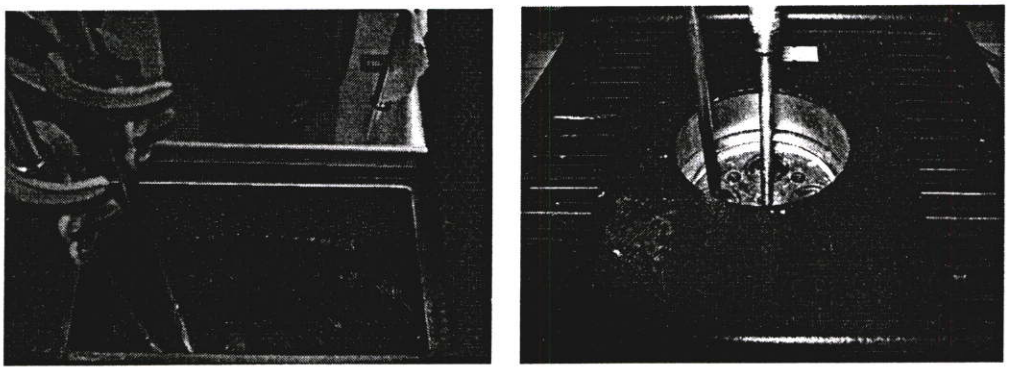
อุณหภูมิ คือ จุดต่ำสุด จุดสูงสุด และจุดกลางของช่วงใช้งาน งานวิจัยนี้เลือกใช้จุดสอบเทียบ 5 จุด ที่ 10%, 30%, 50%, 70%, 90% ของช่วงอุณหภูมิใช้งานจริงของตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ



รูปที่ 3.7 การจัดวางเครื่องมือวัดและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน

4. ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ

โดยทำการติดตั้งตามรูปที่ 3.7 โดยในการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ ควรที่จะติดตั้งให้ใกล้กัน และระดับความลึกในการจุ่มจะต้องลึกเพียงพอที่จะไม่ส่งผลทำให้เกิดค่าผิดพลาด (Error) ดังรูปที่ 3.8



(ก) (ข)

รูปที่ 3.8 ลักษณะการจุ่มตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ (ก) ภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบใช้ของเหลว (ข) ภายในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง

5. ดำเนินการสอบเทียบ

โดยปรับตั้งอุณหภูมิของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานตามจุดสอบเทียบที่กำหนด โดยในการสอบเทียบนั้นควรที่จะเริ่มสอบเทียบจากจุดต่ำสุดไปยังจุดสอบเทียบสูงสุด เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้วเป็นเวลาประมาณ 10 นาที ทำการบันทึกค่าลงในใบบันทึกผลการสอบเทียบโดยอ่านจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานในเวลาที่พร้อมกัน หลังจากนั้นทำการอ่านค่าซ้ำเพื่อหาค่าซ้ำอีก 5 ครั้ง แต่ละครั้งอ่านค่าห่างกัน 1 นาที เมื่ออ่านค่าครบแล้วก็ให้ทำการสอบเทียบในจุดอุณหภูมิต่อไปจนครบทุกจุดสอบเทียบ

6. เมื่อทำการสอบเทียบจนครบทุกอุณหภูมิแล้วให้นำค่าที่ได้จากการอ่านซ้ำในแต่ละอุณหภูมิมาทำการหาค่าเฉลี่ย และทำการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและคำนวณค่าความไม่แน่นอนแบบ A และประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ B จากนั้นคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด ตามหัวข้อ 2.4.2 – 2.4.5 หน้าที่ 26 - 31

7. รายงานผล

รูปแบบของการรายงานผลนั้นจะต้องรายงาน ผลของการสอบเทียบร่วมกับความไม่แน่นอนในการสอบเทียบ เช่น ผลการสอบเทียบเทอร์มอคัปเปิลแบบ K ที่อุณหภูมิ $100\,^{0}\mathrm{C}$ มีค่าเท่ากับ $100.12\,^{\circ}\mathrm{C} \pm 0.5\,^{\circ}\mathrm{C}$

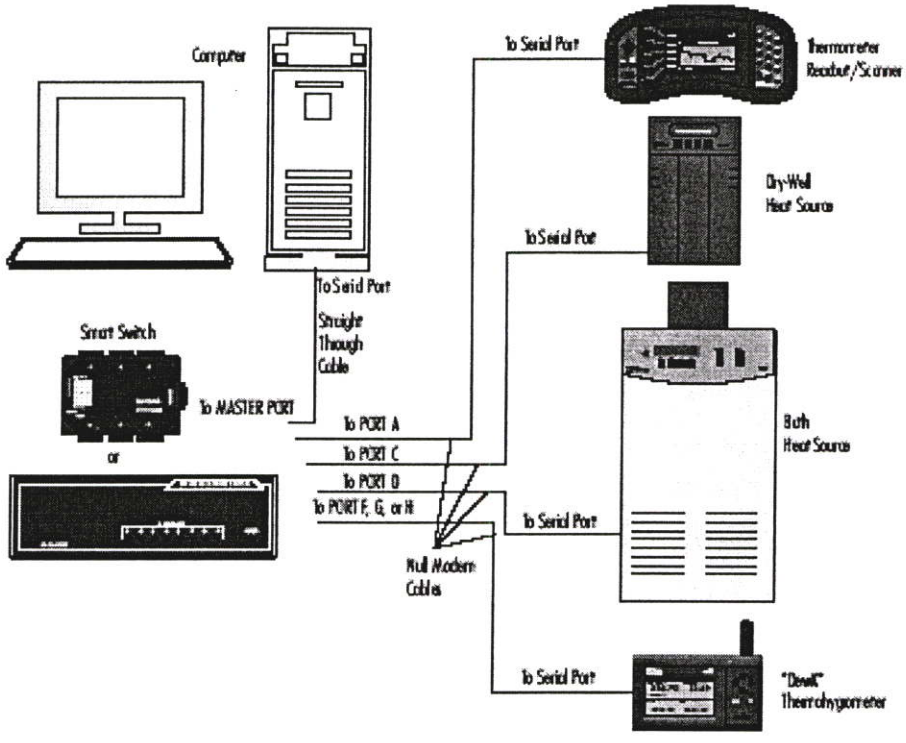
3.2 การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ (Automatic Temperature Calibration)

ในกรณีที่มีการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิปริมาณมาก การสอบเทียบโดยใช้ผู้สอบเทียบจะเกิดความผิดพลาดในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดได้ และการปรับตั้งค่าของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานจะใช้เวลานาน ปัจจุบันจึงมีผู้ผลิตพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติมาช่วยในการสอบเทียบ โดยขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับสอบเทียบและการป้อนข้อมูลยังคงใช้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบอยู่ แต่เมื่อกำหนดข้อมูลครบแล้วซอฟต์แวร์จะเริ่มทำงานแบบอัตโนมัติเอง ทำให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบมีเวลาในการทำงานอื่นได้อีกด้วย และจะลดความผิดพลาดในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด สามารถเก็บผลการวัดไว้ในฐานข้อมูล ทำให้การรายงานผลการสอบเทียบทำได้อย่างรวดเร็ว

3.2.1 ตัวอย่างโปรแกรมสอบเทียบอุณหภูมิแบบอัตโนมัติของบริษัท Fluke Corporation (Hart Scientific Division) ® รุ่น 9938 MET/TEMP II Version 4.3

โปรแกรม MET/TEMP II Version 4.3 เป็นโปรแกรมสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิที่สามารถควบคุมอุปกรณ์ อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานและเครื่องมือวัดได้ โดยสามารถกำหนดวิธีการสำหรับ

สอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์มอคัปเปิล โปรแกรมจะสามารถปฏิบัติการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติได้ 100 ตัว และสามารถกำหนดอุณหภูมิสอบเทียบได้ 40 ค่า สำหรับการควบคุมอุปกรณ์ อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน และเครื่องมือวัดจะติดต่อผ่านพอร์ทอนุกรม (RS232) ไปยังเครื่อง Smart Switch จากนั้นโปรแกรมจะกำหนดให้อ่านค่าจากเครื่องวัดอุณหภูมิ อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง (Dry-Well Heat Source) หรือแบบอ่างบรรจุของเหลว (Bath Heat Source) หรือเครื่องวัดอุณหภูมิ/ความชื้น (Thermohygrometer) สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นห้องปฏิบัติการผ่านพอร์ทอนุกรมเช่นกัน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

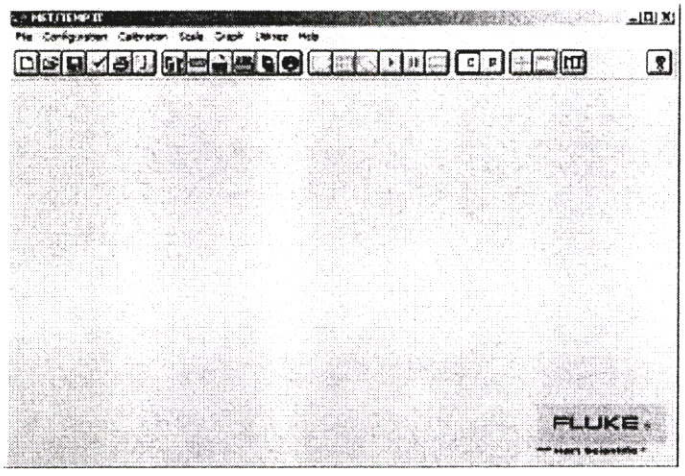
1. ข้อกำหนดคอมพิวเตอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรม

- คอมพิวเตอร์ รุ่น IBM 486 หรือรุ่นที่สูงกว่า ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows® 95/98/ME Windows® NT with Service Pack 4 หรือสูงกว่า, Windows® 2000, Windows® XP
- หน่วยความจำชั่วคราว (Ram) อย่างน้อย8 MB
- จอมอนิเตอร์
- มีพอร์ทอนุกรม (RS232)
- มีพื้นที่ของฮาร์ดดิสค์สำหรับติดตั้งโปรแกรมอย่างน้อย 12 MB

2. การใช้งานโปรแกรม

สำหรับการใช้งานโปรแกรม MET/TEMP II Version 4.3 เพื่อสอบเทียบ ขั้นตอนเบื้องต้นในการสอบเทียบจะเหมือนกับข้อ 1-2 หัวข้อ 3.1.2 จากนั้นจะเริ่มต้นโปรแกรมดังนี้

- เปิดโปรแกรม MET/TEMP II Version 4.3 หน้าจอโปรแกรมเริ่มต้นแสดงดังรูปที่ 3.10



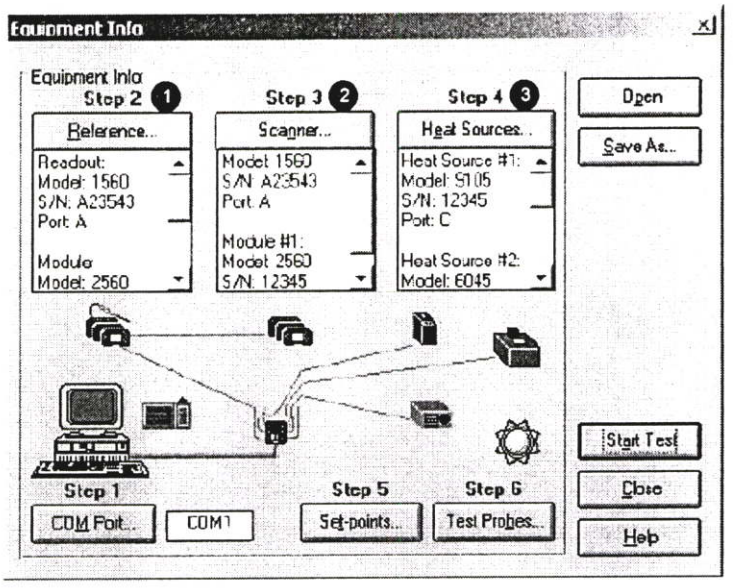
รูปที่ 3.10 หน้าจอเริ่มต้นโปรแกรม MET/TEMP II Version 4.3

- จากนั้นจะต้องกำหนดเครื่องมือวัดสำหรับอ่านค่าตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน แหล่งกำเนิดอุณหภูมิ และเครื่องมือวัดสำหรับอ่านค่าตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ ดังรูปที่ 3.11 รายละเอียดในการกำหนดค่ามีดังนี้

❶ = กำหนดประเภทและพอร์ทสำหรับเชื่อมต่อเครื่องมือวัด (Readout) ที่อ่านค่าจากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

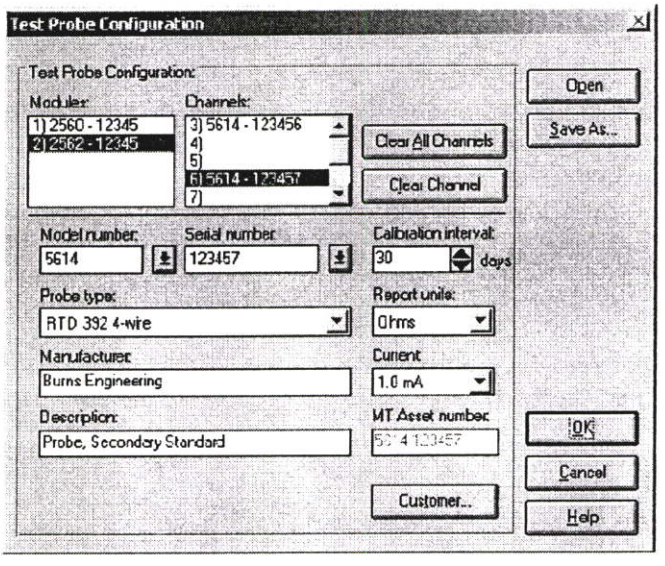
❷ = กำหนดเครื่องมือวัดแบบหลายช่อง (Scanner) ซึ่งสามารถวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบได้หลายตัวพร้อมกัน

❸ = กำหนดแหล่งกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน (Heat Sources)



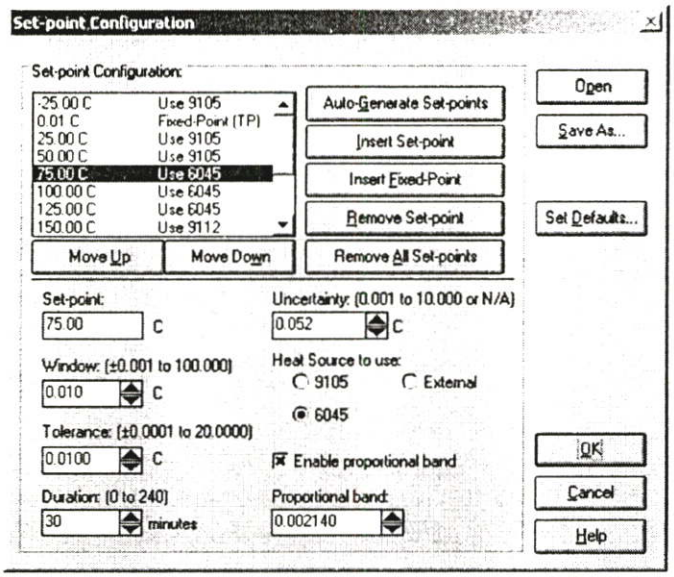
รูปที่ 3.11 หน้าจอสำหรับกำหนดเครื่องมือวัดและแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ

- กำหนดค่าตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ ดังรูปที่ 3.12



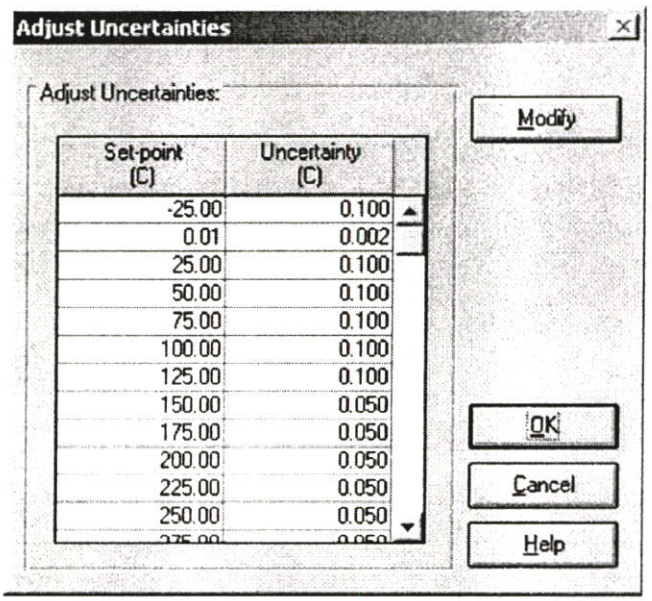
รูปที่ 3.12 หน้าจอสำหรับกำหนดค่าตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

- จากนั้นกำหนดจุดอุณหภูมิสอบเทียบ (Set-point) ตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถกำหนดให้โปรแกรมคำนวณจุดอุณหภูมิสอบเทียบได้โดยกดที่ปุ่ม Auto-Generate Set-points หรือกำหนดแบบจุดต่อจุดได้โดยกำหนดในช่อง Set-point: 75.00 C ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 3.13



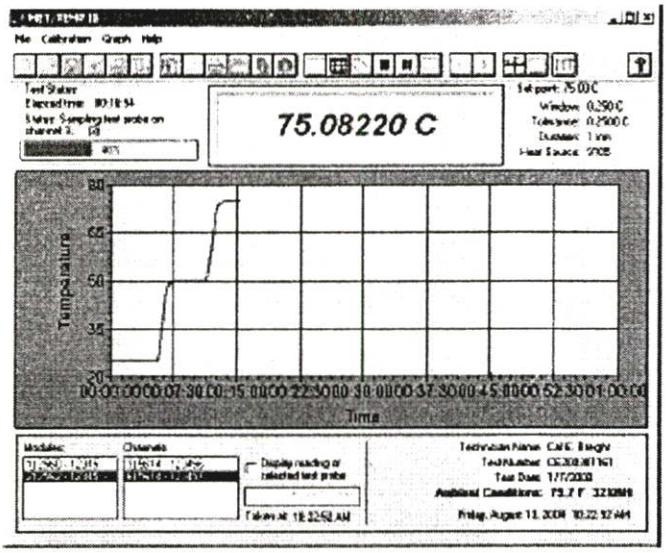
รูปที่ 3.13 การกำหนดจุดอุณหภูมิสอบเทียบ

- กำหนดค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ประเมินดังรูปที่ 3.14 โดยหลักในการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4



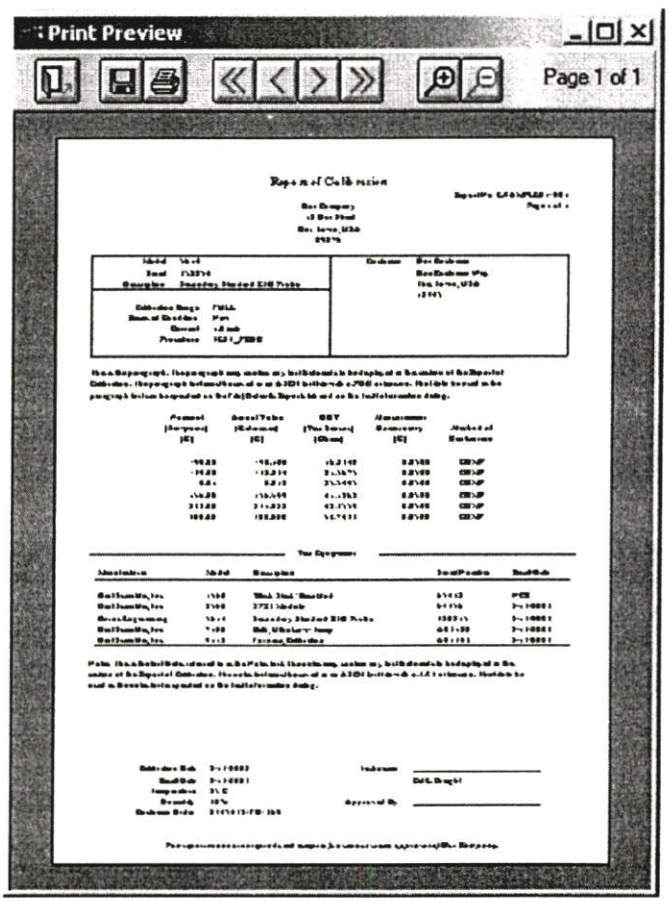
รูปที่ 3.14 หน้าจอสำหรับกำหนดค่าความไม่แน่นอนในการวัด

- หลังจากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอแสดงการสอบเทียบ โดยโปรแกรมจะส่งค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นจะอ่านค่าอุณหภูมิจากตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ ดังรูปที่ 3.15



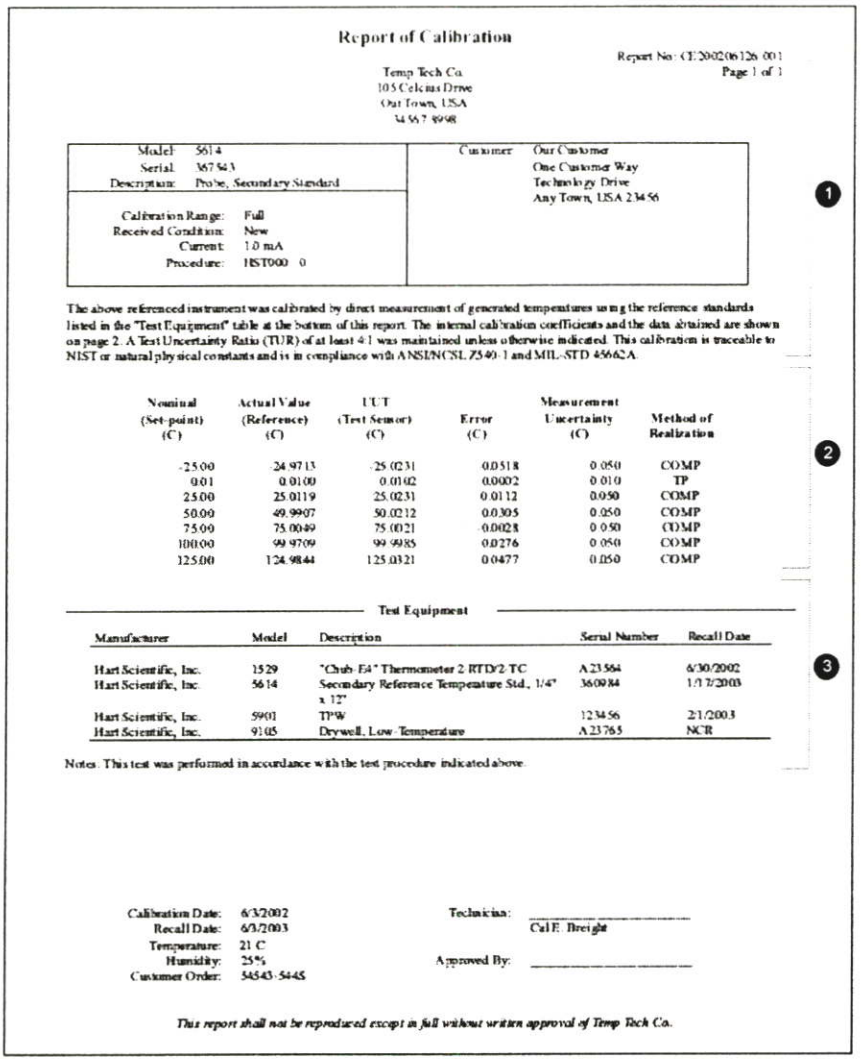
รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงการสอบเทียบ

- เมื่อขั้นตอนในการสอบเทียบเสร็จสิ้น ผลการสอบเทียบที่ได้จะแสดงในรูปใบรายงานผลการสอบเทียบ โดยการกดปุ่ม เพื่อดูผลการพิมพ์ก่อนพิมพ์จริง ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 หน้าจอรายงานผลการสอบเทียบ

- ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิดังรูปที่ 3.17 รายละเอียดที่แสดงในใบรายงานผลการสอบเทียบมีดังนี้



Report of Calibration

Report No: CE20020612b-001
Page 1 of 1

Temp Tech Co.
105 Celcius Drive
Our Town, USA
34567 8998

Model: 5614 Serial: 36784 3 Description: Probe, Secondary Standard	Customer: Our Customer One Customer Way Technology Drive Any Town, USA 23456
Calibration Range: Full Received Condition: New Current: 1.0 mA Procedure: HST900 0	

❶

The above referenced instrument was calibrated by direct measurement of generated temperatures using the reference standards listed in the "Test Equipment" table at the bottom of this report. The internal calibration coefficients and the data obtained are shown on page 2. A Test Uncertainty Ratio (TUR) of at least 4:1 was maintained unless otherwise indicated. This calibration is traceable to NIST or natural physical constants and is in compliance with ANSI/NCSL Z540-1 and MIL-STD 45662A.

Nominal (Set-point) (C)	Actual Value (Reference) (C)	UUT (Test Sensor) (C)	Error (C)	Measurement Uncertainty (C)	Method of Realization
-25.00	-24.9713	-25.0231	0.0518	0.050	COMP
0.01	0.0100	0.0102	0.0002	0.010	TP
25.00	25.0119	25.0231	0.0112	0.050	COMP
50.00	49.9907	50.0212	0.0305	0.050	COMP
75.00	75.0049	75.0121	0.0028	0.050	COMP
100.00	99.9709	99.9985	0.0276	0.050	COMP
125.00	124.9844	125.0321	0.0477	0.050	COMP

❷

Test Equipment

Manufacturer	Model	Description	Serial Number	Recall Date
Hart Scientific, Inc.	1529	"Chub-E4" Thermometer 2 RTD/2 TC	A23564	6/30/2002
Hart Scientific, Inc.	5614	Secondary Reference Temperature Std., 1/4" x 12"	36/0984	1/17/2003
Hart Scientific, Inc.	5901	TPW	123456	2/1/2003
Hart Scientific, Inc.	9105	Drywell, Low Temperature	A23765	NCR

❸

Notes: This test was performed in accordance with the test procedure indicated above.

Calibration Date: 6/3/2002
Recall Date: 6/3/2003
Temperature: 21 C
Humidity: 25%
Customer Order: 54543-5445

Technician: _____
Carl E. Breight

Approved By: _____

This report shall not be reproduced except in full without written approval of Temp Tech Co.

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

❶ = ข้อมูลรายละเอียดของบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบ และรายละเอียดตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดวิธีการสอบเทียบตามมาตรฐานที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบนั้นได้รับการรับรอง

❷ = ข้อมูลผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Set-Point) อุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (Actual Value: Reference) ค่าตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (UUT: Unit Under Test) ค่าความผิดพลาด (Error) ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ วิธีการสอบเทียบ (Method of Recalibration)

❸ = ข้อมูลของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

บทที่ 4
การพัฒนาการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

ในบทนี้จะนำเสนอการพัฒนาการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต โดยจะแบ่งการนำเสนอหลักการพัฒนาเป็น 3 ส่วน ได้แก่

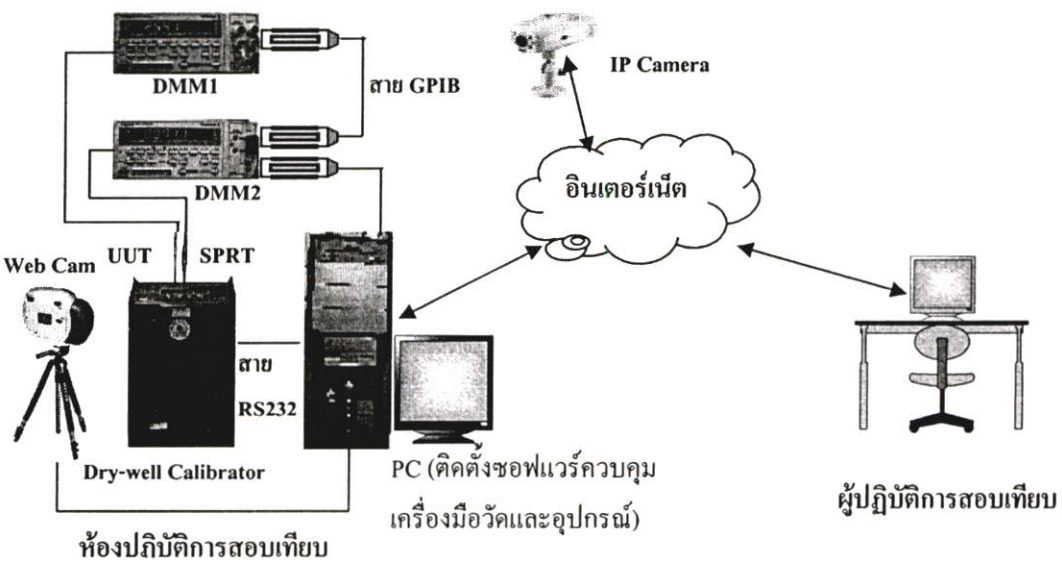
1. การเตรียมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต
2. การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และการออกแบบฐานข้อมูล
3. การพัฒนาเว็บไซต์สำหรับให้ผู้ปฏิบัติการสามารถควบคุมการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต

4.1 การเตรียมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต จะติดตั้งไว้ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทหรือโรงงานที่ต้องการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิของตนเอง โดยภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องปรับอุณหภูมิให้ได้ประมาณ 25 ^{0}C และรักษาความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ $\pm$50% R.H. เพื่อให้การให้ผลการวัดที่ได้มีความสม่ำเสมอมากที่สุด

4.1.1 การติดตั้งจัดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับสอบเทียบ

การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต จะติดตั้งจัดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ดังนี้ (รายละเอียดข้อกำหนดของเครื่องมือวัดแสดงในภาคผนวก ข)

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่ติดตั้งซอฟแวร์สำหรับควบคุมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ และติดต่อกับฐานข้อมูล และเชื่อมโยงกับอินเตอร์เน็ตเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบสามารถควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ตได้

2. ตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (UUT: Unit under Test)

3. ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานชนิดอาร์ทีดีแบบพลาตินั่ม (SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer) ยี่ห้อ Hart Scientific ย่านการวัด -200 ^{0}C ถึง 500 ^{0}C ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.05 ^{0}C

4. อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (Dry-well Calibrator) ยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น 9105 สร้างอุณหภูมิได้ -20 ^{0}C ถึง 140 ^{0}C ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.1 ^{0}C ค่าความละเอียด $\pm$ 0.01 ^{0}C

5. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐานสำหรับวัดตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (DMM1: Standard Digital Thermometer) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 7563 ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.006%(TC), $\pm$ 0.01%(RTD)

6. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐานสำหรับวัดตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (DMM2: Standard Digital Multimeter) ยี่ห้อYOKOGAWA รุ่น 7562 ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.01 mV_{dc}

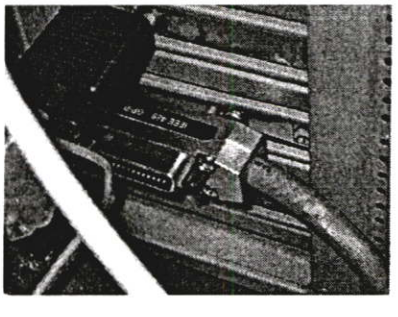
7. กล้องดิจิตอล (Web Cam) ยี่ห้อ Logitech รุ่น Click Smart 310

8. กล้อง IP Camera ยี่ห้อ Fujiko รุ่น FK-IP007

4.1.2 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัดและอุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์

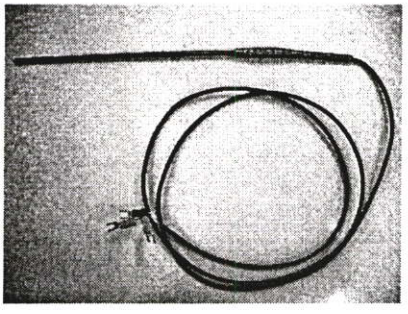
เพื่อให้ซอฟแวร์ที่ติดตั้งอยู่ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสามารถติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องมือวัดและอุปกรณ์กัน เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะต้องมีพอร์ทสำหรับติดต่ออยู่ 3 แบบ คือ พอร์ท GPIB (IEEE 488) พอร์ทอนุกรม (Serial Port: RS232) พอร์ทยูเอสบี (USB) และสายสัญญาณในการเชื่อมต่อ รายละเอียดมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่นำมาติดตั้งซอฟแวร์สำหรับควบคุมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ จากรูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อสาย GPIB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์



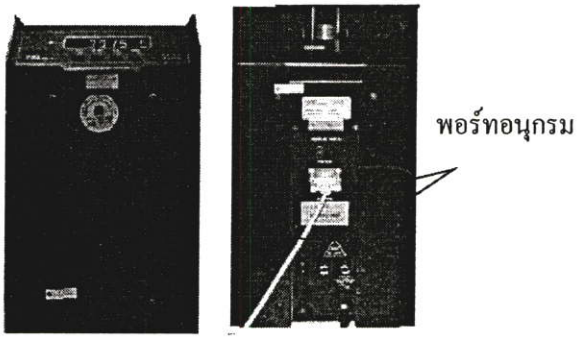
รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อสาย GPIB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

2. ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานชนิดอาร์ทีดีแบบพลาตินั่ม (SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer) ยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น 5627 ย่านการวัด -200 ^{0}C ถึง 500 ^{0}C ค่าความถูกต้อง $\pm 0.05\,^0$C มีสายสัญญาณ 4 เส้น



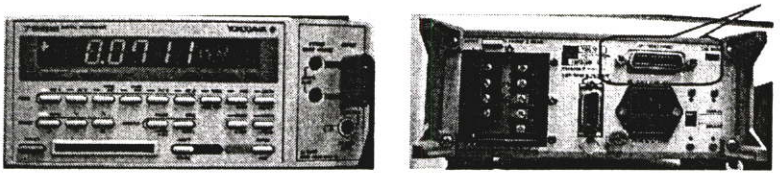
รูปที่ 4.3 ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

3. อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (Dry-well Calibrator) ยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น 9105 จะมีพอร์ทสำหรับติดต่อแบบพอร์ทอนุกรม (RS232)



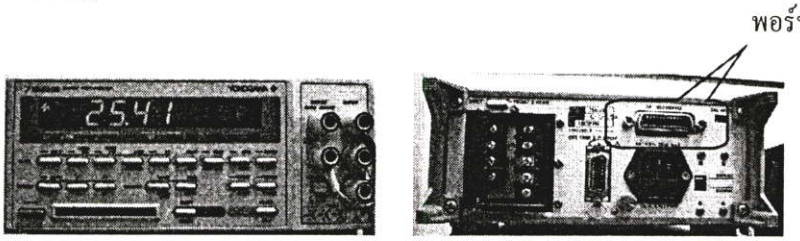
รูปที่ 4.4 อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน

4. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐาน (DMM1: Standard Digital Multimeter) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 7562 ค่าความถูกต้อง $\pm 0.01\,\mathrm{mV_{dc}}$ มีพอร์ทสำหรับติดต่อแบบ GPIB (IEEE 488)



รูปที่ 4.5 พอร์ท GPIB (IEEE 488) ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐาน

5. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน (DMM2: Standard Digital Thermometer) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 7563 ค่าความถูกต้อง ± 0.006%(TC), ± 0.01%(RTD) มีพอร์ทสำหรับติดต่อแบบ GPIB (IEEE 488)



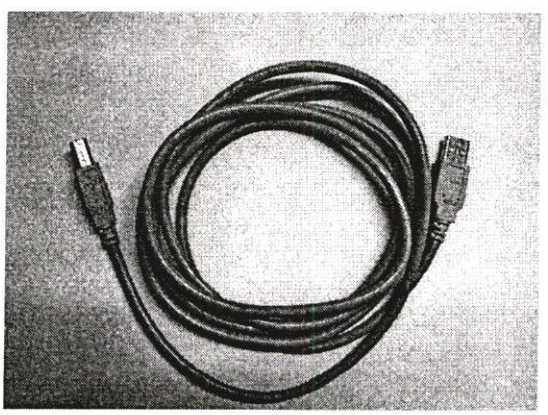
รูปที่ 4.6 พอร์ท GPIB (IEEE 488) ของดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐาน

6. กล้องดิจิตอล (Web Cam) ยี่ห้อ Logitech รุ่น Click Smart 310 (รูป ก) และกล้อง IP (รูป ข) โดยสามารถต่อผ่านอินเตอร์เน็ตได้โดยตรง

ก ข

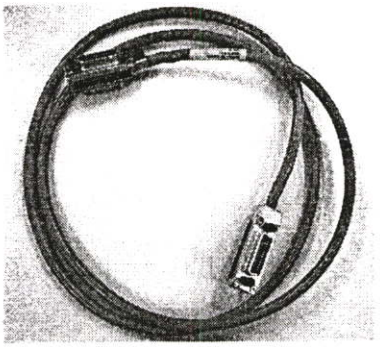
รูปที่ 4.7 กล้องดิจิตอลและกล้อง IP

7. สายสัญญาณเชื่อมต่อกล้องดิจิตอลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ทยูเอสบี



รูปที่ 4.8 สายสัญญาณเชื่อมต่อกล้องดิจิตอล

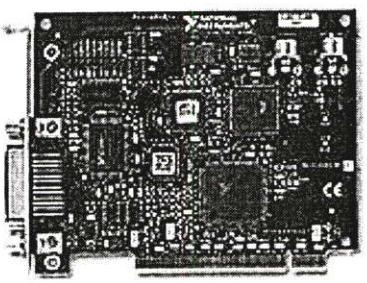
8. สายสัญญาณเชื่อมต่อ GPIB (IEEE-488) แบบ X2 รุ่น 763061-62



รูปที่ 4.9 สายเชื่อมต่อ GPIB (IEEE-488)

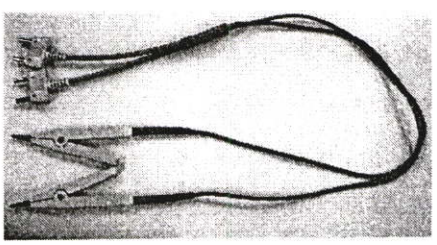
9. การ์ด GPIB (IEEE-488) ยี่ห้อ ICSELECT รุ่น IEEE-488 PCI
รายละเอียดมีดังนี้

- อัตราการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมือวัดกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 1 MHz
- รองรับระบบปฏิบัติการวินโดว์ 98/2000/XP
- สามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับอ่านค่าได้ โดยใช้โปรแกรม C/Visual Basic 6.0 /LabView/MathLab



รูปที่ 4.10 การ์ด GPIB (IEEE-488)

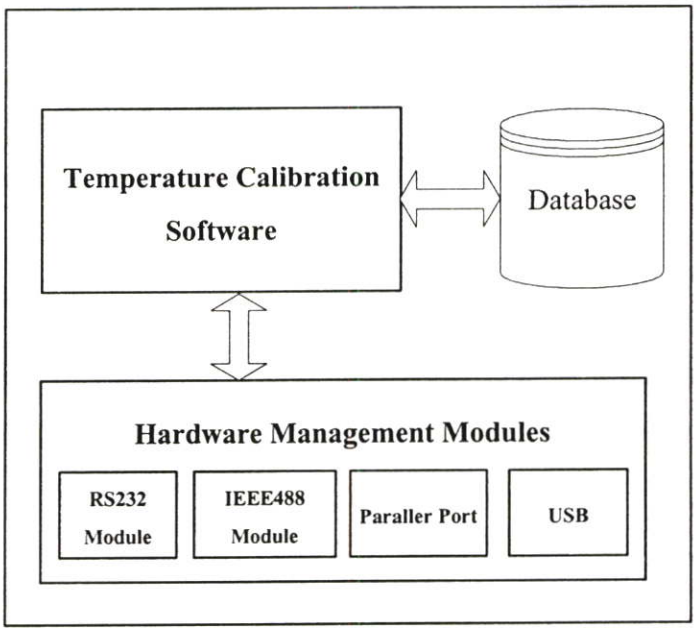
10. สายสัญญาณสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิของบริษัท YOGOKAWA



รูปที่ 4.11 สายวัดสัญญาณจากตัววัดอุณหภูมิของบริษัท YOGOKAWA

4.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและวัดค่าอุปกรณ์สอบเทียบและฐานข้อมูล

ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและวัดค่าอุปกรณ์สอบเทียบพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรมไมโครซอฟ วีชวล เบสิก 6.0 (Microsoft Visual Basic 6.0) โดยจะอ่านค่าและควบคุมผ่านพอร์ทอนุกรมสำหรับอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานและผ่านการ์ด GPIB สำหรับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ สำหรับพอร์ทขนานสำหรับต่อกับเครื่องพิมพ์ พอร์ทยูเอสบีจะต่อกับกล้อง ในการบันทึกค่าต่างๆ จะบันทึกลงในฐานข้อมูล รายละเอียดดังรูปที่ 4.12

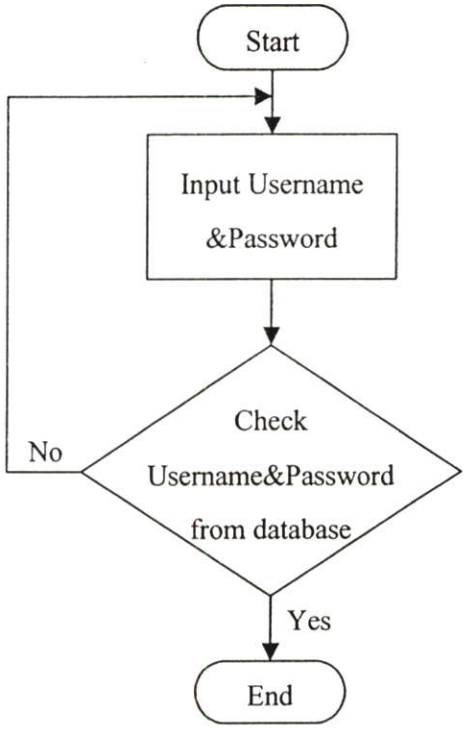


รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การสอบเทียบกับซอฟแวร์สำหรับสอบเทียบ

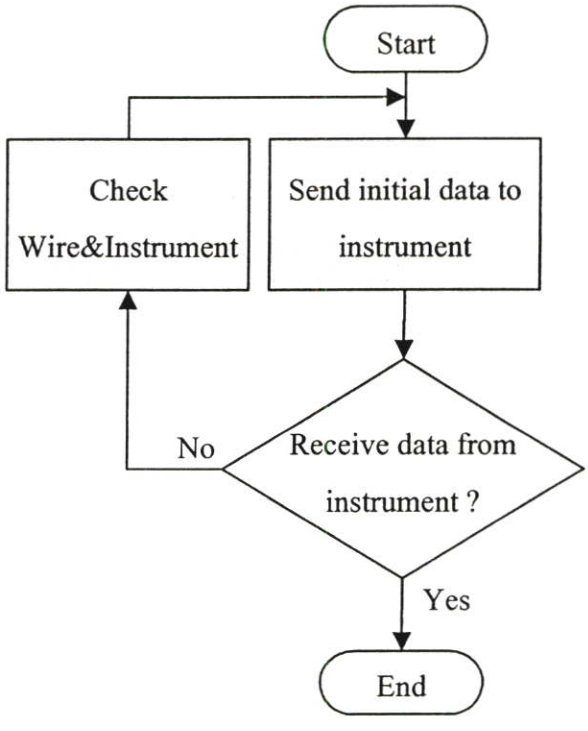
โดยจะนำเสนอหลักการพัฒนาเป็นแผนภูมิการทำงาน (Flowchart) ดังนี้

1. แผนภูมิการทำงาน สำหรับการตรวจสอบรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก ซึ่งเป็นหน้าจอแรกของซอฟต์แวร์ โดยในส่วนนี้จะให้เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสอบเทียบหรือผู้ที่ได้รับสิทธิให้เข้าถึงข้อมูลการสอบเทียบได้ จะต้องป้อนชื่อผู้ใช้ (User name) และรหัสผ่าน (Password) จึงจะสามารถผ่านเข้าไปในหน้าจอหลักได้ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.13

2. แผนภูมิแสดงการทำงานของหน้าจอตรวจการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือวัดกับซอฟแวร์สอบเทียบ ซึ่งเป็นหน้าจอที่ตรวจสอบว่าได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือวัดถูกต้อง ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.14

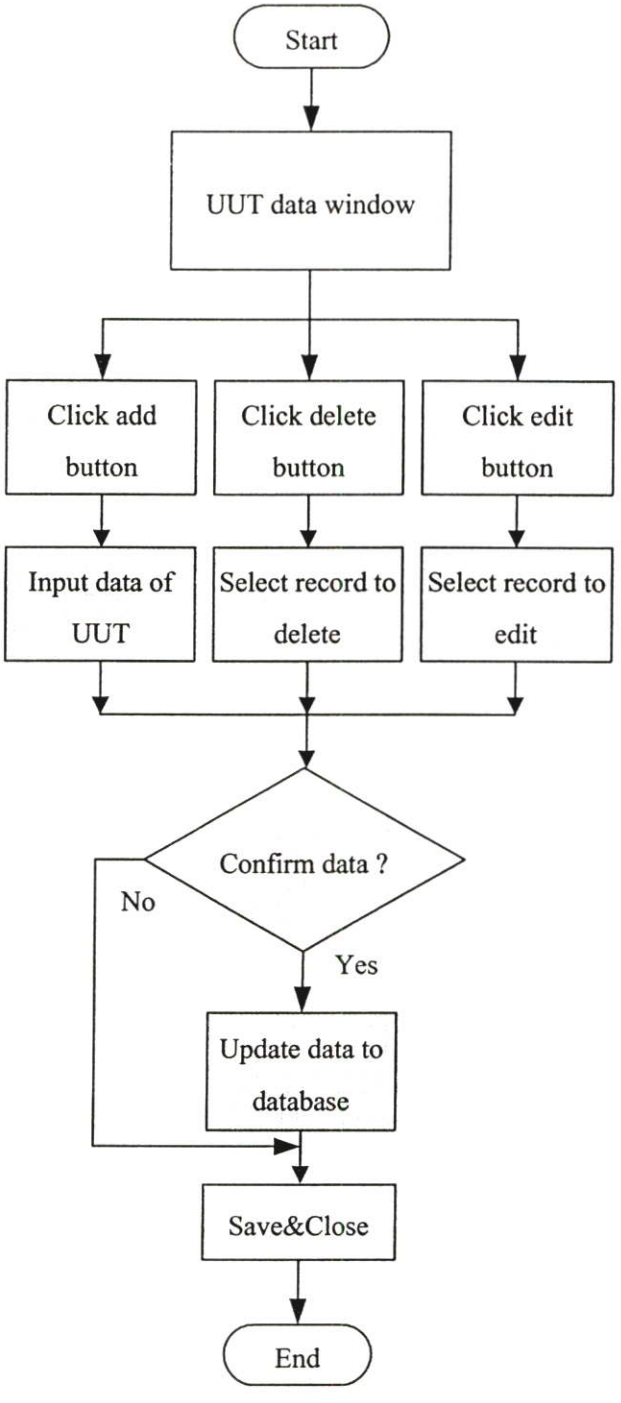


รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงการทำงานของการตรวจสอบรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก



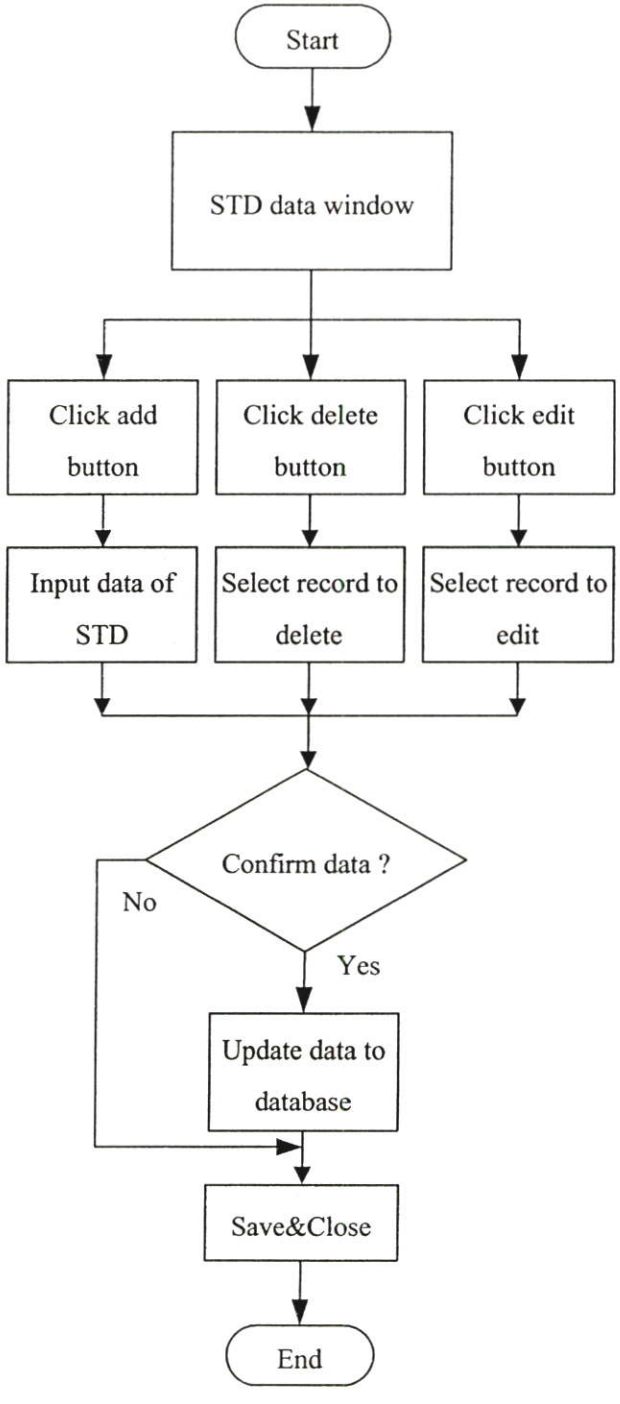
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงการทำงานของหน้าจอตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอที่กำหนดและเพิ่มค่าข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (UUT: Unit Under Test) จะบันทึกลงฐานข้อมูล ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.15



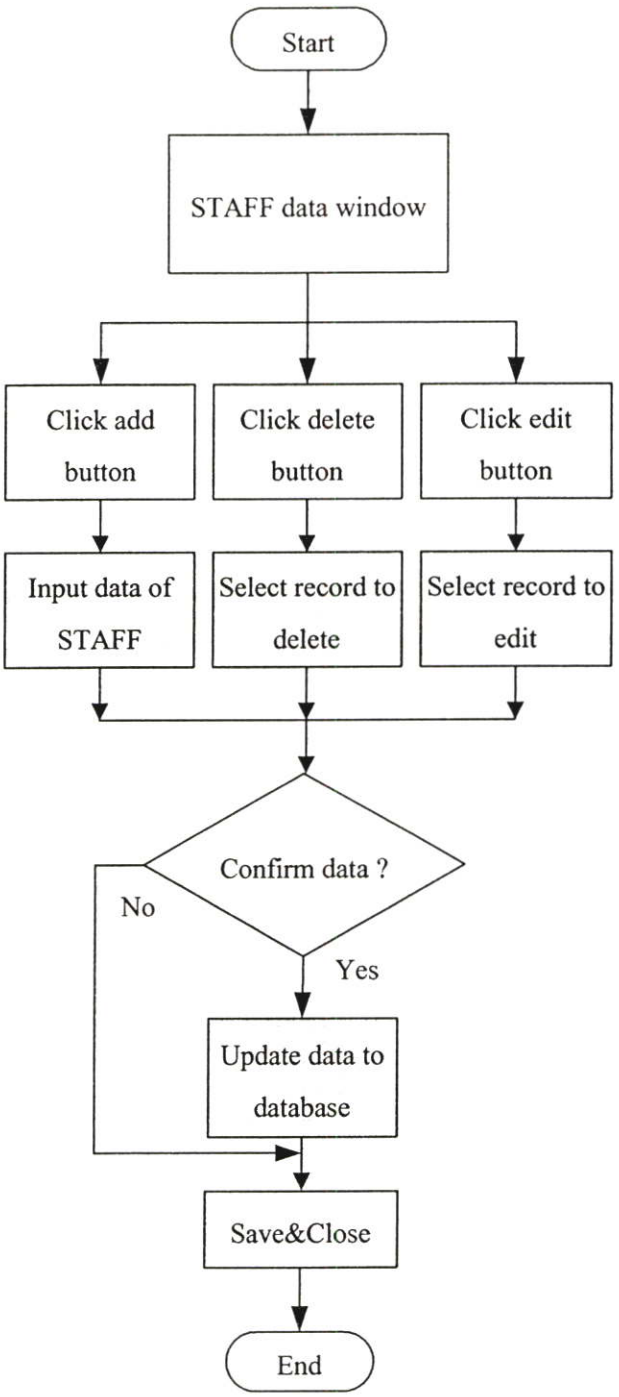
รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ

4. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอสำหรับกำหนดและเพิ่มค่าข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD) จากนั้นจะบันทึกลงฐานข้อมูล ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.16



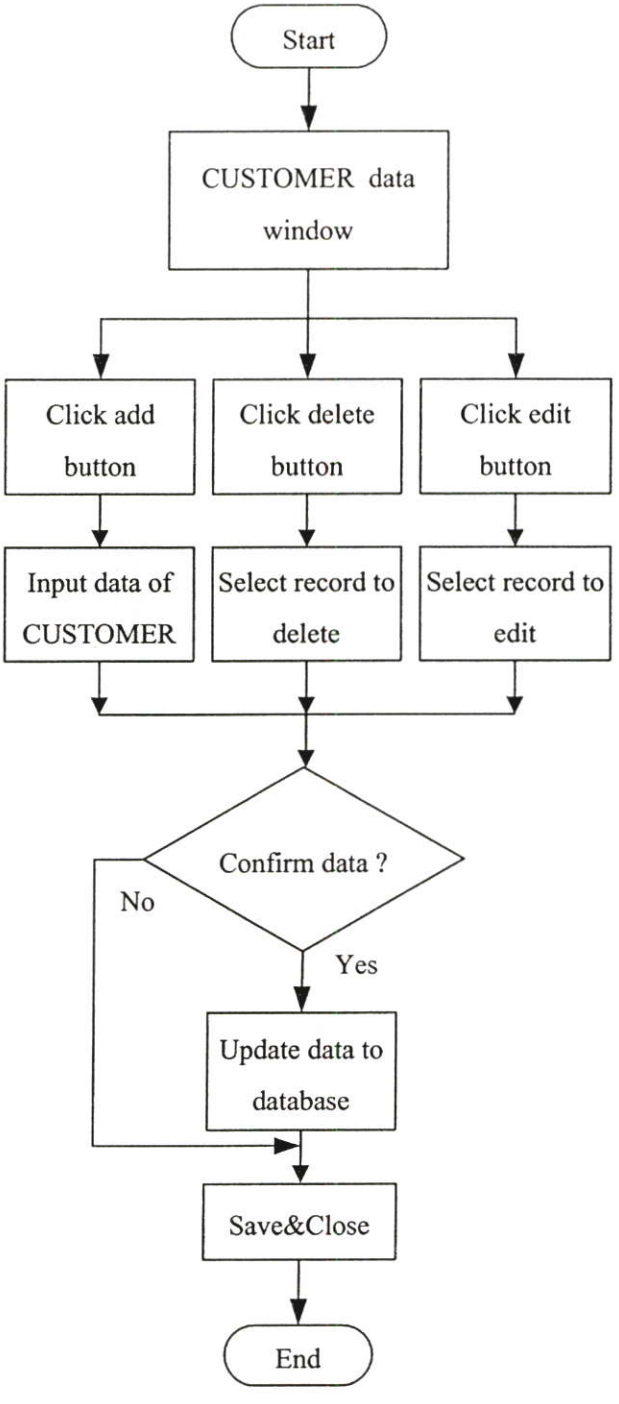
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD)

5. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอที่แสดงข้อมูลของบุคลากรห้องปฏิบัติการสอบเทียบ (STAFF) สามารถ แก้ไข ปรับปรุงข้อมูลได้ ขั้นตอนการทำงานดังรูปในรูปที่ 4.17



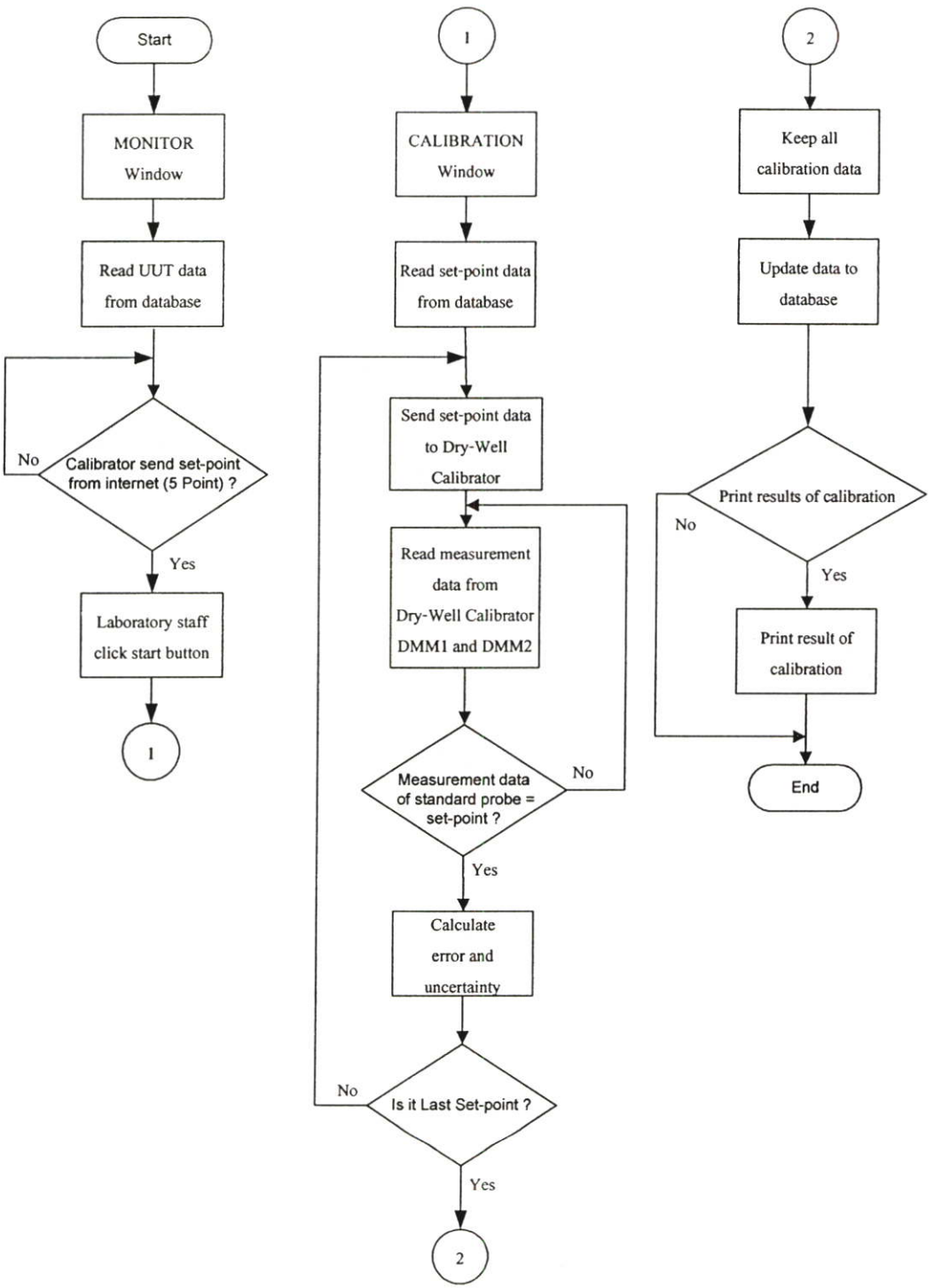
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลบุคลากรห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

6.แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอที่แสดงข้อมูลของบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบ สามารถ แก้ไข ปรับปรุงข้อมูลได้ ขั้นตอนการทำงานดังรูปในรูปที่ 4.18



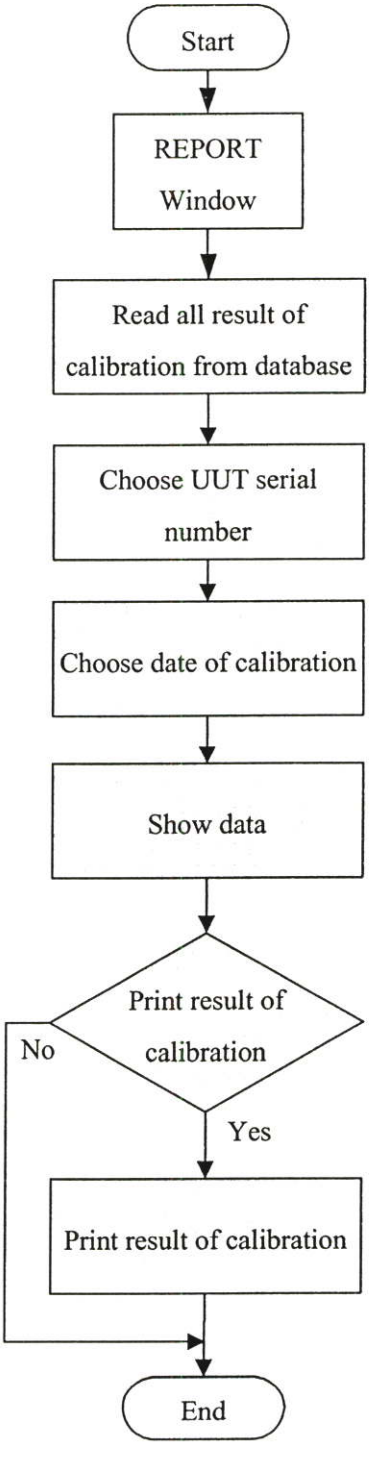
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอแสดงข้อมูลบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบ

7.แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ (Calibration Window) เป็นหน้าจอที่แสดงการวัดค่าจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบในเวลาจริง(Real Time) ซึ่งอุณหภูมิที่กำหนด (Set-Point) จะกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต ขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 หลักการทำงานของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ

8. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของหน้าจอผลการสอบเทียบ เป็นหน้าจอแสดงข้อมูลผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 หลักการทำงานของหน้าจอประวัติการสอบเทียบของห้องปฏิบัติการ

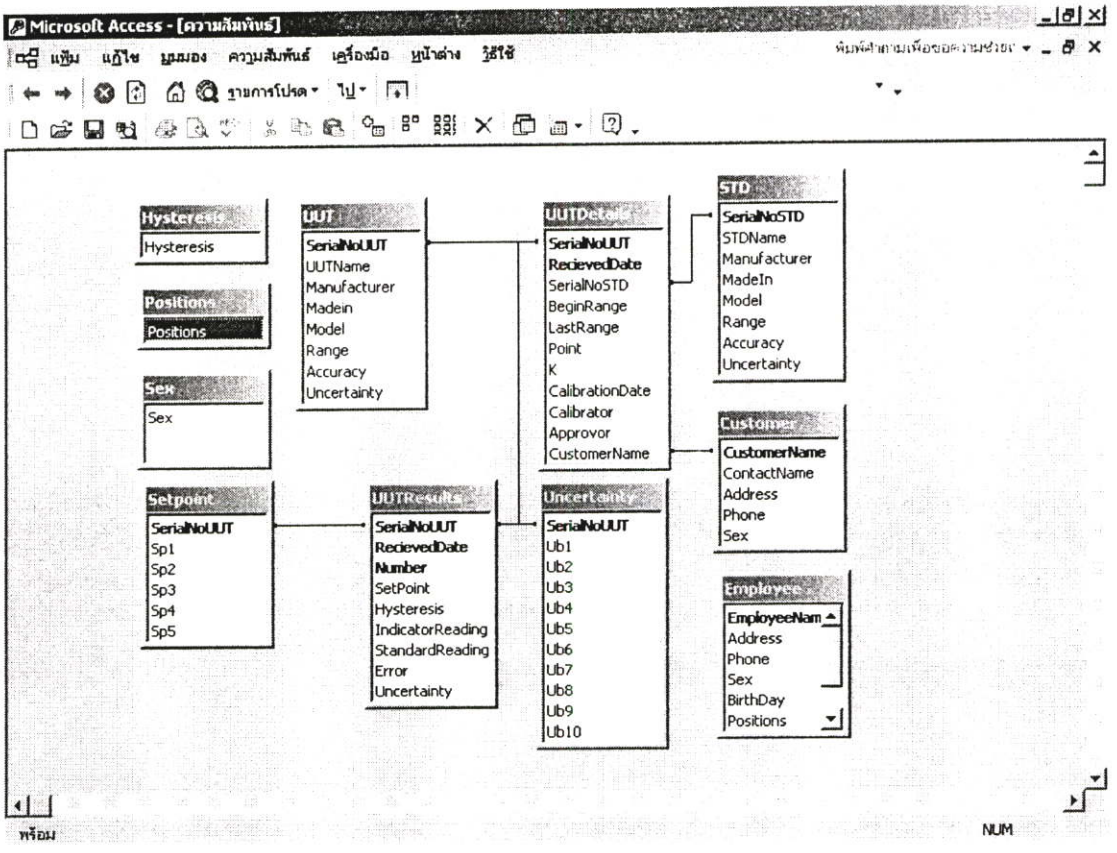
4.3 การออกแบบฐานข้อมูล

เพื่อให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบสามารถควบคุมการสอบเทียบ และสามารถเรียกค่าที่เครื่องมือวัดทำการอ่านจะอาศัยฐานข้อมูลเป็นตัวกลางในการเก็บข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับโปรแกรมเว็บเบราเซอร์ (Microsoft Internet Explorer) โดยใช้โปรแกรมฐานข้อมูลของ ไมโครซอฟ แอคแซส 2000 (Microsoft Access 2000) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาข้อมูล มีความปลอดภัยสูง และเป็นที่นิยมในการนำมาเป็นฐานข้อมูลเพื่อเก็บค่าต่างๆ ได้หลายแบบ ทั้งข้อความ รูปภาพ ตัวเลข และมีค่าใช้จ่ายในการนำมาพัฒนาค่อนข้างต่ำ เพราะซอฟต์แวร์นี้จะถูกบรรจุไว้อยู่แล้วในชุดซอฟต์แวร์ไมโครซอฟ ออฟฟิส 2000 (Microsoft Office 2000) ส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลการสอบเทียบ จะเก็บไว้ในไฟล์ฐานข้อมูลที่ชื่อว่า Database.mdb ซึ่งในฐานข้อมูลนี้จะประกอบไปด้วยตารางต่างๆ ซึ่งแต่ละตารางก็มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่างกัน ในการออกแบบตารางนั้นจะเป็นไปตามหลักการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Model) รายละเอียดของตารางที่ได้ทำการออกแบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดตารางในฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์การสอบเทียบ

ชื่อตาราง	รายละเอียด
UUT	เก็บรายละเอียดของตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ
UUTDetails	เก็บรายละเอียดการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ
UUTResults	เก็บรายละเอียดผลการสอบเทียบอุณหภูมิ
STD	เก็บรายละเอียดเกี่ยวกับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่นำมาเป็นมาตรฐานอ้างอิง
Employee	เก็บข้อมูลของผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ
Customer	เก็บข้อมูลบริษัทที่ขอรับบริการสอบเทียบ
Uncertainty	เก็บข้อมูลค่าความไม่แน่นอนแบบ B
Realtimedata	เก็บค่าที่วัดจากเครื่องวัดแบบเวลาจริง (Real Time)
Position	ตำแหน่งของผู้เชี่ยวชาญการสอบเทียบ
Hysteresis	เก็บค่าฮิสเตอร์รีซีสของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบ

ในการเก็บข้อมูลในแต่ละตารางที่มีการเชื่อมโยงกัน จำเป็นจะต้องทำให้ค่าในตารางที่มีความสัมพันธ์กันนั้นเปลี่ยนค่าไปด้วย โดยการกำหนดความสัมพันธ์ของแต่ละตารางในฐานข้อมูล Database จะเป็นไปดังรูปที่ 4.21

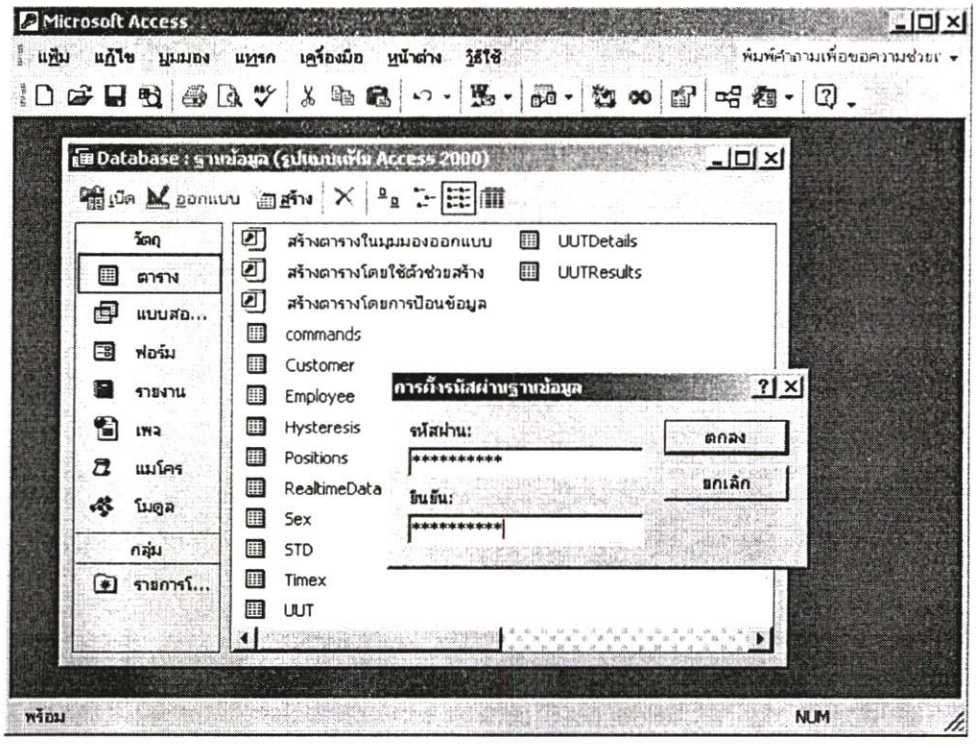


รูปที่ 4.21 E-R Diagram ของระบบการสอบเทียบอุณหภูมิ

4.3.1 การตั้งรหัสผ่านระบบฐานข้อมูล

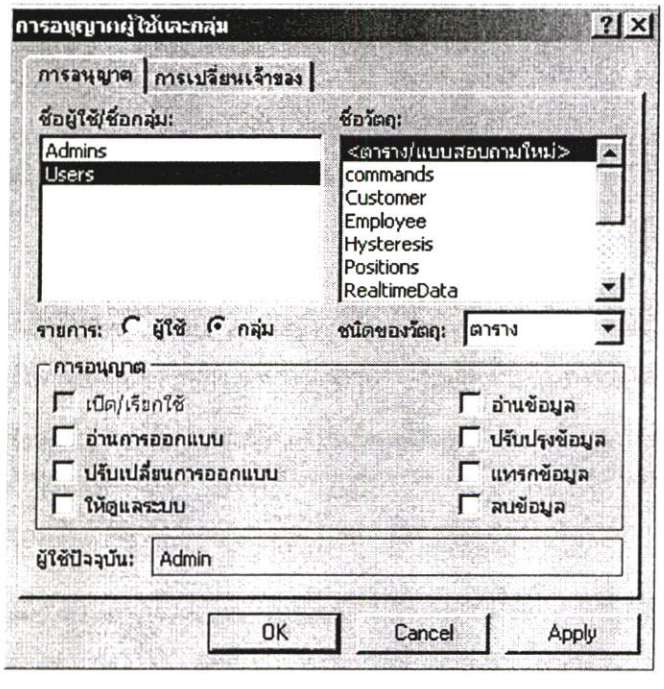
การรักษาความปลอดภัยในระบบฐานข้อมูล ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ Microsoft Access 2000 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ทำการกำหนดรหัสผ่านของฐานข้อมูล Database.mdb ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่เก็บรักษาข้อมูลการสอบเทียบที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การกำหนดรหัสผ่านของฐานข้อมูล Database.mdb

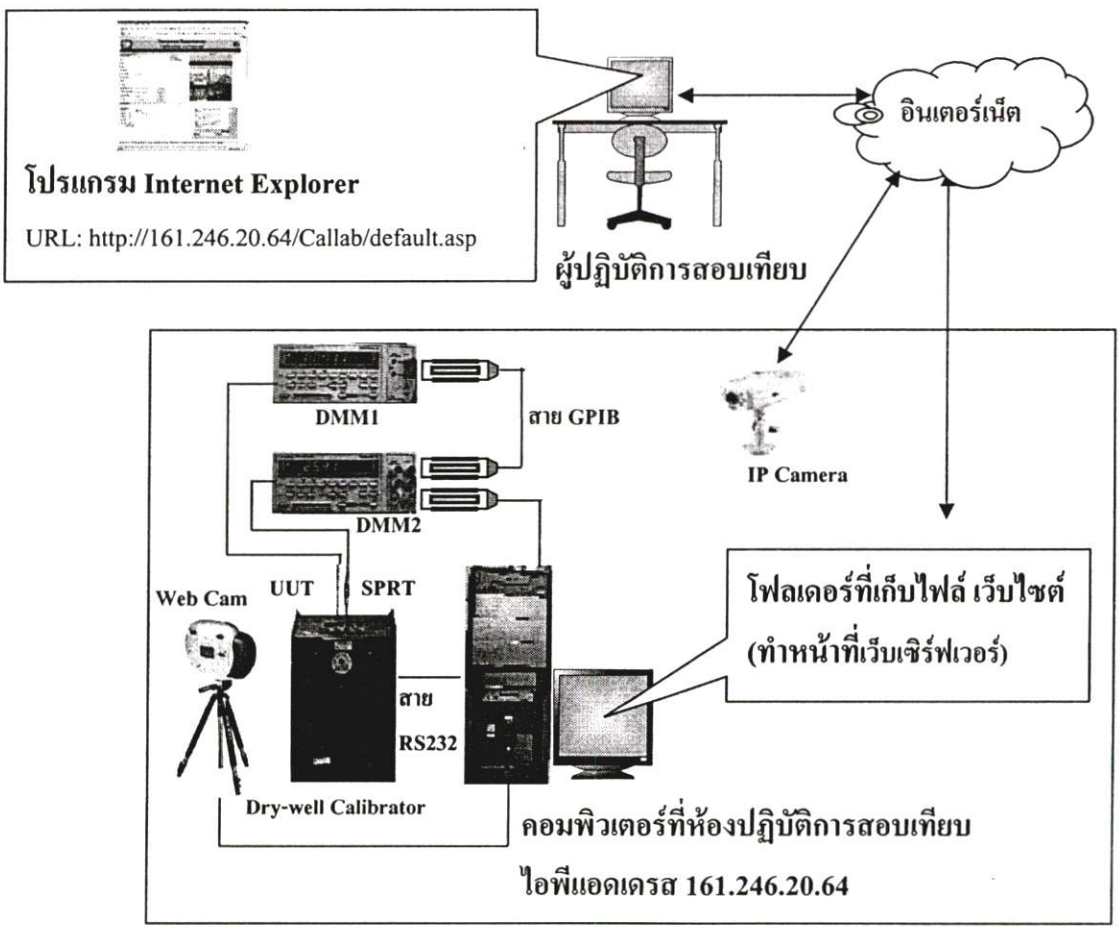
2. ทำการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงฐานข้อมูลของผู้ใช้ให้อ่านและปรับปรุงตารางได้ แต่ไม่สามารถลบและออกแบบตารางใหม่ได้ ดังรูป 4.23



รูปที่ 4.23 การกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงออบเจ็กต์ของผู้ใช้งาน

4.4 การพัฒนาเว็บไซต์สำหรับให้ผู้ปฏิบัติการสามารถควบคุมการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต

ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะสามารถควบคุมการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตได้โดยผ่านโปรแกรมเว็บเบราเซอร์ทั่วไป เช่น Microsoft Internet Explorer โดยกำหนด URL ของเว็บไซต์ (http://161.246.20.64/Callab/Default.asp) จากนั้นโปรแกรม Microsoft Internet Explorer จะร้องขอไฟล์เว็บไซต์จากเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางที่มีไอพีแอดเดรส 161.246.20.64 ซึ่งทำหน้าเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ติดตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ (เป็นคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ด้วยเพื่อให้สามารถใช้ฐานข้อมูลร่วมกันได้) โดยขั้นตอนการทำงานจะได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.24

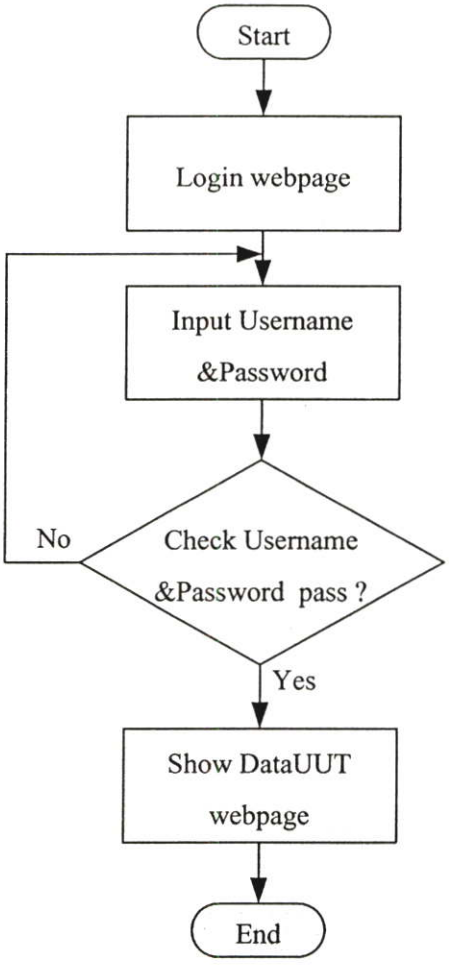


รูปที่ 4.24 การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

การพัฒนาเว็บไซต์จะอาศัยเทคโนโลยี ASP โดยอาศัยภาษา HTML VBScript และ JavaScript จากนั้นนำเอาไฟล์ทั้งหมดเก็บไว้ที่เครื่องที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบนั่นเอง

รายละเอียดในการพัฒนาเว็บไซต์จะนำเสนอเป็นแผนภูมิการทำงานดังนี้

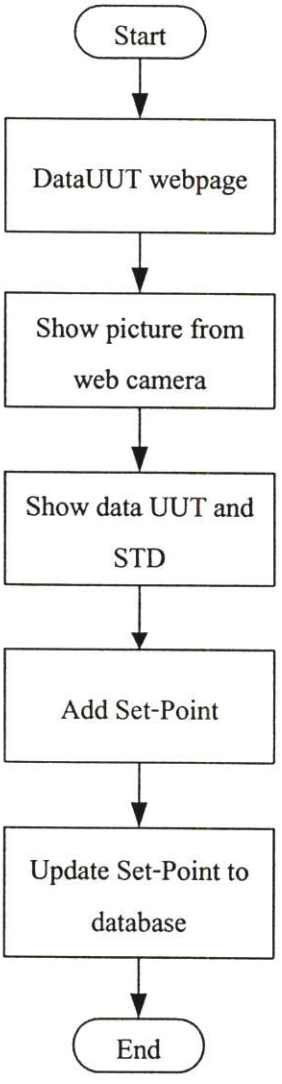
1.แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บเริ่มต้น (Default.asp) สำหรับการล็อกอิน (Login) เข้าสู่เว็บกำหนดข้อมูล (DataUUT.asp) โดยในหน้าเว็บนี้จะให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องป้อนชื่อผู้ใช้ (User name) และรหัสผ่าน (Password) จึงจะสามารถผ่านเข้าไปในเว็บกำหนดข้อมูลได้ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บเริ่มต้น (Default.asp)

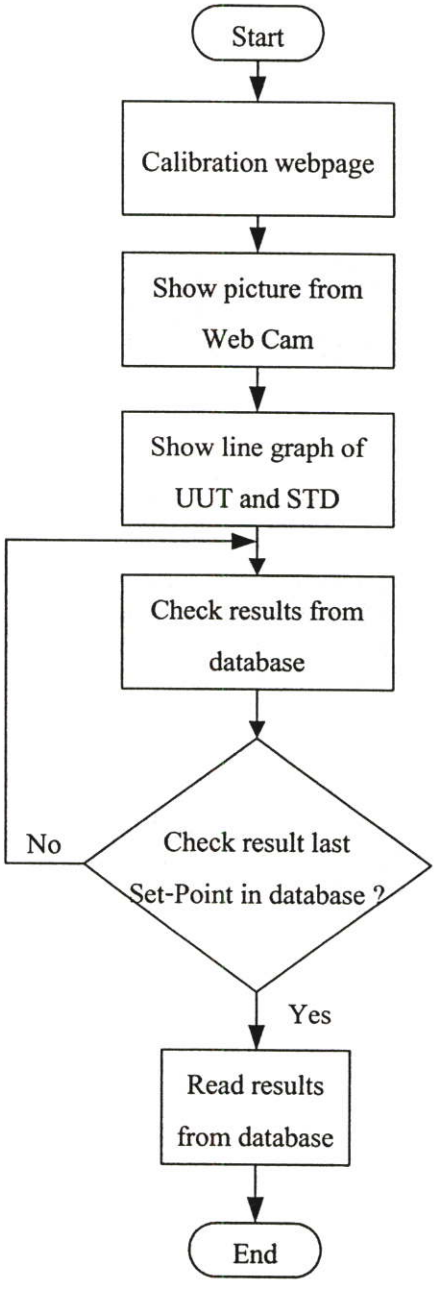
2. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บกำหนดข้อมูล (DataUUT.asp) ซึ่งเป็นเว็บเพจที่ให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบสามารถตรวจสอบการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ ตรวจดูการติดตั้งเครื่องมือผ่านทางภาพที่ได้จากกล้อง (Web Cam) ที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ แสดงข้อมูลที่เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกำหนด และตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (Set-Point) และตัววัดอุณหภูมิ

มาตรฐาน จากนั้นผู้ปฏิบัติการจะกำหนดค่าอุณหภูมิสำหรับการสอบเทียบ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.26



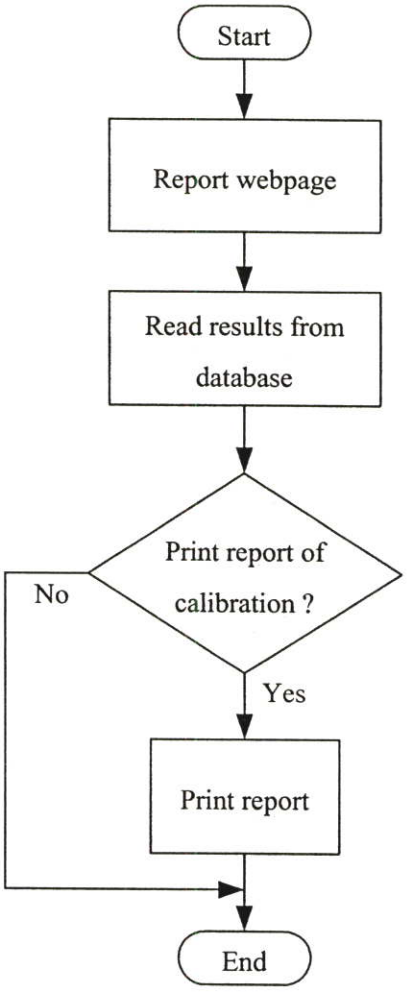
รูปที่ 4.26 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บกำหนดข้อมูล (DataUUT.asp)

3.แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บสอบเทียบอุณหภูมิ (Calibration.asp) เป็นเว็บเพจที่แสดงค่าวัดจากเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบในเวลาจริง (Real Time) และอุณหภูมิที่กำหนด (Set-Point) รวมทั้งภาพที่ได้จากกล้องที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจากนั้นจะตรวจสอบว่าโปรแกรมที่ห้องปฏิบัติการได้ทำงานมาจนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือบันทึกผลการสอบเทียบไว้ในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เว็บเพจจึงจะอ่านผลการสอบเทียบจากฐานข้อมูลที่บันทึกข้อมูลนั้นมายังเว็บเพจรายงานผลการสอบเทียบ (Report.asp) ขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บสอบเทียบอุณหภูมิ

4. แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บผลการสอบเทียบอุณหภูมิ (Report.asp) โดยสามารถพิมพ์รายงานผลการสอบเทียบได้ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แผนภูมิแสดงหลักการทำงานของเว็บผลการสอบเทียบอุณหภูมิ

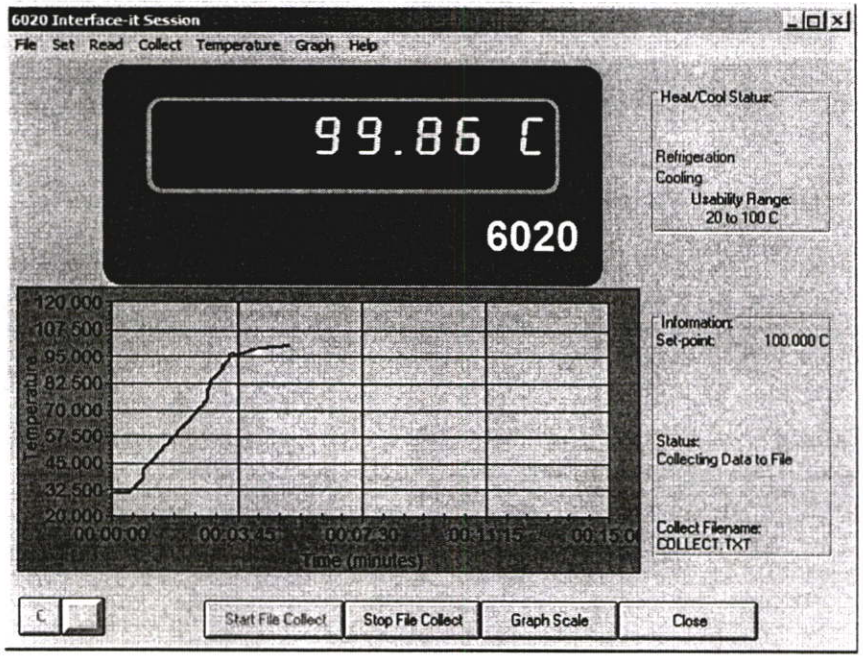
บทที่ 5
การใช้งานซอฟแวร์ เว็บไซต์ และผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างการใช้งานซอฟต์แวร์และเว็บไซต์ที่ได้พัฒนาและทดลองสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต ซึ่งมีการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ 2 ชนิด ดังนี้

1. การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี
2. การสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล

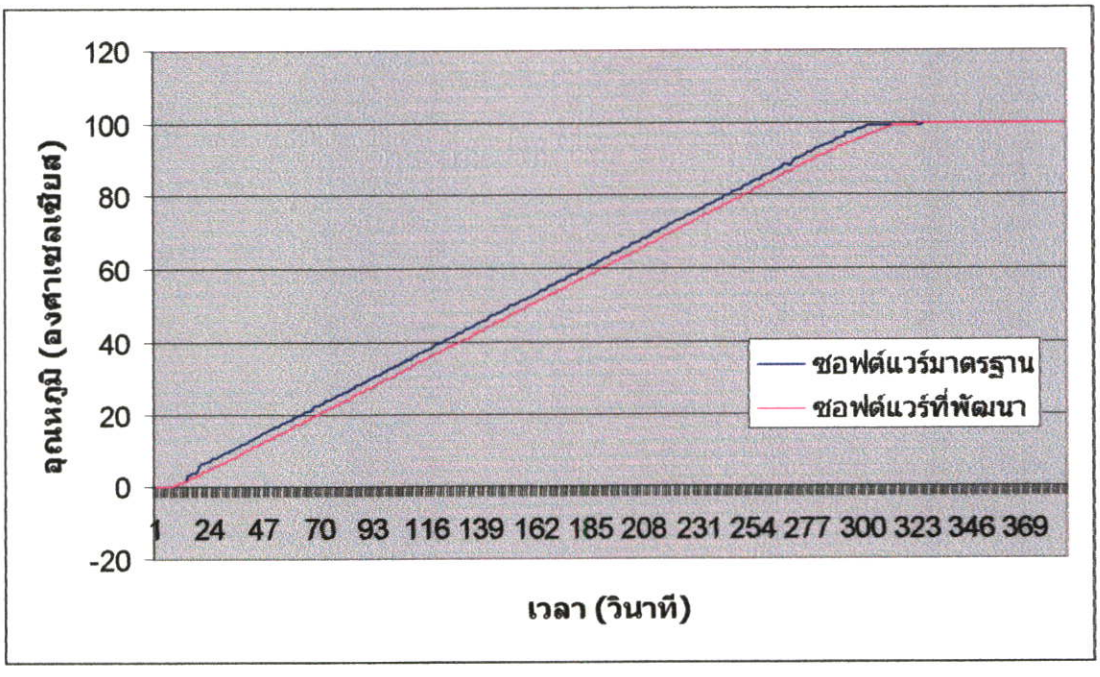
5.1 การทดสอบซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนา

เพื่อทดสอบความถูกต้องในการวัดค่าอุณหภูมิของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น จึงทำการเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์มาตรฐานของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9930 (Interface-it) ดังรูปที่ 5.1 ในการทดลองจะต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานผ่านพอร์ทอนุกรม จากนั้นกำหนดให้ซอฟต์แวร์มาตรฐานอ่านค่าของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (Dry-Well Calibrator) รุ่น 9105 เริ่มจาก 0 ^{0}C ถึง 100 ^{0}C จากนั้นปิดซอฟต์แวร์มาตรฐาน ทำการเปิดซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเริ่มอ่านค่าอุณหภูมิของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานจาก ^{0}C ถึง 100 ^{0}C เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.1 ซอฟต์แวร์มาตรฐานของบริษัท Hart Scientific รุ่น 9930 (Interface-it)

นำผลการวัดที่ได้จากซอฟต์แวร์มาตรฐานเปรียบเทียบค่าที่อ่านจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนา ดังแสดงในรูปที่ 5.2

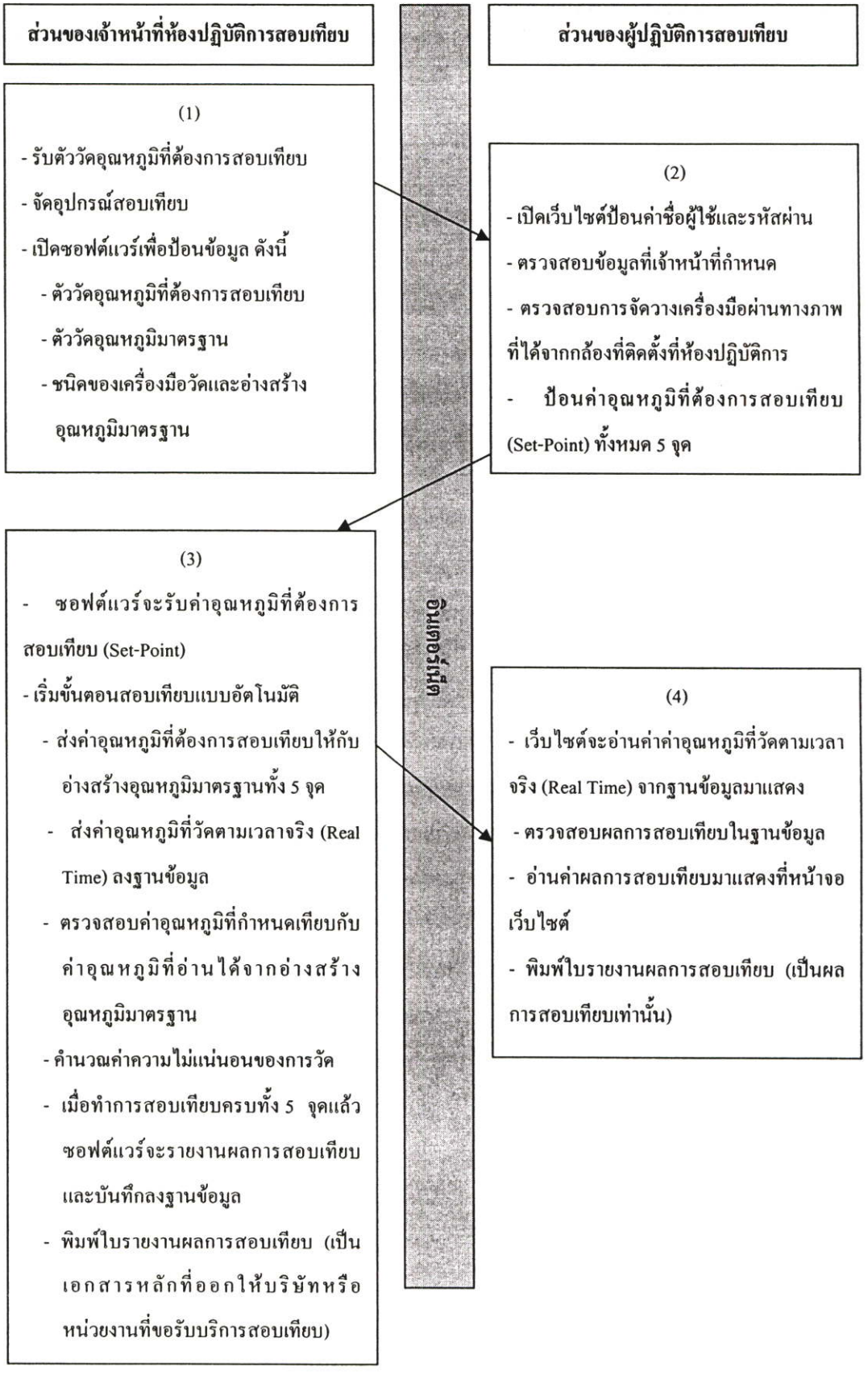


รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเทียบกับซอฟต์แวร์มาตรฐาน

จากรูปที่ 5.2 เป็นการทดสอบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเทียบกับซอฟต์แวร์มาตรฐาน โดยการวัดค่าอ่างสร้างอุณหภูมิ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $0^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ ผลการวัดที่ได้จากซอฟต์แวร์ทั้งสองมีค่าต่างกันในช่วงอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงจนเข้าสู่ช่วงอุณหภูมิคงที่ ที่ $100^{\circ}C$ จากนั้นค่าที่วัดได้จากซอฟต์แวร์ทั้งสองจะเริ่มอ่านค่าได้เท่ากัน สาเหตุเนื่องมาจากการตั้งค่าช่วงเวลาการอ่านค่าของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาไม่เท่ากันกับซอฟต์แวร์มาตรฐาน แต่การวัดค่าอุณหภูมิเพื่อสอบเทียบ จะเริ่มวัดในช่วงที่อุณหภูมิคงที่เท่านั้น ซึ่งซอฟต์แวร์ทั้งสองสามารถวัดค่าได้เท่ากัน เพราะฉะนั้นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น มีความถูกต้องเพียงพอที่จะนำมาทำการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิได้

5.2 การทำงานของการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

การทดลองสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของเจ้าหน้าที่ ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และส่วนของผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ ซึ่งจะอธิบายหน้าที่ของแต่ละส่วนดังแสดงในรูปที่ 5.3



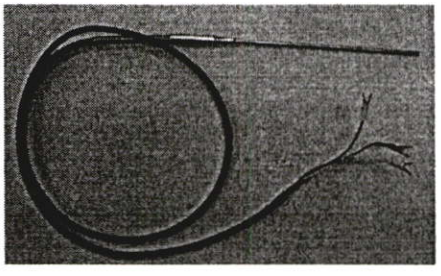
รูปที่ 5.3 การทำงานของเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ

5.3 การทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

การทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต เริ่มจากส่วนของเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสอบเทียบรับตัววัดอุณหภูที่ต้องการสอบเทียบจากบริษัทของตนเองหรือภายนอก โดยภายห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะรักษาอุณหภูมิห้องไว้ที่ประมาณ 25 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50 %R.H. จากนั้นจะปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบสภาวะเบื้องต้น (Initial Inspection)

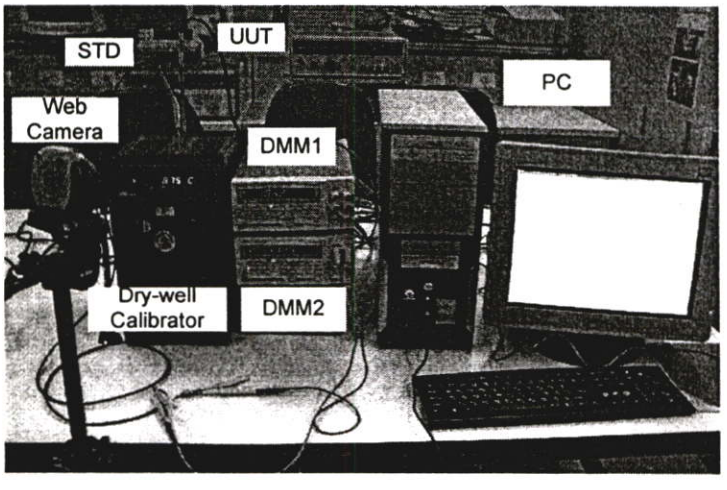
ตัวอย่างในรูปเป็นตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีที่นำมาทดลองสอบเทียบ เป็นแบบ 3 สาย โดยสายบวกเป็นสายสีแดง ส่วนสายลบจะมีสองเส้นสีขาว มีลักษณะใหม่ จากนั้นทำความสะอาดส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสของตัววัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีที่นำมาสอบเทียบ

2. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบตัววัดอุณหภูมิ

- จัดเตรียมเครื่องมือวัดและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานพร้อมกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล พร้อมติดตั้งซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การจัดอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สำหรับการทดลองมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่ติดตั้งซอฟแวร์สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด อุปกรณ์ ติดต่อกับฐานข้อมูล และทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์เชื่อมโยงกับอินเตอร์เน็ตเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบสามารถควบคุมผ่านอินเตอร์เน็ตได้

2. ตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (UUT: Unit under Test)

3. ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (STD) ชนิดอาร์ทีดีแบบพลาตินั่ม (SPRT: Standard Platinum Resistance Thermometer) ยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น 5627 ย่านการวัด -200 ^{0}C ถึง 500 ^{0}C ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.05 ^{0}C

4. อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (Dry-well Calibrator) ยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น 9105 สร้างอุณหภูมิได้ -20 ^{0}C ถึง 140 ^{0}C ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.1 ^{0}C ค่าความละเอียด $\pm$ 0.01 ^{0}C

5. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐานสำหรับวัดตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (DMM1: Standard Digital Thermometer) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 7563 ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.006%(TC), $\pm$ 0.01%(RTD)

6. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐานสำหรับวัดตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (DMM2: Standard Digital Multimeter) ยี่ห้อYOKOGAWA รุ่น 7562 ค่าความถูกต้อง $\pm$ 0.01 mV_{dc}

7. กล้องดิจิตอล (Web Cam) ยี่ห้อ Logitech รุ่น Click Smart 310

8. กล้อง IP Camera ยี่ห้อ Fujiko รุ่น FK-IP007

- ก่อนที่จะเริ่มทำการสอบเทียบ ควรอุ่นอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานและเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานอย่างน้อย 30 นาที

- ปรับสภาพตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานและตัววัดอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบ โดยการอบที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C นาน 1 ชั่วโมง เพื่อทำให้ตัววัดอุณหภูมิวัดค่าได้อย่างถูกต้อง

- ในขั้นตอนการสอดตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบและตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานลงในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน จะต้องจุ่มลงไปให้ลึกประมาณ 120 mm ถึง 150 mm

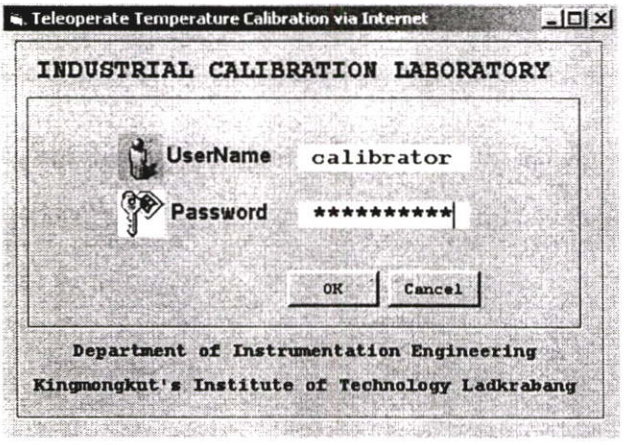
3. ขั้นตอนนี้ จะแบ่งการอธิบายออกเป็น 2 ส่วน

- ขั้นตอนของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบใช้งานซอฟต์แวร์

- ขั้นตอนของผู้ปฏิบัติการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต โดยใช้โปรแกรมเว็บเบราเซอร์

5.3.1 ขั้นตอนของเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบใช้งานซอฟต์แวร์

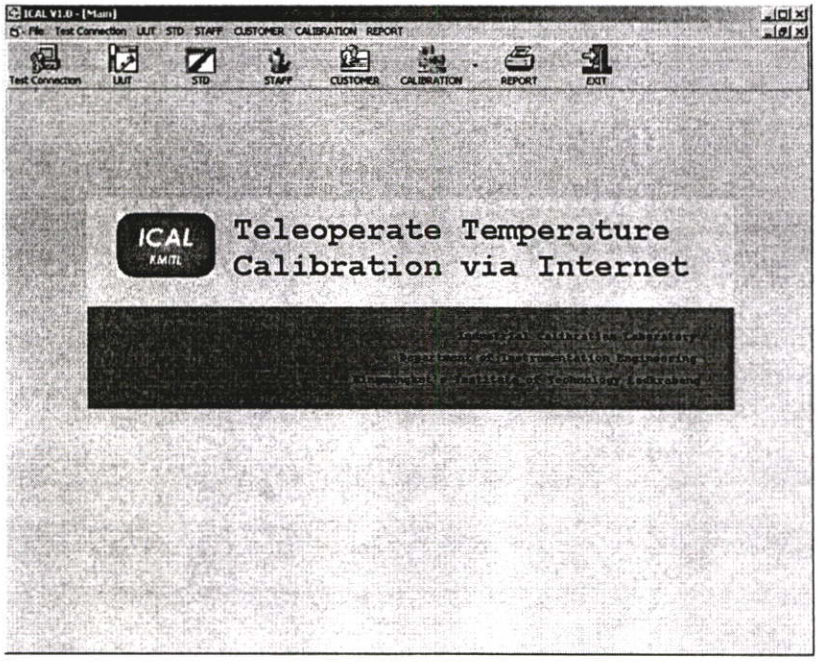
1. เปิดซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะเข้าสู่หน้าจอสำหรับล็อกอิน เพื่อให้เจ้าหน้าที่ป้อนชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน เพื่อเป็นการป้องกันผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตไม่สามารถใช้งานได้ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้ล็อกอิน

- ป้อนชื่อผู้ใช้ ในช่อง UserName โดยใช้ชื่อ Calibrator
- ป้อนรหัสผ่านในช่อง Password โดยใช้รหัสผ่าน Calibrator
- กดปุ่ม Ok เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลัก

2. เมื่อเจ้าหน้าที่ป้อนชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านถูกต้องจะเข้าสู่หน้าจอหลัก ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 หน้าจอหลัก

รายละเอียดหน้าจอหลัก

- Test Connection ปุ่มเข้าสู่หน้าจอทดสอบการเชื่อมต่อกับอ่างสร้างอุณหภูมิและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ จะเป็นการทดสอบว่าซอฟต์แวร์สามารถติดต่อเครื่องมือวัดผ่านพอร์ทอนุกรมและพอร์ท GPIB ได้หรือไม่

- UUT ปุ่มเข้าสู่หน้าจอกำหนดข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลได้

- STD ปุ่มเข้าสู่หน้าจอกำหนดข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลได้

- STAFF ปุ่มเข้าสู่หน้าจอกำหนดข้อมูลเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสอบเทียบ สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลได้

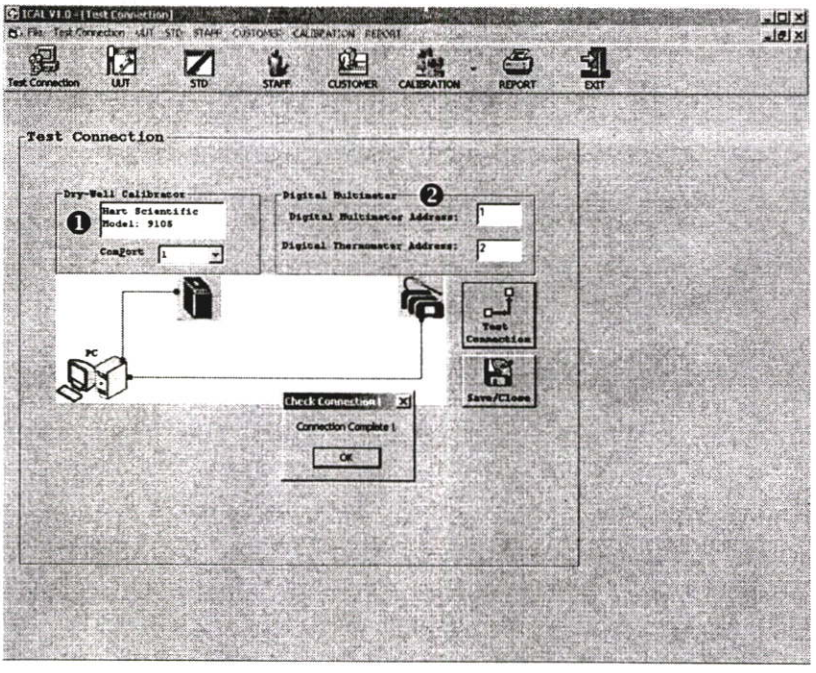
- CUSTOMER ปุ่มเข้าสู่หน้าจอกำหนดข้อมูลหน่วยงานที่ต้องการขอรับบริการสอบเทียบ สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลได้

- CALIBRATION ปุ่มเข้าสู่หน้าจอเริ่มต้นการสอบเทียบ

- REPORT ปุ่มเข้าสู่หน้าจอผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิที่ผ่านมา โดยเก็บประวัติการสอบเทียบตัววัดอุณหูมิไว้ในฐานข้อมูล ผู้ใช้สามารถจะพิมพ์ใบรับรองการสอบเทียบได้

- EXIT ปุ่มออกจากโปรแกรม

3. หลังจากเข้าสู่หน้าจอหลักแล้ว จะตรวจสอบการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดและอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานกับคอมพิวเตอร์ โดยกดปุ่ม ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การตรวจสอบการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด

รายละเอียดข้อมูลที่กำหนด

- ❶ กำหนดข้อมูลของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานและพอร์ทที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
- ❷ กำหนดข้อมูลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิและหมายเลขแอสเดรสสำหรับการ์ด GPIB

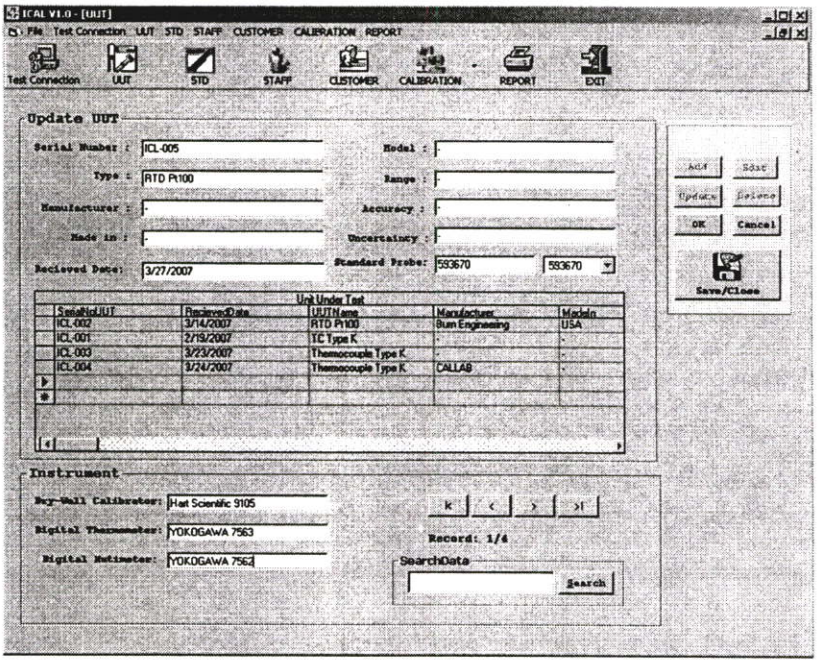
จากนั้นกดปุ่ม ถ้าการเชื่อมต่อถูกต้องจะมีกล่องข้อความแสดงให้ทราบ

4. เมื่อทดสอบการเชื่อมต่อสำเร็จแล้ว จากนั้นกดปุ่ม ที่หน้าจอหลัก จะเข้าสู่หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ ดังรูปที่ 5.9 จากนั้นกดปุ่ม เพื่อเพิ่มข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบตัวใหม่

รายละเอียดมีดังนี้

- Serial Number: รหัสประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบ
- Received Date: วันที่รับตัววัดอุณหภูมิมาสอบเทียบ
- Type: กำหนดชนิดของตัววัดอุณหภูมิ
- Manufacturer: บริษัทหรือโรงงานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิ
- Made in: สถานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิ
- Model: รุ่นของตัววัดอุณหภูมิ
- Range: ย่านการวัดของตัววัดอุณหภูมิ
- Accuracy: ค่าความถูกต้องของตัววัดอุณหภูมิ

- Uncertainty: ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบครั้งที่แล้วของตัววัดอุณหภูมิ
- Standard Probe: หมายเลขประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Dry-Well Calibrator: ข้อมูลอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง
- Digital Multimeter 1: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ
- Digital Multimeter 2: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

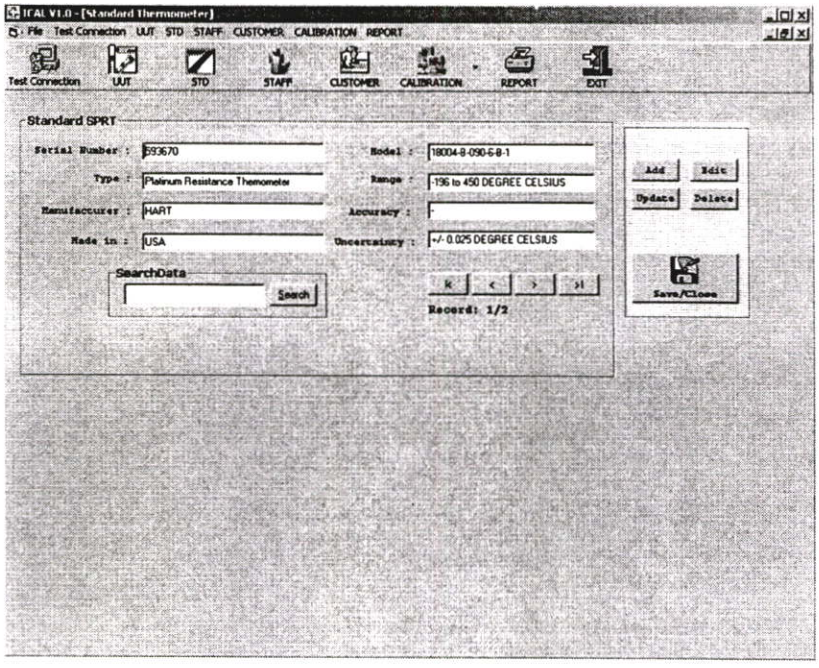


รูปที่ 5.9 หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ

5. ในกรณีที่ต้องการเพิ่ม แก้ไข หรือลบ ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ให้กดปุ่ม ที่หน้าจอหลัก หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ดังรูปที่ 5.10

รายละเอียดมีดังนี้

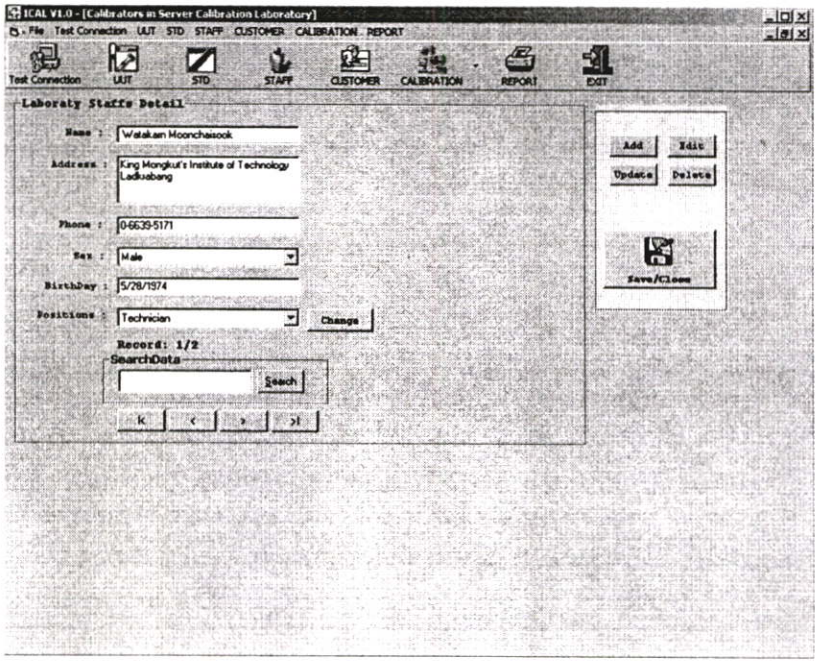
- Serial Number: หมายเลขประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Type: ชนิดของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Manufacturer: บริษัทหรือโรงงานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Made in: สถานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Model: รุ่นของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Range: ย่านการวัดของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Accuracy: ค่าความถูกต้องของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- Uncertainty: ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบครั้งที่แล้วของตัววัดอุณหภูมิ



รูปที่ 5.10 หน้าจอแสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

6. กดปุ่ม

ที่หน้าจอหลัก เพื่อเลือกข้อมูลเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ต้องการ ซึ่งสามารถเพิ่ม แก้ไข หรือลบข้อมูลได้ ดังรูปที่ 5.11



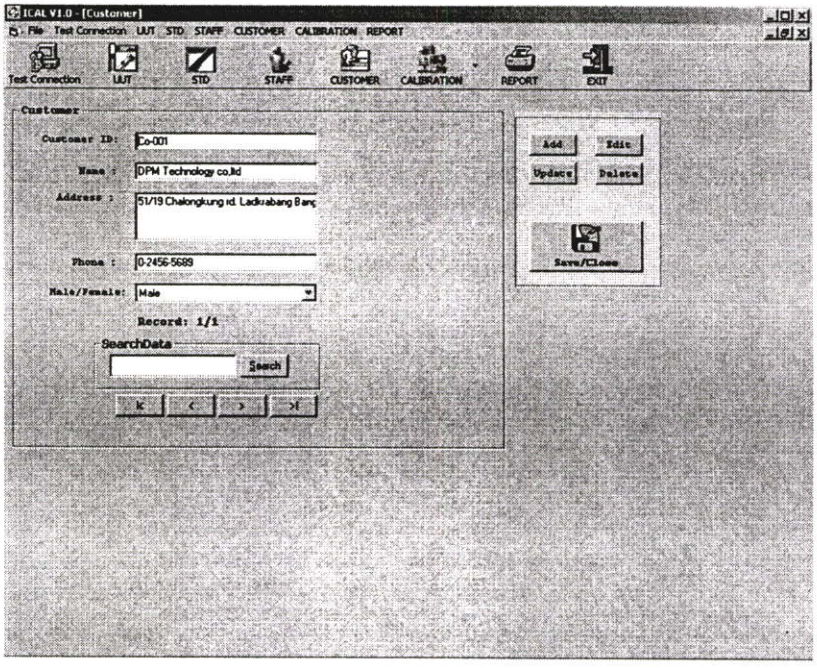
รูปที่ 5.11 หน้าจอแสดงข้อมูลเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

รายละเอียดมีดังนี้

- Name: ชื่อของเจ้าหน้าที่
- Address: ที่อยู่ปัจจุบัน
- Phone: เบอร์โทรศัพท์
- Sex: เพศของเจ้าหน้าที่
- Birthday: วันที่เกิด
- Position: ตำแหน่งในการปฏิบัติงาน

7. กดปุ่ม

เพื่อเพิ่มข้อมูลบริษัทหรือหน่วยงานที่ขอรับบริการสอบเทียบ ซึ่งสามารถเพิ่ม แก้ไข หรือลบข้อมูลได้ ดังรูปที่ 5.12

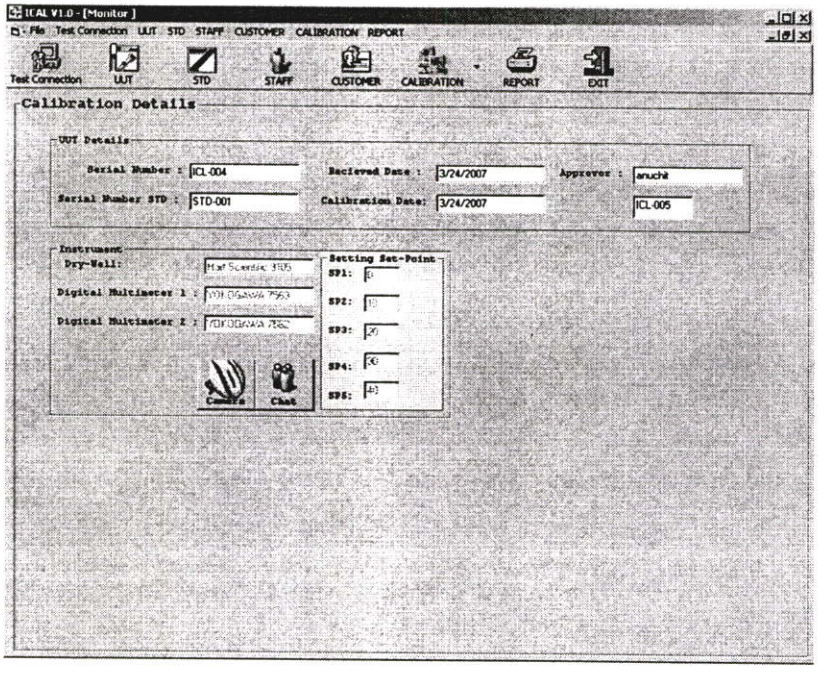


รูปที่ 5.12 ข้อมูลบริษัทหรือหน่วยงานที่ขอรับบริการสอบเทียบ

รายละเอียดมีดังนี้

- Customer ID: หมายเลขประจำตัว
- Name: ชื่อผู้ติดต่อและประสานงาน
- Address: ที่อยู่ปัจจุบัน
- Phone: หมายเลขโทรศัพท์
- Male/Female: เพศของผู้ติดต่อและประสานงาน

8. ขั้นตอนต่อมากดปุ่ม หน้าจอนี้จะเริ่มตรวจสอบค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบจากผู้ปฏิบัติการสอบเทียบส่งมาจากอินเตอร์เน็ต ดังรูปที่ 5.13

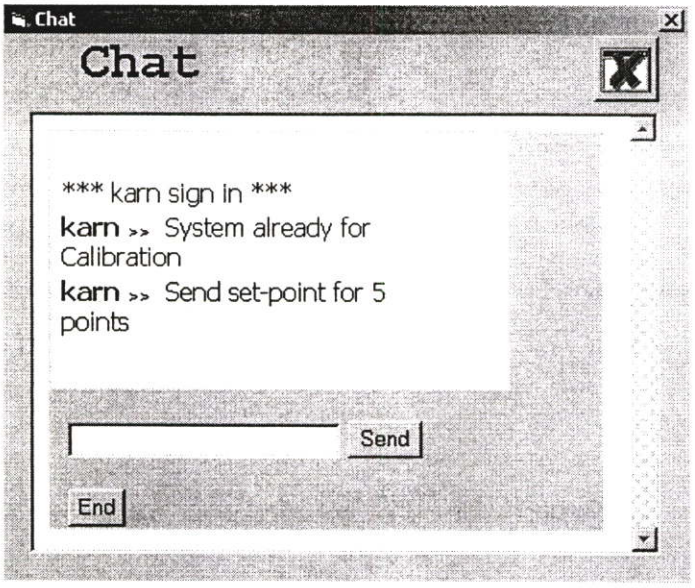


รูปที่ 5.13 หน้าจอตรวจสอบข้อมูลการสอบเทียบ

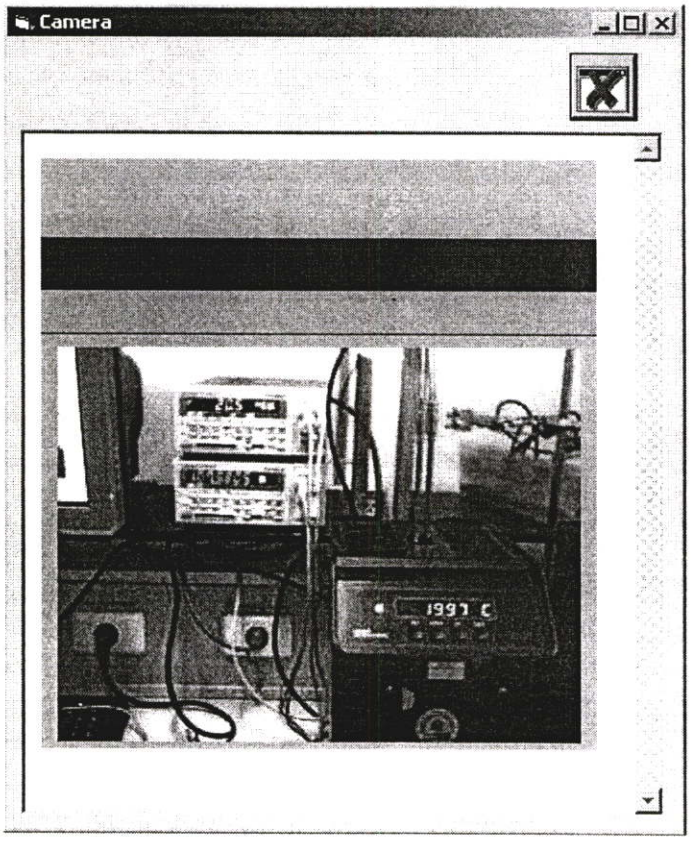
รายละเอียดมีดังนี้

- Serial Number: รหัสประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบ
- Received Date: วันที่รับตัววัดอุณหภูมิมาสอบเทียบ
- Calibration Date: วันที่ปฏิบัติการสอบเทียบ
- Approvor: ชื่อผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ
- Dry-Well Calibrator: ข้อมูลอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง
- Digital Multimeter 1: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ
- Digital Multimeter 2: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- SP1-SP5: ค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ (Set-Point)
- Accuracy: ค่าความถูกต้องของตัววัดอุณหภูมิ

ในขั้นตอนนี้เจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถติดต่อกับผู้ปฏิบัติการสอบเทียบโดยกดปุ่ม และ ตรวจสอบการติดตั้งกล้องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้โดยกดปุ่ม ดังรูปที่ 5.14 และ 5.15

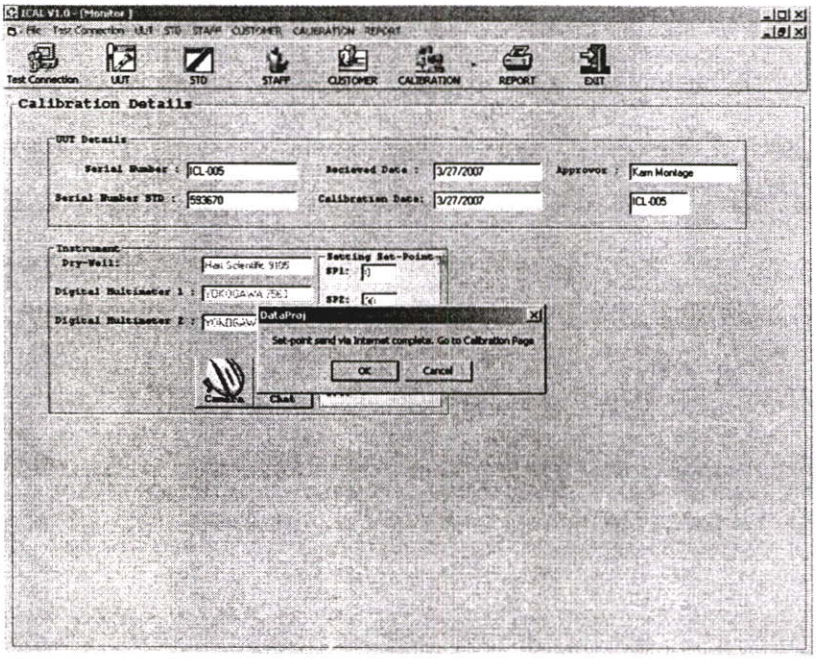


รูปที่ 5.14 การสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบกับผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ

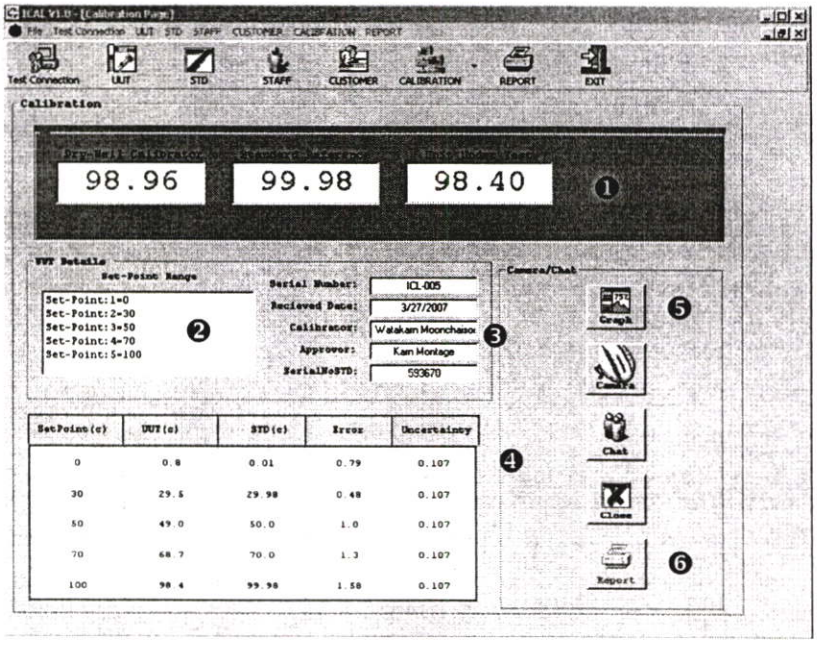


รูปที่ 5.15 หน้าจอแสดงภาพที่ได้จากกล้องที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

9. เมื่อผู้ปฏิบัติการสอบเทียบส่งข้อมูลการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต และซอฟต์แวร์ที่ห้องปฏิบัติการได้รับค่าทั้งหมดแล้ว จะปรากฏกล่องข้อความแสดงให้ทราบ ดังรูปที่ 5.16 จากนั้นเมื่อกดปุ่ม OK จะเข้าสู่หน้าจอเริ่มสอบเทียบ ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.16 หน้าจอตรวจสอบข้อมูลได้รับค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต



รูปที่ 5.17 หน้าจอแสดงการวัดค่าการสอบเทียบ

รายละเอียดมีดังนี้

- ❶ แสดงค่าวัดได้จากอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ โดยกำหนดอัตราการอ่านค่า (Sampling rate) ทุกๆ 1 วินาที

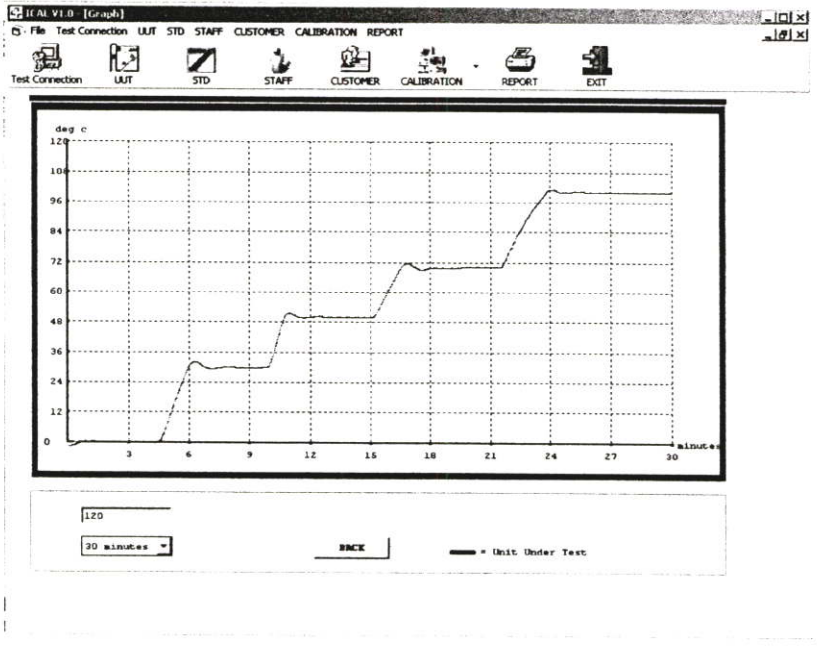
- ❷ ข้อมูลค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ มี 5 ค่า

- ❸ ข้อมูลของตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ วันที่สอบเทียบ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ และหมายเลขประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

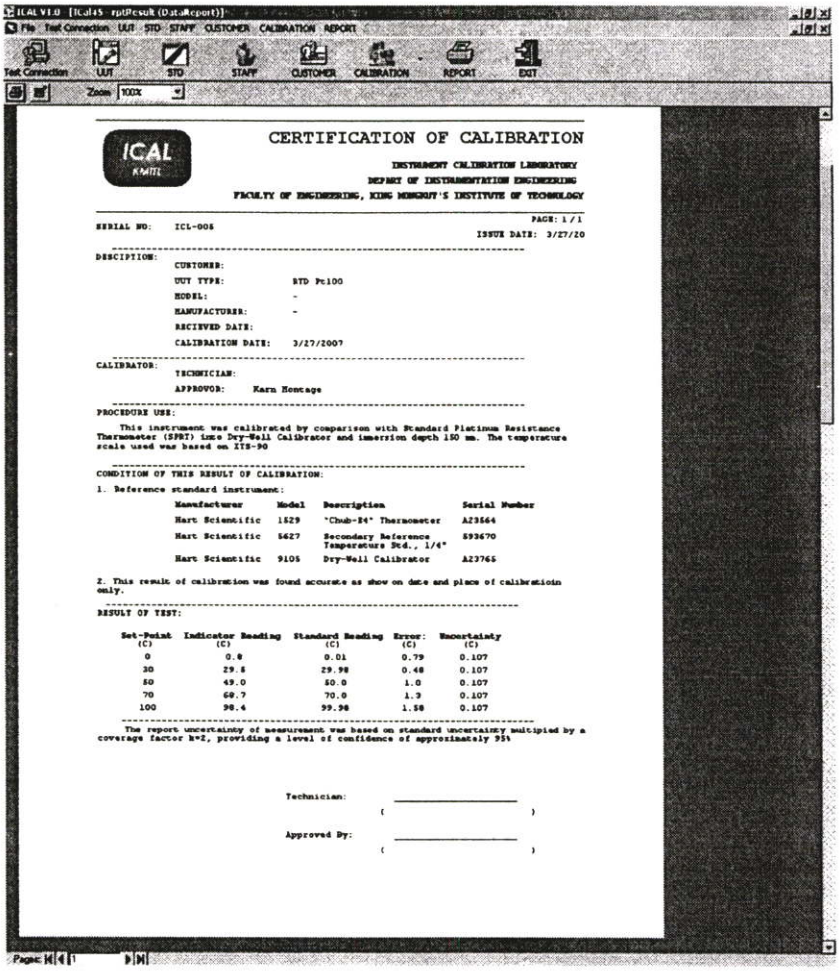
- ❹ แสดงผลการสอบเทียบในแต่ละค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้

- ❺ ปุ่มกดเพื่อแสดงกราฟระหว่างตัวอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบและตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 5.18

- ❻ เมื่อขั้นตอนการสอบเทียบเสร็จสิ้น กดปุ่ม REPORT เพื่อแสดงใบรับรองผลการสอบเทียบ (Certificate of Calibration) ซึ่งเป็นเอกสารหลักที่ออกให้บริษัทหรือหน่วยงานที่ขอรับบริการสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่าระหว่างตัววัดอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบและตัวอุณหภูมิมาตรฐาน



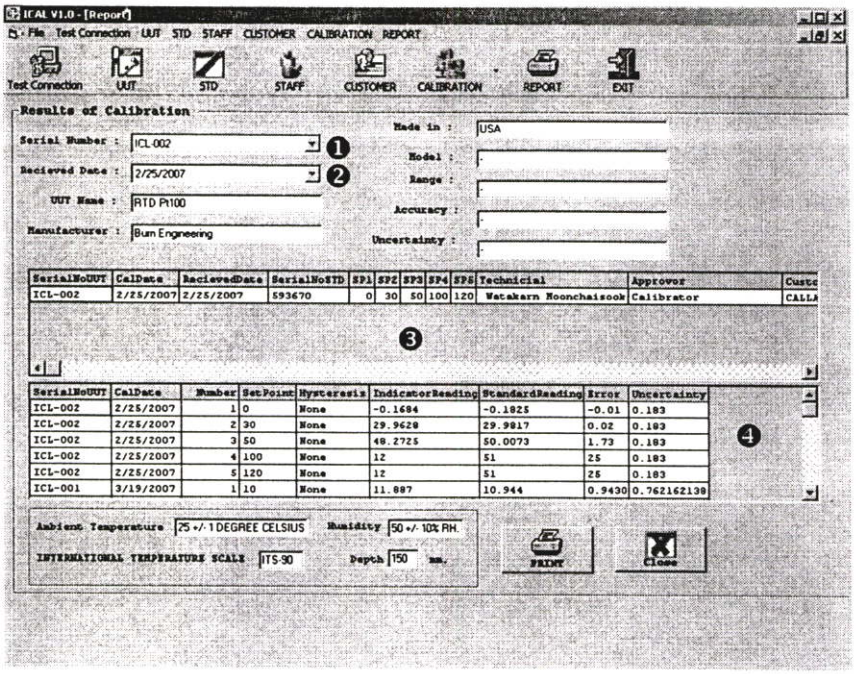
รูปที่ 5.19 ใบรับรองผลการสอบเทียบ

10. เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถดูผลการสอบเทียบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลได้ โดยกดปุ่ม REPORT ดังรูปที่ 5.20

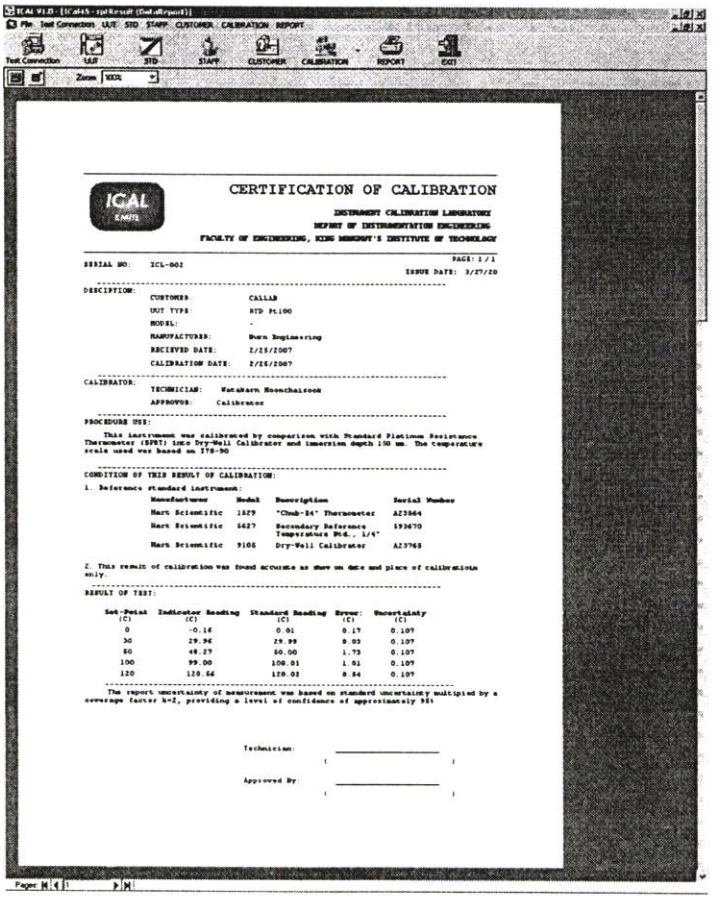
รายละเอียดมีดังนี้

- ❶ กดเพื่อเลือกหมายเลขตัววัดอุณหภูมิที่ได้สอบเทียบแล้ว
- ❷ กดเพื่อเลือกวันที่ทำการสอบเทียบ
- ❸ แสดงข้อมูลสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิจากการเลือกในขั้นตอนที่ 1 และ 2
- ❹ แสดงผลการสอบเทียบในแต่ละค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้

สามารถกดปุ่ม PRINT ถ้าต้องการพิมพ์ใบรับรองผลการสอบเทียบ ดังรูปที่ 5.21



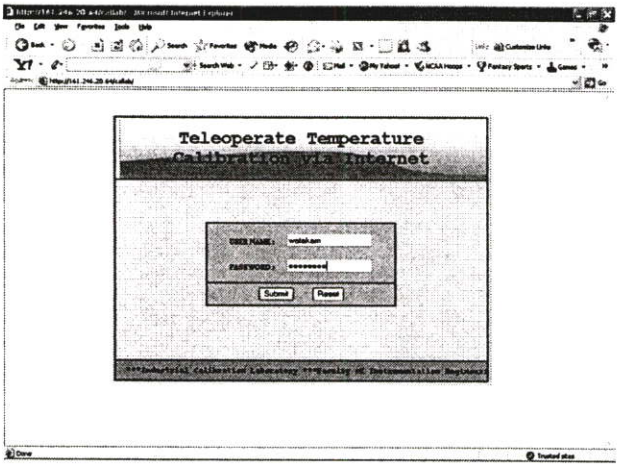
รูปที่ 5.20 หน้าจอผลการสอบเทียบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล



รูปที่ 5.21 ใบรายงานผลการสอบเทียบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

5.3.2 ขั้นตอนของผู้ปฏิบัติการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต โดยใช้โปรแกรมเว็บเบราเซอร์

1. ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะเปิดโปรแกรมเว็บเบราเซอร์ โดยใช้โปรแกรม Internet Explorer พิมพ์ http://161.246.20.64/Callab/ เป็นเว็บเพจเริ่มต้น เพื่อทำการป้อนชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน ดังรูปที่ 5.22



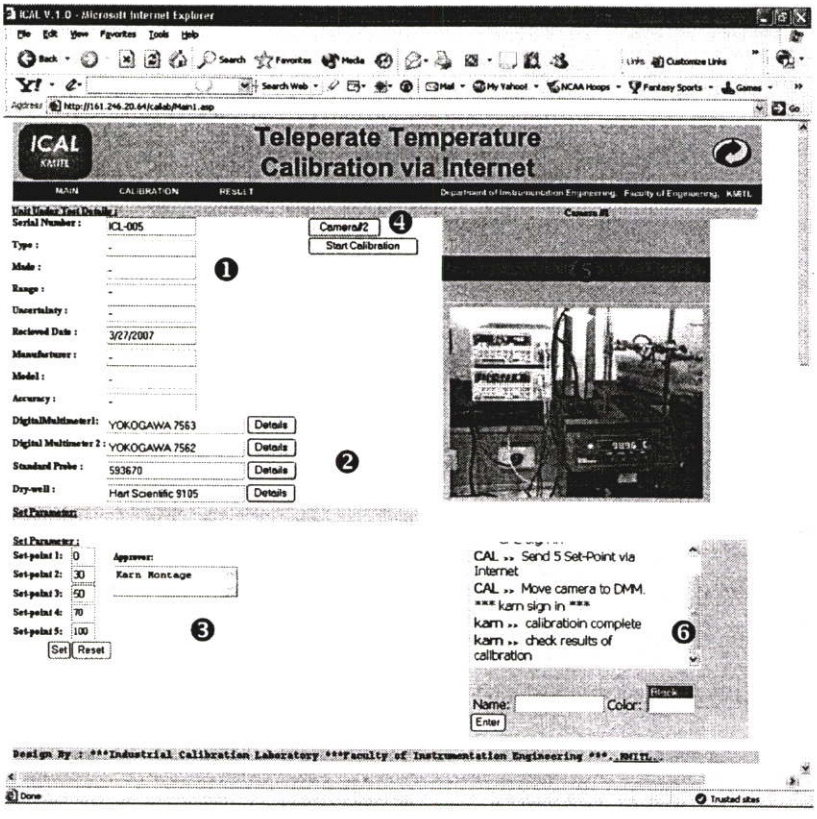
รูปที่ 5.22 เว็บเพจเริ่มต้นการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

2. จากนั้นเมื่อทำการป้อนรหัสผ่านที่ถูกต้องแล้ว จะเข้าสู่เว็บเพจที่แสดงข้อมูลตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ และผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะกำหนดค่าอุณหภูมิที่ทำการสอบเทียบและสามารถติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้ ดังรูปที่ 5.23
รายละเอียดมีดังนี้

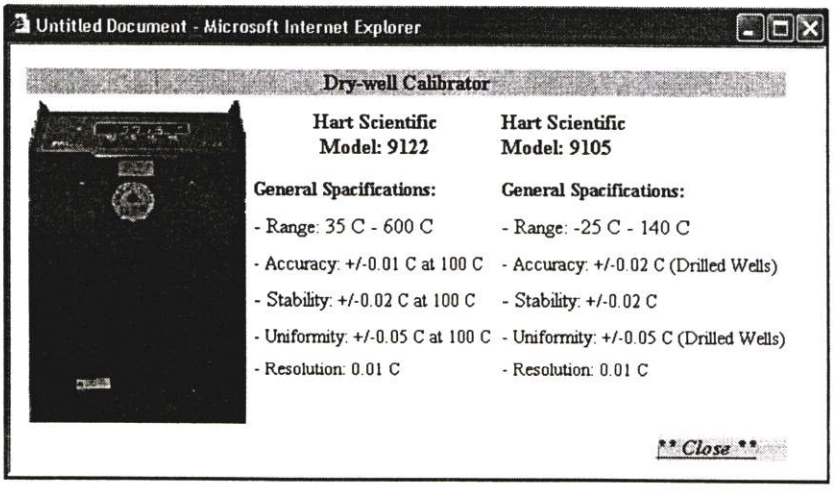
- ❶ แสดงข้อมูลตัวอุณหภูมิที่เจ้าหน้าที่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบกำหนดให้ มีข้อมูลดังนี้
  - Serial Number: รหัสประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาสอบเทียบ
  - Received Date: วันที่รับตัววัดอุณหภูมิมาสอบเทียบ
  - Type: กำหนดชนิดของตัววัดอุณหภูมิ
  - Manufacturer: บริษัทหรือโรงงานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิ
  - Made in: สถานที่ผลิตตัววัดอุณหภูมิ
  - Model: รุ่นของตัววัดอุณหภูมิ
  - Range: ย่านการวัดของตัววัดอุณหภูมิ
  - Accuracy: ค่าความถูกต้องของตัววัดอุณหภูมิ
  - Uncertainty: ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบครั้งที่แล้วของตัววัดอุณหภูมิ
  - Standard Probe: หมายเลขประจำตัวของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
  - Dry-Well Calibrator: ข้อมูลอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานแบบแห้ง
  - Digital Multimeter 1: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ

- Digital Multimeter2: เครื่องมือวัดอุณหภูมิสำหรับวัดค่าจากตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน

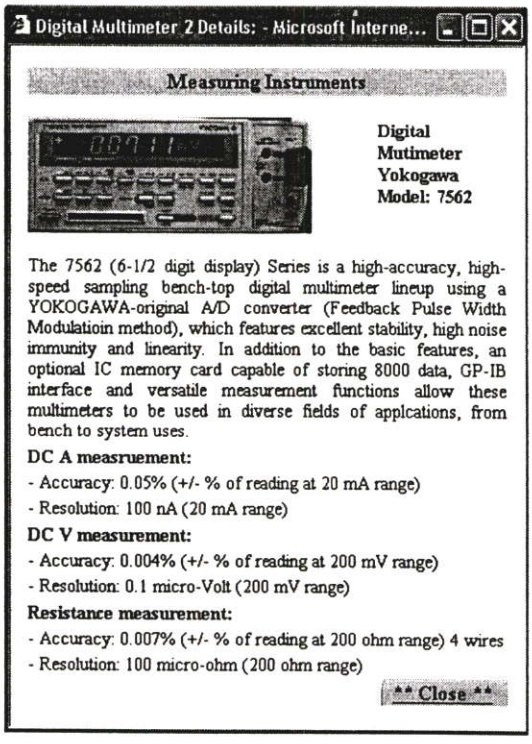
- ❷ แสดงข้อมูลของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน รูปที่ 5.24 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ รูปที่ 5.25 และ 5.26



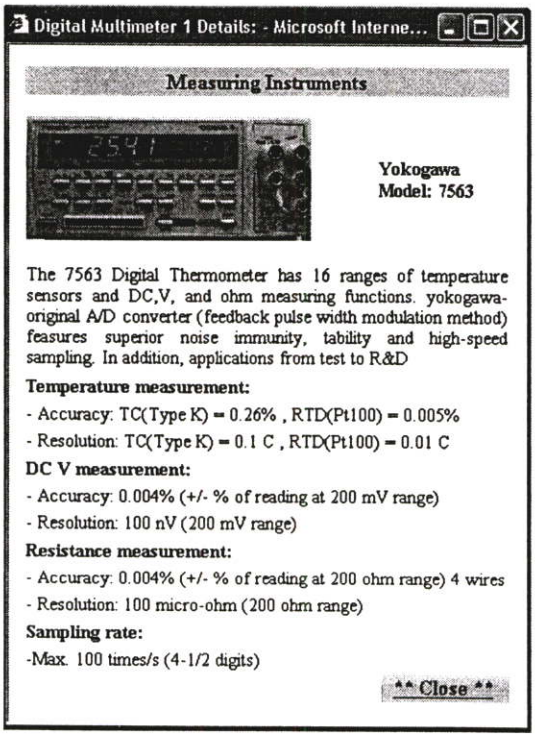
รูปที่ 5.23 รายละเอียดหน้าจอป้อนค่าสำหรับสอบเทียบ



รูปที่ 5.24 รายละเอียดของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน



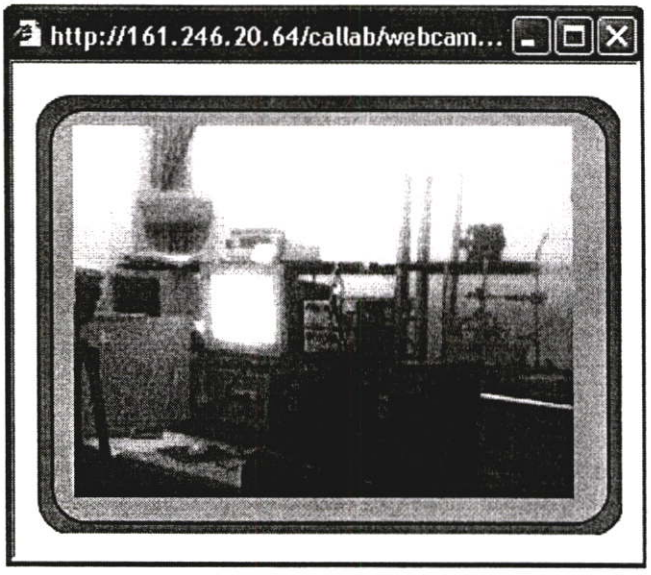
รูปที่ 5.25 รายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน



รูปที่ 5.26 รายละเอียดของเครื่องมือวัดอุณหภูมิตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ

- ❸ ส่วนที่ให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบกำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการสอบเทียบ จำนวน 5 ค่า และกำหนดชื่อผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ

- ❹ กดปุ่ม Camera#2 เพื่อแสดงภาพจากกล้องดิจิตอลที่ติดตั้งสำหรับดูสภาพของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 หน้าจอแสดงภาพที่ได้จากกล้องดิจิตอล

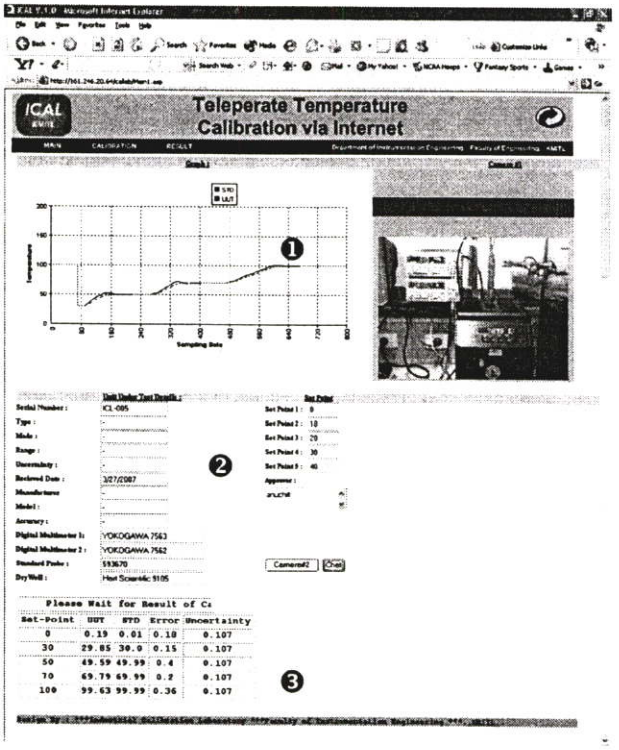
- ❺ เป็นภาพที่ได้จากกล้อง IP สำหรับดูค่าอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐานและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

- ❻ สำหรับให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบติดต่อกับเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

3. เมื่อผู้ปฏิบัติการสอบเทียบกำหนดข้อมูลเรียบร้อยและส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตซอฟต์แวร์ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะเริ่มทำการสอบเทียบ (ขั้นตอนที่ 9 หัวข้อ 5.3.1) ทางฝั่งผู้ปฏิบัติการสอบเทียบจะกดปุ่ม CALIBRATION เพื่อเข้าสู่เว็บเพจแสดงการสอบเทียบ ดังรูปที่ 5.28

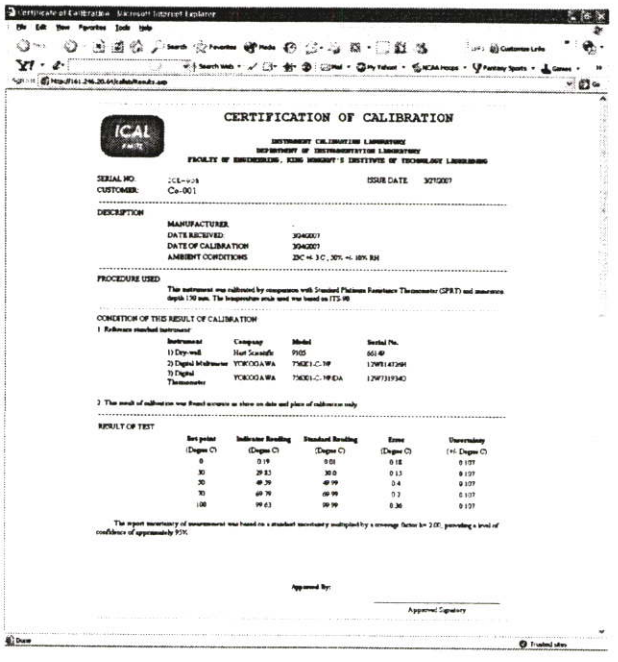
รายละเอียดมีดังนี้

- ❶ กราฟแสดงค่าที่วัดได้ระหว่างตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบและตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน
- ❷ ข้อมูลตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบและค่าอุณหภูมิสอบเทียบ
- ❸ ในส่วนนี้จะแสดงผลการสอบเทียบในแต่ละค่าอุณหภูมิสอบเทียบ



รูปที่ 5.28 เว็บเพจแสดงการสอบเทียบ

4. เมื่อผลการสอบเทียบได้ครบทั้ง 5 ค่า จะปรากฏกล่องข้อความ จากนั้นกดปุ่ม **RESULT** เพื่อดูใบรายงานผลการสอบเทียบ ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตสามารถพิมพ์ใบรายงานผลการสอบเทียบได้ ดังรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 เว็บเพจแสดงใบรายงานผลการสอบเทียบฝั่งผู้ปฏิบัติการสอบเทียบ

5.4 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต

การทดลองสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต จะสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ อาร์ทีดี เทอร์มอคัปเปิลแบบ K และ J โดยเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตกับการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ (Manual Calibration) ทั้งสองวิธีจะเก็บข้อมูลในการคำนวณค่าความไม่แน่นอน 10 ค่า หน่วงเวลาในการอ่านครั้งละ 1 นาที การทดลองทั้งสองแบบจะใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดเดียวกันดังแสดงในหัวข้อ 5.3 โดยรักษาอุณหภูมิห้องไว้ที่ 25 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50 %R.H. รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองและค่าการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ก รายละเอียดตารางกำหนดให้ Set-point = ค่าอุณหภูมิที่สอบเทียบ, UUT = ตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ, STD = ตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน, Error = ค่าผิดพลาด (ได้จาก UUT - STD), Expanded Uncertainty = ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งคำนวณจากหัวข้อ 2.4 หน้า 30

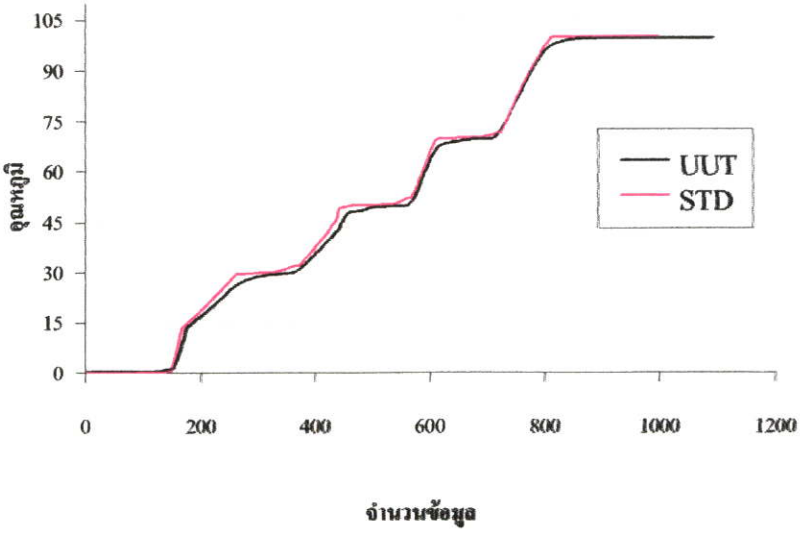
5.4.1 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT-100

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ผ่านอินเตอร์เน็ต

Set-point (^{o}C)	UUT (^{o}C)	STD (^{o}C)	Error (^{o}C)	Expanded Uncertainty
0	0.14	0.00	0.14	0.107
30	29.77	29.99	-0.22	0.107
50	49.82	50.01	-0.19	0.107
70	69.71	69.99	-0.28	0.107
100	99.59	100.01	-0.42	0.107

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิด RTD แบบ PT100 ใช้ผู้สอบเทียบ

Set-point (^{o}C)	UUT (^{o}C)	STD (^{o}C)	Error (^{o}C)	Expanded Uncertainty
0	0.22	0.01	0.21	0.108
30	29.77	29.99	-0.22	0.107
50	49.79	50.01	-0.22	0.109
70	69.77	69.99	-0.22	0.107
100	99.68	100.01	-0.33	0.107



รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิด RTD แบบ PT100 กับตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ

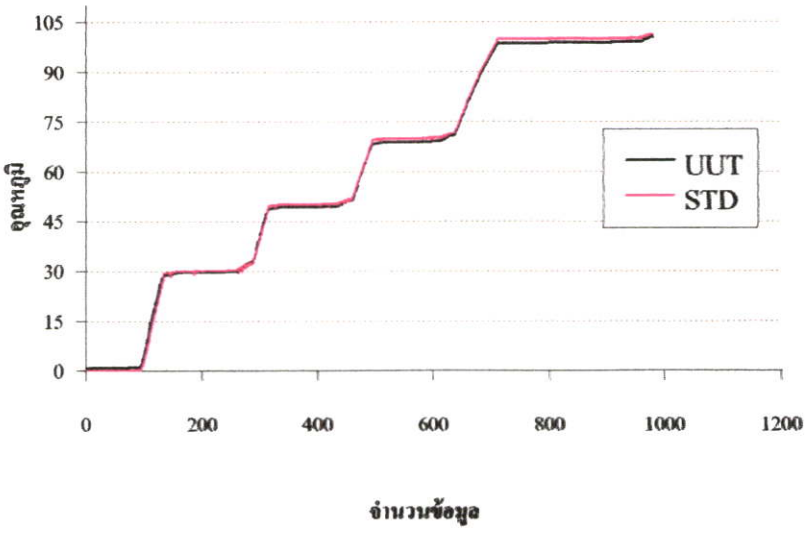
5.4.2 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต

Set-point (°C)	UUT (°C)	STD (°C)	Error (°C)	Expanded Uncertainty
0	0.90	0.03	0.87	0.107
30	30.60	30.02	0.58	0.107
50	49.20	50.01	-0.81	0.107
70	68.80	69.99	-1.19	0.107
100	98.80	100.01	-1.21	0.107

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ใช้ผู้สอบเทียบ

Set-point (°C)	UUT (°C)	STD (°C)	Error (°C)	Expanded Uncertainty
0	0.87	0.00	0.87	0.111
30	29.67	29.99	-0.32	0.111
50	49.20	50.01	-0.81	0.107
70	68.82	69.99	-1.17	0.110
100	98.79	100.01	-1.22	0.109



รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K กับตัววัดอุณหภูมิ-มาตรฐานที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ

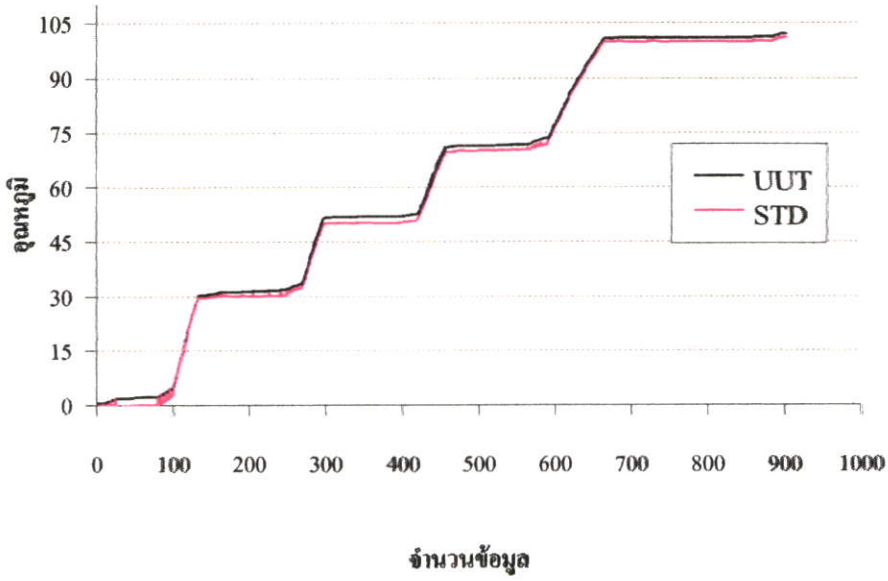
5.4.3 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J ผ่านอินเตอร์เน็ต

Set-point (°C)	UUT (°C)	STD (°C)	Error (°C)	Expanded Uncertainty
0	1.31	0.02	1.29	0.107
30	31.60	30.05	1.55	0.107
50	51.90	50.01	1.89	0.107
70	71.44	70.03	1.41	0.107
100	101.10	100.00	1.10	0.107

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J ใช้ผู้สอบเทียบ

Set-point (°C)	UUT (°C)	STD (°C)	Error (°C)	Expanded Uncertainty
0	1.30	0.02	1.28	0.107
30	31.49	30.05	1.44	0.109
50	51.86	50.01	1.85	0.112
70	71.48	70.01	1.47	0.110
100	101.06	100.01	1.05	0.112



รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบค่าตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J กับตัววัดอุณหภูมิ-มาตรฐานที่สอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตเทียบ

จากผลการทดลองโดยเปรียบเทียบวิธีการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตกับวิธีใช้ผู้สอบเทียบ สามารถสรุปผลของค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ (UUT) จากผลทดลองทั้งหมด

Set-point (°C)	ค่าความไม่แน่นอนของตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ (UUT) (°C)					
	RTD แบบ PT100		เทอร์มอคัปเปิล แบบ K		เทอร์มอคัปเปิล แบบ J	
	อินเตอร์เน็ต	ผู้สอบเทียบ	อินเตอร์เน็ต	ผู้สอบเทียบ	อินเตอร์เน็ต	ผู้สอบเทียบ
0	0.107	0.108	0.107	0.111	0.107	0.107
30	0.107	0.107	0.107	0.111	0.107	0.109
50	0.107	0.109	0.107	0.107	0.107	0.112
70	0.107	0.107	0.107	0.110	0.107	0.110
100	0.107	0.107	0.107	0.109	0.107	0.112

เพื่อสรุปความเหมาะสมในใช้วิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต ในแง่การลดเวลาในการสอบเทียบให้เร็วยิ่งขึ้น จึงทดลองจับเวลาการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตและสอบเทียบโดยใช้ผู้สอบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตจะสามารถลดเวลาที่ใช้ใน

การสอบเทียบได้กี่เปอร์เซ็นต์ โดยเริ่มจับเวลาตอนเริ่มการสอบเทียบที่จุดสอบเทียบที่ 1 ถึง 5 แล้วอ่านค่าอุณหภูมิห่างกัน 1 นาที บันทึกค่าผลการวัด 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย โดยกำหนดให้วิธีการสอบเทียบโดยใช้ผู้สอบเทียบจะใช้เครื่องคิดเลข (Calculator) ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบเวลาในการสอบเทียบของตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ จากผลทดลองทั้งหมด

ตัววัดอุณหภูมิสอบเทียบ	เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิรวมทั้งหมด		เปอร์เซ็นต์ในการลดเวลา
	การสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ต	การสอบเทียบโดยใช้ผู้สอบเทียบ	
RTD แบบ PT100	100 นาที	135 นาที	25.93 %
เทอร์มอคัปเปิลแบบ K	102 นาที	135 นาที	24.44 %
เทอร์มอคัปเปิลแบบ J	102 นาที	135 นาที	24.44 %

จากตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตให้ผลการสอบเทียบใกล้เคียงกับการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ ทั้งยังมีความถูกต้องในการอ่านค่าอุณหภูมิถูกต้องมากกว่า เนื่องจากการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตจะใช้ซอฟต์แวร์ในการอ่านค่าและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้การอ่านค่าอุณหภูมิและการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดได้ถูกต้อง ส่วนการสอบเทียบแบบผู้สอบเทียบ การอ่านค่าอุณหภูมิจะเกิดการผิดพลาดในการอ่านค่าได้หรือการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดไม่ถูกต้องเนื่องจากการปัดเศษ

จากตารางที่ 5.8 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทดลองสอบเทียบ จะเห็นว่าการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตจะใช้เวลาในการสอบเทียบน้อยกว่า เช่น สามารถลดเวลาในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีแบบ PT100 ได้ 25.93% และตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิ้ลแบบ K และ J ลดได้ 24.44 %

เพราะฉะนั้นผลสรุปการนำเอาวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตมาใช้งานแทนการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ โดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ใกล้เคียงกัน และวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตยังลดเวลาในการสอบเทียบได้มากกว่าวิธีการสอบเทียบอุณหภูมิแบบใช้ผู้สอบเทียบ อีกทั้งข้อมูลผลการสอบเทียบก็จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลทำให้สะดวกในการจัดเก็บและเรียกดูข้อมูลการสอบเทียบเก่าได้สะดวก ดังนั้นผลการทดลองที่ได้เป็นการยืนยันว่าวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-001 PAGE: 1 / 1

ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCIPTION:

CUSTOMER:	CO-001
UUT TYPE:	RTD Pt100
MODEL:	-
MANUFACTURER:	FW System
RECIEVED DATE:	4/02/2007
CALIBRATION DATE:	4/02/2007

CALIBRATOR:

TECHNICIAN:	Watakarn Moonchaisook
APPROVOR:	karn moon

PROCEDURE USE:

This instrument was calibrated by comparison with Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) into Dry-Well Calibrator and immersion depth 150 mm. The temperature scale used was based on ITS-90

CONDITION OF THIS RESULT OF CALIBRATION:

1. Reference standard instrument:

Manufacturer	Model	Description	Serial Number
Hart Scientific	9105	Dry-Well Calibrator	A23765
Hart Scientific	5627	Secondary Reference Temperature Std., 1/4"	593670
YOKOGAWA	756201-C-7/F	Digital Multimeter	12W814726H
YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	Digital Thermometer	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-Point (C)	Indicator Reading (C)	Standard Reading (C)	Error: (C)	Uncertainty (C)
0	0.14	0.0	0.14	0.107
30	29.77	29.99	-0.22	0.107
50	49.82	50.01	-0.19	0.107
70	69.71	69.99	-0.28	0.107
100	99.59	100.01	-0.42	0.107

The report uncertainty of measurement was based on standard uncertainty multipied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%

Technician: _____

( )

Approved By: _____

( )

รูปที่ 5.33 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ฝั่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-001 ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCRIPTION:

CUSTOMER:	CO-001
UUT TYPE:	RTD Pt100
MANUFACTURER:	FW System
DATE RECEIVED:	4/02/2007
DATE OF CALIBRATION:	4/02/2007
AMBIENT CONDITIONS:	23C +/- 3 C , 50% +/- 10% RH

PROCEDURE USED:

This instrument was calibrated 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:

Instrument	Company	Model	Serial No.
1) Dry-well	Hart Scientific	9105	66149
2) Digital Multimeter	YOKOGAWA	756201-C-7/F	12W814726H
3) Digital Thermometer	YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-point (Degree C)	Indicator Reading (Degree C)	Standard Reading (Degree C)	Error (Degree C)	Uncertainty (+/- Degree C)
0	0.14	0.0	0.14	0.107
30	29.77	29.99	-0.22	0.107
50	49.82	50.01	-0.19	0.107
70	69.71	69.99	-0.28	0.107
100	99.59	100.01	-0.42	0.107

The report 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%

Approved By:

Approved Signatory

รูปที่ 5.34 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ฝั่งอินเตอร์เน็ต

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-002

PAGE: 1 / 1

ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCIPTION:

CUSTOMER: CO-001
UUT TYPE: Thermocouple Type K
MODEL: -
MANUFACTURER: -
RECIEVED DATE: 4/02/2007
CALIBRATION DATE: 4/02/2007

CALIBRATOR:

TECHNICIAN: Watakarn Moonchaisook
APPROVOR: karn moon

PROCEDURE USE:

This instrument was calibrated by comparison with Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) into Dry-Well Calibrator and immersion depth 150 mm. The temperature scale used was based on ITS-90

CONDITION OF THIS RESULT OF CALIBRATION:

1. Reference standard instrument:

Manufacturer	Model	Description	Serial Number
Hart Scientific	9105	Dry-Well Calibrator	A23765
Hart Scientific	5627	Secondary Reference Temperature Std., 1/4"	593670
YOKOGAWA	756201-C-7/F	Digital Multimeter	12W814726H
YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	Digital Thermometer	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-Point (C)	Indicator Reading (C)	Standard Reading (C)	Error: (C)	Uncertainty (C)
0	0.9	0.034	0.866	0.107
30	30.6	30.024	0.576	0.107
50	49.20	50.01	-0.810	0.107
70	68.80	69.99	-1.19	0.107
100	98.80	100.01	-1.21	0.107

The report uncertainty of measurement was based on standard uncertainty multipied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%

Technician: _____
( )

Approved By: _____
( )

รูปที่ 5.35 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ฝั่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-002 ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCRIPTION:

CUSTOMER:	CO-001
UUT TYPE:	Thermocouple Type K
MANUFACTURER:	-
DATE RECEIVED:	4/02/2007
DATE OF CALIBRATION:	4/02/2007
AMBIENT CONDITIONS:	23C +/- 3 C , 50% +/- 10% RH

PROCEDURE USED:

This instrument was calibrated 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:

Instrument	Company	Model	Serial No.
1) Dry-well	Hart Scientific	9105	66149
2) Digital Multimeter	YOKOGAWA	756201-C-7/F	12W814726H
3) Digital Thermometer	YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-point (Degree C)	Indicator Reading (Degree C)	Standard Reading (Degree C)	Error (Degree C)	Uncertainty (+/- Degree C)
0	0.9	0.034	0.866	0.107
30	30.6	30.024	0.576	0.107
50	49.20	50.01	-0.810	0.107
70	68.80	69.99	-1.19	0.107
100	98.80	100.01	-1.21	0.107

The report 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%

Approved By:

Approved Signatory

รูปที่ 5.36 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ฝั่งอินเตอร์เน็ต

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-003

PAGE: 1 / 1
ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCIPTION:

CUSTOMER: CO-001
UUT TYPE: Thermocouple Type J
MODEL: -
MANUFACTURER: FW System
RECIEVED DATE: 4/02/2007
CALIBRATION DATE: 4/02/2007

CALIBRATOR:

TECHNICIAN: Watakarn Moonchaisook
APPROVOR: karn moon

PROCEDURE USE:

This instrument was calibrated by comparison with Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) into Dry-Well Calibrator and immersion depth 150 mm. The temperature scale used was based on ITS-90

CONDITION OF THIS RESULT OF CALIBRATION:

1. Reference standard instrument:

Manufacturer	Model	Description	Serial Number
Hart Scientific	9105	Dry-Well Calibrator	A23765
Hart Scientific	5627	Secondary Reference Temperature Std., 1/4"	593670
YOKOGAWA	756201-C-7/F	Digital Multimeter	12W814726H
YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	Digital Thermometer	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-Point (C)	Indicator Reading (C)	Standard Reading (C)	Error: (C)	Uncertainty (C)
0	1.31	0.021	1.289	0.107
30	31.6	30.051	1.549	0.107
50	51.9	50.01	1.89	0.107
70	71.44	70.034	1.406	0.107
100	101.1	100.006	1.094	0.107

The report uncertainty of measurement was based on standard uncertainty multipied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%

Technician: _____
( )

Approved By: _____
( )

รูปที่ 5.37 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ฝั่งห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

CERTIFICATION OF CALIBRATION

INSTRUMENT CALIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SERIAL NO: ICL-003 ISSUE DATE: 4/02/2007

DESCRIPTION:

CUSTOMER:	CO-001
UUT TYPE:	Thermocouple Type J
MANUFACTURER:	FW System
DATE RECEIVED:	4/02/2007
DATE OF CALIBRATION:	4/02/2007
AMBIENT CONDITIONS:	23C +/- 3 C , 50% +/- 10% RH

PROCEDURE USED:

This instrument was calibrated 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:

Instrument	Company	Model	Serial No.
1) Dry-well	Hart Scientific	9105	66149
2) Digital Multimeter	YOKOGAWA	756201-C-7/F	12W814726H
3) Digital Thermometer	YOKOGAWA	756301-C-7/F/DA	12W731934G

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

RESULT OF TEST:

Set-point (Degree C)	Indicator Reading (Degree C)	Standard Reading (Degree C)	Error (Degree C)	Uncertainty (+/- Degree C)
0	1.31	0.021	1.289	0.107
30	31.6	30.051	1.549	0.107
50	51.9	50.01	1.89	0.107
70	71.44	70.034	1.406	0.107
100	101.1	100.006	1.094	0.107

The report 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%

Approved By:

Approved Signatory

รูปที่ 5.38 ใบรายงานผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ฝั่งอินเตอร์เน็ต

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะลดข้อผิดพลาดจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ ลดเวลา ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบภายนอก แต่ยังคงรักษาความเชื่อมั่นในผลการวัดได้เช่นเดียวกันกับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานทั่วไป และนอกจากนั้นในกรณีที่ทำการสอบเทียบภายในหน่วยงาน หัวหน้างานสามารถตรวจสอบการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตได้อีกด้วย การเข้าถึงข้อมูลผลการสอบเทียบของหน่วยงานต่างๆ ก็สามารถทำได้สะดวก ทำให้การพิจารณาที่จะใช้งานเครื่องมือวัดสามารถทำได้รวดเร็วและส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

ผลการทดลองสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต จะทดลองตัววัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีและแบบเทอร์มอคัปเปิล โดยเปรียบผลการสอบเทียบกับวิธีการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบสามารถสรุปได้ดังนี้

1.การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตสามารถนำมาใช้แทนวิธีการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบได้ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนในการวัดทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยเมื่อพิจารณาค่าความไม่แน่นอนแบบ A ทั้งสองแบบจะมีค่าน้อยมาก ทำให้ผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวมจะได้จากค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B มากกว่า (ดูผลการคำนวณในภาคผนวก ก.) แสดงว่ายิ่งเลือกใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานสูง จะได้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดรวมน้อยลงด้วย

2. ความผิดพลาดในการคำนวณของการสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะน้อยกว่าการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ เนื่องจากซอฟต์แวร์จะปฏิบัติตามขั้นตอนในการสอบเทียบอย่างถูกต้องทุกครั้ง และสามารถคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง รวดเร็ว แต่การสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบอาจมีการข้ามขั้นตอนและคำนวณผิดพลาดได้

3. เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ วิธีการสอบเทียบผ่านอินเตอร์เน็ตจะใช้เวลาน้อยกว่าการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบ เช่น การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตสามารถลดเวลาในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดีแบบ PT100 ได้ 25.93% และตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิ้ลแบบ K และ J ลดได้ 24.44 % เนื่องจากการสอบเทียบแบบใช้ผู้สอบเทียบจะต้องทำงานหลายขั้นตอน ทั้งอ่านค่าอุณหภูมิ คำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด ค่าผิดพลาด และการจัดทำรายงานผลการสอบเทียบ

ข้อเสนอแนะ

1. ซอฟต์แวร์ที่ได้ออกแบบไว้ สามารถใช้ได้เฉพาะเครื่องมือวัดที่มีอยู่เท่านั้น และชุดคำสั่งในการควบคุมและอ่านค่าจะเป็นของบริษัทนั้นๆ ไม่สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ของผู้ผลิตรายอื่นๆ ซึ่งในการปรับปรุงควรพัฒนาซอฟต์แวร์ให้สามารถเพิ่มเติมชุดคำสั่งของอุปกรณ์นั้นๆ ได้ผ่านทาง Text file หรือไลบรารี

2. การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตจะไม่สามารถใช้งานได้ดีนัก ในกรณีที่ระบบอินเตอร์เน็ตมีปัญหาล่าช้าและผู้ปฏิบัติการสอบเทียบอยู่ไกล ซึ่งคาดว่าในอนาคตข้างหน้าจะมีเทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตได้เร็วขึ้น มีความก้าวหน้ามากขึ้น และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนามีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

3. สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้งานด้านการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบแท่งแก้วได้ โดยต้องแก้ไขซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). **บทบาทมาตรวิทยาต่อการพัฒนาคุณภาพสู่สหัสวรรษใหม่.** กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546.

[2] เกษมสันติ์ จันทร์ปลั่ง, สุพจน์ ตุงคเศรวงศ์, ภูวดล บุญมาก. **เอกสารประกอบการอบรม Temperature Measuring Instrument Calibration.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2545.

[3] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. **"ผลงานวิจัยและพัฒนา."** [Online]. Available: http://www.nimt.or.th/nimt_th/html/rdnimt_1.html. 2545.

[4] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). **คู่มือการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546.

[5] Pedro I. Espina. **"TELE-CALIBRATION OF GAS FLOW METERS."** [Online]. Available: http://www.cstl.nist.gov/div836/836.01/PDFs/1999/MSC_1999.pdf. National Institute of Standards and Technology. 1999

[6] เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์. **หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม.** ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

[7] สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.** ครั้งที่ 18. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546.

[8] เกษมสันติ์ จันทร์ปลั่ง. **Temperature Measuring And Calibration.** เอกสารประกอบการบรรยาย. ไม่ระบุสถานที่และปีที่พิมพ์.

[9] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). **เอกสารประกอบการอบรมการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2545.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **นิยามศัพท์มาตรวิทยา มอก.235.** กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2531.เล่ม 14-2531.

[11] UKAS M3003. **"The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement."** [Online]. Available: http://www.ukas.com. United Kingdom Accreditation Service. 2005.

[12] Dave Ayres, Anne Blundell. **"Calibrating Thermometers."** [Online]. Available: http://www.isotech.co.uk/tempcal.html. Isothermal Technology. 2005.

[13] NIMT. "**Standard Procedure for Calibration of Industrial Platinum Resistance Thermometers Type/Model: pt100**" [Online]. Available: http://www.nimt.or.th/nimt_th/calibration_procedure/CP%20No.401-IPRT%20Calibration.pdf.2004.

[14] แอนดรูว์ เทเนนบาม. **คอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ก**. กรุงเทพมหานคร: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. 2542.

[15] Behrouz A. Forouzan. **การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์-Data Communication and Networking**. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ท้อป. 2548.

[16] สุวัฒน์ ปุณณะชัยยะ. **เปิดโลกของ TCP/IP และโปรโตคอลของอินเตอร์เน็ต** .กรุงเทพมหานคร: บริษัทโปรวิชั่น. 2543.

[17] ธวัชชัย สุริยะทองธรรม, ธาริน สิทธิธรรมชารี และประชา พฤกษ์ประเสริฐ. **สร้างเว็บเพจอย่างไร้ขีดจำกัด ASP Active Server Page** . กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซัคเซส มีเดีย. 2544.

[18] ชไวเลท พิพัฒพรรณวงศ์. **การพัฒนาเว็บอย่างเหนือชั้นด้วย Web Database Step by Step**. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสามย่าน.COM. 2544.

[19] ทวี หงส์สุมาลย์, สงวนชัย สุวรรณชีวะศิริ. **อินไซท์ ASP และ ASP.NET ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพมหานคร: บริษัทโปรวิชั่น. 2545.

[20] Jovan B, Janko D, Igor P, Tanasko T, "Automation of a precision temperature calibration laboratory", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, Vol. 49, No. 3, June 2000, pp. 596 –601.

[21] David J. Southworth. "**AUTOMATIC TEMPERATURE CALIBRATION BATHS WITH SIMPLE LOW COST IMAGE ACQUISTION.**" [Online]. Available: http://-www .isotech.co.uk.

[22] J.A. Bailey. "Use of software and computers in calibration and certifications." **IEE Colloquium on Automation in Electrical Measurement**, Nov 1993, pp. 4/1 -4/5.

[23] Oldham N, Parker M. "Internet-based test service for multifunction calibrators." **Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/99)**, Vol. 3, 24-26 May 1999, pp. 1485 – 1487.

[24] Linda B. Baca, Len D, Russ W, Nile O, Mark P. "**Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator.**" [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/iel5/19/30128/01381794.pdf?arnumber=1381794. 2000.

[25] R.A.Dudley, N.M.Ridler, "Internet calibration direct to national measurement standards for automatic network analysers.", **Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001 (IMTC 2001)**, Vol. 1, May 2001, pp. 255–258.

[26] C. Cassiago, L. Callegaro. G. La Paglia. "Internet Calibration for Electrical Metrology: First Application at IEN." **Instrumentation and Measurement Technology Conference.**, IEEE, 2004, pp. 102-105.

[27] DrnovSek J., Bojkovski J., Turk I. "An optimized temperature calibration system" **Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/95)**, 24-26 April 1995, pp. 402-405.

[28] A. Carullo, M. Parvis; A. Vallan, "Security issues for Internet-based calibration activities." **Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference**(IMTC), 2002, Vol.1, May 2002, pp. 817-822.

[29] M. Watakarn, "Teleoperate Temperature Calibration via Internet." **International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)**, 22-25 October 2003, pp. 1438-1442.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง

ก.1 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ผ่านอินเตอร์เน็ตกับแบบใช้ผู้สอบเทียบ

การเปรียบเทียบทั้งสองวิธีจะใช้อุปกรณ์เดียวกัน มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพราะฉะนั้นการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B จะใช้ค่าเดียวกันในการคำนวณ แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิอาร์ทีดี ชนิด PT 100 ดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100

สัญลักษณ์	แหล่งของความไม่แน่นอนในการวัดที่นำมาประเมิน	ค่าที่นำมาคำนวณ (±) ❶	รูปแบบการกระจาย [11]	ตัวหาร ❷	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B ❶/❷
U_{b1}	ค่าที่ได้จากการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานครั้งก่อน	0.007 °C	ปกติ	2	0.004
U_{b2}	ค่าความละเอียดของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน	0.001	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.001
U_{b3}	ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน	0.007 °C	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.004
U_{b4}	ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ	0.005	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.006
U_{b5}	ค่าความไม่เสถียรของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	0.02 °C	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.012
U_{b6}	ค่าความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	0.05 °C	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.029
U_b	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B รวมทั้งหมด	$U_b = \sum_{i=1}^{5} U_{bi}^2$			**0.0535**

ตารางที่ ก.2 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100 ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ (°C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
0	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
30	29.76	29.76	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77
50	49.81	49.81	49.81	49.82	49.82	49.82	49.82	49.82	49.82	49.82	49.82
70	69.70	69.70	69.71	69.71	69.71	69.71	69.71	69.71	69.71	69.71	69.71
100	99.58	99.59	99.58	99.59	99.59	99.59	99.59	99.59	99.59	99.59	99.59

ตารางที่ ก.3 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ($^{\circ}C$)	ค่าความผิดพลาด ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนรวม ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) ($^{\circ}C$)
0	0.14	0.00	0.14	0.001	0.0535	0.0535	0.107
30	29.77	29.99	-0.22	0.001	0.0535	0.0535	0.107
50	49.82	50.01	-0.19	0.001	0.0535	0.0535	0.107
70	69.71	69.99	-0.28	0.001	0.0535	0.0535	0.107
100	99.59	100.01	-0.42	0.004	0.0535	0.0535	0.107

ตารางที่ ก.4 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ (°C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
0	0.23	0.23	0.23	0.24	0.23	0.22	0.19	0.19	0.20	0.20	0.22
30	29.76	29.77	29.78	29.79	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77	29.77
50	49.72	49.74	49.76	49.78	49.79	49.81	49.82	49.82	49.82	49.82	49.79
70	69.77	69.77	69.77	69.77	69.78	69.76	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77
100	99.68	99.68	99.68	99.68	99.67	99.67	99.68	99.67	99.69	99.69	99.68

ตารางที่ ก.5 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดอาร์ทีดี แบบ PT 100 โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^{o}C)	ค่าความผิดพลาด (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนรวม (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) (^{o}C)
0	0.22	0.01	0.21	0.006	0.0535	0.0538	0.108
30	29.77	29.99	-0.22	0.0025	0.0535	0.0536	0.107
50	49.79	50.01	-0.22	0.0115	0.0535	0.0547	0.109
70	69.77	69.99	-0.22	0.0015	0.0535	0.0535	0.107
100	99.68	100.01	-0.33	0.0023	0.0535	0.0535	0.107

ก.2 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K และแบบ J ผ่านอินเตอร์เน็ตกับแบบใช้ผู้สอบเทียบ

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดแบบ B ของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K และ แบบ J จะมีค่าที่แตกต่างกับอาร์ทีดี ตรงที่ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบจะมีค่า $\pm 0.004\ ^{0}C$ (U_{b4} = คิดจากคู่มือประจำเครื่องมือวัด) และการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีจะใช้อุปกรณ์เดียวกัน มีสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพราะฉะนั้นการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดแบบ B จะใช้ค่าเดียวกันในการคำนวณ ซึ่งจะแสดงการประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบ B ตามวิธีมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ ก.6

ตารางที่ ก.6 แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด K

สัญลักษณ์	แหล่งของความไม่แน่นอนในการวัดที่นำมาประเมิน	ค่าที่นำมาคำนวณ (±) ❶	รูปแบบการกระจาย [11]	ตัวหาร ❷	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B ❶/❷
U_{b1}	ค่าที่ได้จากการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิมาตรฐานครั้งก่อน	$0.007\ ^{0}C$	ปกติ	2	0.004
U_{b2}	ค่าความละเอียดของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน	0.001	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.001
U_{b3}	ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน	$0.007\ ^{\circ}C$	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.004
U_{b4} *	ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ	0.004	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.002
U_{b5}	ค่าความไม่เสถียรของอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	$0.02\ ^{\circ}C$	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.012
U_{b6}	ค่าความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	$0.05\ ^{\circ}C$	สี่เหลี่ยมมุมฉาก	$\sqrt{3}$	0.029
U_{b}	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B รวมทั้งหมด	$U_b = \sum_{i=1}^{5} U_{bi}^2$			**0.0535**

ตารางที่ ก.7 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ ($^{\circ}C$)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
0	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
30	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60	30.60
50	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20	49.20
70	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80
100	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80

ตารางที่ ก.8 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^{o}C)	ค่าความผิดพลาด (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนรวม (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) (^{o}C)
0	0.90	0.03	0.87	0.000	0.0535	0.0535	0.107
30	30.60	30.02	0.58	0.000	0.0535	0.0535	0.107
50	49.20	50.01	-0.81	0.000	0.0535	0.0535	0.107
70	68.80	69.99	-1.19	0.000	0.0535	0.0535	0.107
100	98.80	100.01	-1.21	0.000	0.0535	0.0535	0.107

ตารางที่ ก.9 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ ($^{\circ}C$)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}$
0	0.90	0.80	0.90	0.90	0.90	0.80	0.90	0.90	0.80	0.90	0.87
30	29.70	29.60	29.70	29.60	29.60	29.70	29.70	29.70	29.70	29.70	29.67
50	49.20	49.19	49.20	49.20	49.19	49.20	49.20	49.19	49.20	49.20	49.20
70	68.80	68.90	68.80	68.90	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.80	68.82
100	98.80	98.80	98.80	98.80	98.70	98.80	98.80	98.80	98.80	98.80	98.79

ตารางที่ ก.10 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ K โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^{o}C)	ค่าความผิดพลาด (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนรวม (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) (^{o}C)
0	0.87	0.00	0.87	0.0153	0.0535	0.0556	0.111
30	29.67	29.99	-0.32	0.0153	0.0535	0.0556	0.111
50	49.20	50.01	-0.81	0.0015	0.0535	0.0535	0.107
70	68.82	69.99	-1.17	0.0133	0.0535	0.0551	0.110
100	98.79	100.01	-1.22	0.0100	0.0535	0.0554	0.109

ตารางที่ ก.11 ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ (°C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
0	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
30	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60
50	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90
70	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44	71.44
100	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10	101.10

ตารางที่ ก.12 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J ผ่านอินเตอร์เน็ต

จุดสอบเทียบ (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย (^{o}C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน (^{o}C)	ค่าความผิดพลาด (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนรวม (^{o}C)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) (^{o}C)
0	1.31	0.02	1.29	0.000	0.0535	0.0535	0.107
30	31.60	30.05	1.55	0.000	0.0535	0.0535	0.107
50	51.90	50.01	1.89	0.000	0.0535	0.0535	0.107
70	71.44	70.03	1.41	0.000	0.0535	0.0535	0.107
100	101.10	100.00	1.10	0.000	0.0535	0.0535	0.107

ตารางที่ ก.13ค่าอุณหภูมิของการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิชนิดเทอร์มอคัปเปิล แบบ J โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ (°C)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบ (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\overline{X}$
0	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
30	31.40	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.49
50	51.80	51.80	51.80	51.80	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.90	51.86
70	71.50	71.40	71.50	71.50	71.40	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50	71.48
100	101.10	101.00	101.00	101.10	101.00	101.00	101.10	101.10	101.10	101.10	101.06

ตารางที่ ก.14 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายและผลการสอบเทียบตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ชนิด J โดยใช้ผู้สอบเทียบ

จุดสอบเทียบ ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิที่สอบเทียบเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิมาตรฐาน ($^{\circ}C$)	ค่าความผิดพลาด ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ A ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนแบบ B ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนรวม ($^{\circ}C$)	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (คูณด้วย 2) ($^{\circ}C$)
0	1.30	0.02	1.28	0.0000	0.0535	0.0535	0.107
30	31.49	30.05	1.44	0.0100	0.0535	0.0544	0.109
50	51.86	50.01	1.85	0.0163	0.0535	0.0559	0.112
70	71.48	70.01	1.47	0.0133	0.0535	0.0551	0.110
100	101.06	100.01	1.05	0.0163	0.0535	0.0559	0.112

ภาคผนวก ข

รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ข.1 อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (Dry-Well Calibrator) รุ่น 9105 ของบริษัท Hart Scientific

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดอ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน รุ่น 9105 ของบริษัท Hart Scientific

Specifications		
HART SCIENTIFIC A Fluke Company	**Power**	115 VAC (±10%), 50/60 Hz, 230 VAC (±10%), 350 watts
	Ambient Temperature	5–50°C (40–120°F)
	Operating Range	–25°C to 140°C (–32°C to 284°F) at 25°C (77°F)
	Resolution	0.01°C or 0.01°F
	Accuracy	**Drilled Wells** ±0.2°C (0.36°F)
		Center Well ±0.1°C (0.18°F) with 6.35 mm (1/4")probe
	Uniformity	**Drilled Wells** ±0.05°C (0.09°F)
		Center Well ±0.2°C (0.36°F) with 6.35 mm (1/4") probe
	Control Stability	0.02°C (0.04°F)
	Controller	Hybrid analog/digital controller with data retention
	Test Wells	One 3/4" dia. x 6" deep, two 1/4" dia. x 6", one 3/16" dia. x 6" deep, and one 1/8" x 6" deep

ๆ.2 Digital Thermometer YOKOGAWA Model 7563 (6-1/2 Digits)

7563

SPECIFICATIONS

■ DC VOLTAGE (DC V)

● Ranges:

* 16.7 ms shows 16.66 ....

	Integrating Time (500/200 ms)		Integrating Time (100/20/16.7 ms)*		Integrating Time (2.5 ms)		Input Resistance	Max. Input
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution		
200 mV	199.9999	100 nV	199.999	1 µV	199.99	10 µV		
2,000 mV	1,999.999	1 µV	1,999.99	10 µV	1,999.9	100 µV	> 1 GΩ	±200 V peak between Hi and Lo. ±42 V peak between Lo and guard. ±500 V peak between guard and case.
20 V	19.99999	10 µV	19.9999	100 µV	19.999	1 mV		
200 V	199.9999	100 µV	199.999	1 mV	199.99	10 mV	10 MΩ ±1%	

● Accuracy (Integrating Time 500 ms): ±(% of reading+digits)

Range	24 h, 23±1°C	90 days, 23±5°C	1 year, 23±5°C	Temperature Coefficient (/°C*)
200 mV	0.004+20(3) [4]	0.006+25(4) [4]	0.01+25(4) [4]	0.0007+5(.6) [.2]
2,000 mV	0.0025+ 8(2) [3]	0.0045+10(2) [3]	0.0075+10(2) [3]	0.00055+1(.2) [.1]
20 V	0.003+ 8(2) [3]	0.005+10(2) [3]	0.009+10(2) [3]	0.00065+1(.2) [.1]
200 V	0.0045+10(2) [3]	0.009+15(2) [3]	0.016+15(2) [3]	0.00075+1(.2) [.1]

* Temperature range: 5 to 18, 28 to 40°C.

- Accuracy at 24 hours, 23±1°C is the value for the calibration standard.
- Auto Zero ON, Null.
- **Integrating time:** At 200 ms, 2 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
- ( ) indicates the value (digits) in integrating time 100 ms. At 20/16.7 ms, 2 is added to the value (digits) in integrating time of ( ).
- [ ] indicates the value (digits) integrating time 2.5 ms.
- At Auto Zero OFF, temperature coefficient of ±(0.0015% of range ±25 µV)/°C is added (at 5 to 40°C).
- **Common Mode Rejection:** 120 dB or more. Integrating time: 500/200/100/20/16.7 ms. Rs = 1 kΩ, 50/60 Hz ±0.1%
(Rs: signal source resistance.)
- **Normal Mode Rejection:** 60 dB or more. Integrating time: 500/200/100/20/16.7 ms, 50/60 Hz ±0.1%.

■ RESISTANCE (OHM)

● Ranges:

Range	Integrating Time (500/200 ms)		Integrating Time (100/20/16.7 ms)		Integrating Time (2.5 ms)		Current through Unknown
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	
200 Ω	199.9999	100 µΩ	199.999	1 mΩ	199.99	10 mΩ	1 mA
2,000 Ω	1,999.999	1 mΩ	1,999.99	10 mΩ	1,999.9	100 mΩ	1 mA
20 kΩ	19.99999	10 mΩ	19.9999	100 mΩ	19.999	1 Ω	100 µA
200 kΩ	199.9999	100 mΩ	199.999	1 Ω	199.99	10 Ω	10 µA
2,000 kΩ	1,999.999	1 Ω	1,999.99	10 Ω	1999.9	100 Ω	1 µA
20 MΩ	19.9999	100 Ω	19.9999	100 Ω	19.999	1 kΩ	100 nA

● Accuracy (4-wire, Integrating Time 500 ms): ±(% of reading+digits)

Range	24 h, 23±1°C	90 days, 23±5°C	1 year, 23±5°C	Temperature Coefficient (/°C*)
200 Ω	0.004+25(4) [4]	0.008+30(5) [4]	0.012+30(6) [4]	0.001+10(2) [0.5]
2,000 Ω	0.003+15(3) [3]	0.006+25(4) [3]	0.01+25(5) [3]	0.00075+2(0.5) [0.1]
20 kΩ	0.003+15(3) [3]	0.006+25(5) [3]	0.01+25(5) [3]	0.00075+2(0.5) [0.1]
200 kΩ	0.005+20(3) [3]	0.008+30(5) [3]	0.012+30(5) [3]	0.00075+1(0.5) [0.1]
2,000 kΩ	0.02+135(15) [20]	0.03+150(20) [30]	0.05+150(20) [30]	0.003+2(0.5) [0.1]
20 MΩ	0.2+30(30)	0.2+30(30)	0.02+30(30)	0.02+1(1)

* Temperature range: 5 to 18, 28 to 40°C.

- Accuracy at 24 hours, 23±1°C is the value for the calibration standard.
- Auto Zero ON, Null.
- **Integrating Time:** At 200 ms, 2 is added to the value (digits) in integrating time 500ms.
- ( ) indicates the value (digits) in integrating time 100 ms. For integrating time 20/16.7 ms, 2 is added to the value (digits) enclosed in the parentheses.
- [ ] indicates the value (digits) in integrating time 2.5 ms.
- For 20 MΩ at sampling interval 400 ms or more. Accuracy is not prescribed in integrating time 2.5 ms.
- At Auto Zero OFF, temperature coefficient on 200 Ω range is ±(0.013% of range/°C, on other ranges ±(0.003% of range/°C is added (at 5 to 40°C).
- For 2-wire system, 2 mΩ/°C is added.
- Excluding the influence of leadwires.
- **Open Circuit Voltage:** Max. 10 V
- **Maximum Input Voltage:** ±200 V peak or 200 V rms (between Hi and Lo).
- **Response Time:** 0.4 s or less on 2,000 kΩ/20 MΩ ranges (to final value).

7563

■ TEMPERATURE (TC)

Range*1	Measurement Range		Resolution (500/200 ms)	Accuracy*2 (Inegrating Time 500/200/100/20/16.7 ms): ± (% of rdg + °C)			Temperature Coefficient (common to Each Integrating Time) *3
				24 hours, 23±1°C *4	90 days, 23±5°C *4	1 year, 23±5°C *4	Temperature Coefficient *4 (% of rdg + °C)/°C
R	−50.0 to 0°C	−58.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.5 [0.7]	0.007 + 0.5 [0.7]	0.01 + 0.5 [0.7]	0.001 + 0.07
	0.0 to 100.0°C	32.0 to 212.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.4 [0.5]	0.007 + 0.4 [0.5]	0.01 + 0.4 [0.5]	
	100.0 to 600.0°C	212.0 to 1,112.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.3 [0.4]	0.007 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	
	600.0 to 1,760°C	1,112.0 to 3,200.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.2 [0.3]	0.007 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
S	−50.0 to 0°C	−58.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.6 [0.7]	0.007 + 0.6 [0.7]	0.01 + 0.6 [0.7]	0.001 + 0.07
	0.0 to 100.0°C	32.0 to 212.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.4 [0.5]	0.007 + 0.4 [0.5]	0.01 + 0.4 [0.5]	
	100.0 to 600.0°C	212.0 to 1,112.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.3 [0.4]	0.007 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	
	600.0 to 1,760.0°C	1,112.0 to 3,200.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.2 [0.3]	0.007 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
B	0.0 to 42°C	32.0 to 107.6°F	—	—	—	—	0.001 + 0.02
	42.0 to 100.0°C	107.6 to 212.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 7.0 [9.0]	0.007 + 7.0 [9.0]	0.01 + 7.0 [9.0]	
	100.0 to 200.0°C	212.0 to 392.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 1.5 [2.0]	0.007 + 1.5 [2.0]	0.01 + 1.5 [2.0]	
	200.0 to 300.0°C	392.0 to 572.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 1.0 [1.2]	0.007 + 1.0 [1.2]	0.01 + 1.0 [1.2]	
	300.0 to 400.0°C	572.0 to 752.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.7 [0.9]	0.007 + 0.7 [0.9]	0.01 + 0.7 [0.9]	
	400.0 to 1,820.0°C	752.0 to 3,308.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.005 + 0.3 [0.4]	0.007 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	
K	−270.0 to −250.0°C	−454.0 to −418.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 1.3 [2.5]	0.006 + 1.3 [2.5]	0.01 + 1.3 [2.5]	0.0007 + 0.02
	−250.0 to −200.0°C	−418.0 to −328.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.5 [0.9]	0.006 + 0.5 [0.9]	0.01 + 0.5 [0.9]	
	−200.0 to 0.0°C	−328.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.4]	0.006 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	
	0.0 to 1,370.0°C	32.0 to 2,498.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
J	−210.0 to −200.0°C	−346.0 to −328.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.4 [0.6]	0.006 + 0.4 [0.6]	0.01 + 0.4 [0.6]	0.0007 + 0.01
	−200.0 to −150.0°C	−328.0 to −238.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.5]	0.006 + 0.3 [0.5]	0.01 + 0.3 [0.5]	
	−150.0 to 0.0°C	−238.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.4]	0.006 + 0.2 [0.4]	0.01 + 0.2 [0.4]	
	0.0 to 1,200.0°C	32.0 to 2,192.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
E	−270.0 to −250.0°C	−454.0 to −418.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.8 [1.5]	0.006 + 0.8 [1.5]	0.01 + 0.8 [1.5]	0.0007 + 0.01
	−250.0 to −200.0°C	−418.0 to −328.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.6]	0.006 + 0.3 [0.6]	0.01 + 0.3 [0.6]	
	−200.0 to 0.0°C	−328.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.4]	0.006 + 0.2 [0.4]	0.01 + 0.2 [0.4]	
	0.0 to 1,000.0°C	32.0 to 1,832.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
T	−270.0 to −250.0°C	−454.0 to −418.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 1.0 [1.5]	0.006 + 1.0 [1.5]	0.01 + 1.0 [1.5]	0.0007 + 0.02
	−250.0 to −200.0°C	−418.0 to −328.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.5]	0.006 + 0.3 [0.5]	0.01 + 0.3 [0.5]	
	−200.0 to 400.0°C	−328.0 to 752.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
U	−200.0 to −100.0°C	−328.0 to −148.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.4]	0.006 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	0.0007 + 0.01
	−100.0 to 0.0°C	−148.0 to 32.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.4]	0.006 + 0.3 [0.3]	0.01 + 0.3 [0.4]	
	0.0 to 600.0°C	32.0 to 1,112.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.2]	0.01 + 0.2 [0.4]	
L	−200.0 to −100.0°C	−328.0 to −148.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.3 [0.4]	0.006 + 0.3 [0.4]	0.01 + 0.3 [0.4]	0.0007 + 0.01
	−100.0 to 900.0°C	−148.0 to 1,652.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	
N	0.0 to 1,300.0°C	32.0 to 2,372.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.3]	0.006 + 0.2 [0.3]	0.01 + 0.2 [0.3]	0.0007 + 0.02
W	0.0 to 2,315.0°C	32.0 to 4,199.0°F	0.1°C (0.1°F)	0.004 + 0.2 [0.4]	0.006 + 0.2 [0.4]	0.01 + 0.2 [0.4]	0.001 + 0.03
KPvsAu7Fe	0.0 tp 20.0 K	—	0.1K	0.005 + 1.3 [0.4]	*2 0.007 + 0.3 [0.3]	*2 0.011 + 0.3 [0.3]	*1 0.001 + 0.05
	20.0 to 70.0K		0.1K	*2 0.005 + 0.2 [0.3]	0.007 + 0.2 [0.2]	0.011 + 0.2 [0.2]	
	70.0 to 300.0K		0.1K	0.005 + 0.2 [0.2]	0.007 + 0.2 [0.2]	0.011 + 0.2 [0.2]	

*1 As to the R, S, B, K, J, E, T and N, the provisions of IEC584-1 apply.
As to the U and L, those of DIN 43710 apply.
As to the W, those of Hoskins Mfg Co. (USA) apply.
As to the KPvsAu7Fe, those of NSB Vol. 76A apply.

*2 KPvsAu7Fe: ± (% of rdg + K)

*3 KPvsAu7Fe: ± (% of rdg + K)/°C

*4 In case of accuracy and temperature coefficient of °F, multiply 1.8 × °C.

*5 Condition: At ambient temperature of 5 to 18°C (41 to 64°F) and 28 to 40°C (82 to 104°F)

● Accuracy of reference junction compensation

Range	Accuracy of Reference Junction Compensation (°C)	Description
R, S, B, W, KPvsAu7Fe	±0.3°C (±0.6°F)	At the ambient temperature of 5 to 40°C
K, J, E, U, L, N, T	±0.2°C (±0.4°F)	

- In case of internal compensation, the above accuracy of reference junction compensation should be added to measuring accuracy.
- The accuracy of Type B at 0 to 42°C is not prescribed.

■ **Temperature unit:** Changeable among °C, °F, and K. Provided, however, that only K applies as to KPvsAu7Fe.

■ Accuracy
- The accuracy is in the case of REAR input, external R/C (reference junction temperature = 0°C.)
- In case of FRONT input, 0.2°C should be added.
- [ ] indicates the values in integrating time of 2.5 ms.
- Auto Zero ON.
- Accuracy of R/C is excluded.
- The accuracy for Type B at 0 to 42°C is not prescribed.
- **Common mode rejection:** 120dB or more. Integrating time: 500, 200, 100, 20 and 16.7 ms, Rs=1 kΩ, 50/60 Hz ± 0.1%
- **Normal mode rejection:** 60 dB or more. Integrating time: 500, 200, 100, 20, and 16.7 ms, 50/60 Hz + 0.1%
- In case of integrating time 200 or 500 ms at measuring temperature, the response time is 100 ms by setting FILTER.

7563

■ TEMPERATURE (RTD)

*1 Range	Measurement Range	Resolution	Current through Unknown	*2 Accuracy (Integrating Time 500/200 ms): ± (% of rdg + °C)			Temperature Coefficient (Common to Each Integrating Time)*3
		500/200/100 ms		24 hours, 23 ± 1°C*4	90 days, 23 ± 5°C*4	1 year, 23 ± 5°C*4	Temperature Coefficient (% of rdg + °C)/°C*4
Pt100	−200.00 to 650.00°C (−328.00 to 1,202.00°F)	0.01°C (0.01°F)	1 mA	0.005 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.01 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.014 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.001 + 0.006
JPt100	−200.00 to 510.00°F (−328.00 to 950.00°F)	0.01°C (0.01°F)	1 mA	0.005 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.01 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.014 + 0.07 (0.1) [0.3]	0.001 + 0.004
Pt1000	−200.00 to 650.00°C (−328.00 to 1,202.00°F)	0.01°C (0.01°F)	0.1 mA	0.005 + 0.05 (0.07) [0.2]	0.01 + 0.05 (0.07) [0.2]	0.014 + 0.05 (0.07) [0.2]	0.001 + 0.003
J263*B	2.0 to 300.0K	0.1K	1 mA	*2 [0.005 + 0.1 (0.1) [0.2]]	*2 [0.012 + 0.1 (0.1) [0.2]]	*2 [0.016 + 0.01 (0.1) [0.2]]	*3 0.001 + 0.003

*1 As to Pt100, IEC751-1995 apply. As to JPt100, JIS1604-1989 apply.
As to Pt1000, the prescription for Pt100 of IEC751-1995 applies.
*2 J263*B: ± (% of rdg + K)
*3 J263*B: ± (% of rdg + K)/°C.
*4 In case of accuracy and temperature coefficient of °F, multiply 1.8 × °C.
*5 Conditions: Ambient temperature 5 to 18°C (41 to 64°F), 28 to 40°C (82 to 104°F).

■ TEMPERATURE UNIT

Changeable among °C, °F and K, but as to J263*B only K applies.

■ ACCURACY

- Same accuracy for both FRONT and REAR input.
- Allowable conductor resistance: Less than 10 Ω.
- ( ) indicates the accuracy in integrating time of 100, 20, 16.7 ms.
- [ ] indicates the accuracy in integrating time of 2.5 ms.

■ TEMPERATURE COEFFICIENT

- For 3-wire Pt100, J263 ... 0.003°C/°C
  JPt100, Pt1000 ... 0.002°C/°C is added.

■ SAMPLING INTERVAL

10 ms to 60 min. (Resolution: 1 ms, 1 s at 3 s or more)

■ MINIMUM TIME OF THE FOLLOWING CONDITIONS

- **DC V,OHM, RTD (2- or 4-wire), TC (reference junction compensation)**

Integrating Time	Measuring Interval (Auto Zero OFF)	Measuring Interval (Auto Zero ON)
2.5 ms	10 ms	15 ms
16.7 ms	25 ms	45 ms
20 ms	35 ms	55 ms
100 ms	110 ms	215 ms
200 ms	210 ms	415 ms
500 ms	510 ms	1015 ms

- **RTD (3-wire)**

Integrating Time	Measuring Interval
2.5 ms	95 ms
16.7 ms	145 ms
20 ms	155 ms
100 ms	395 ms
200 ms	695 ms
500 ms	1595 ms

- **TC**

Integrating Time		
2.5 ms	70 ms	150 ms
16.7 ms	135 ms	215 ms
20 ms	150 ms	230 ms
100 ms	470 ms	550 ms
200 ms	870 ms	950 ms
500 ms	2070 ms	2150 ms

■ GENERAL SPECIFICATIONS

Operating Principle: Feedback pulse width modulation method.
Sample Mode: Auto/Single/N reading.
Maximum Reading: 1999999
Overrange Information: -oL- sign display.
Data Memory: 1,000 data, measured data can be stored and recalled: (STORE/RECALL).
Ranging: AUTO, MANUAL, (remote control and programming possible).
Analog Output (D/A converter): Optional.
Burnout: TC burnout (defective connection or disconnection etc.) is automatically checked and indicated by alarm display (ON or OFF selectable).
2 kΩ or less (normal), if the value is higher than 30 kΩ, the connection is cut down. Current 2.2 μA or so. Pulse width detection; 2.4 ms or so.
Operating Temperature Range: 5 to 40°C (41 to 104°F).
Humidity Range: 20 to 80% relative humidity.
Warmup Time: Approx. 60 minutes to rated accuracy.
Power Requirements: 100/115 V AC ±10% (100/115 V: selectable by switch), 50 or 60 Hz (200/230 V must be specified, selectable)
Power Consumption: 20 VA max.
Dimensions (Approx.): 213(W) × 88(H) × 350(D) mm, (8-3/8 × 3-1/2 × 13-15/16")
Weight (Approx.): 3 kg (6.6 lbs)

● GP-IB Interface (756301)

Electrical & Mechanical Specifications: Conforms to IEEE St'd 488-1978.
Interface Function & Identification: SH1, AH1, L4, SR1, RL1, PP0, DC1, DT1, C0. Address mode, address and header ON/OFF are settable.

● RS-232-C Interface (756302)

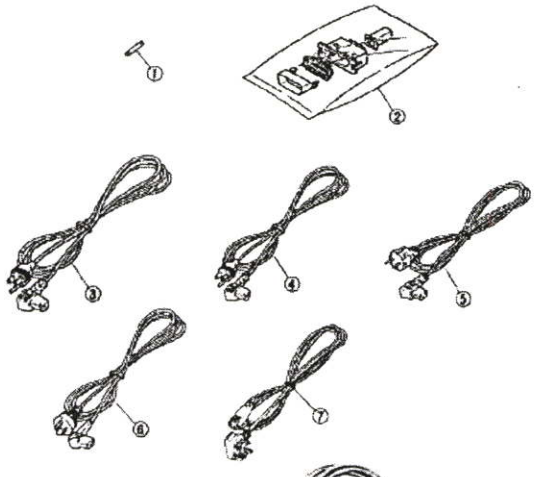
Transmission Systems: Start-stop system.
Data Transfer Rates: 75, 150, 300, 600, 1,200 2,400, 4,800, 9,600 bps. Hand Shake mode, bps rate, No. of bits and header ON/OFF are settable.

7563

■ STANDARD ACCESSORIES

No.	Name	Part No.	Description	Q'ty
1.	Fuse*	A1105EF A1103EF	0.2 A, 100 V 0.1 A, 200 V	1
2.	Remote connector	A1004JD	—	1
—	Instruction manual	—	—	1
3.	Power supply cord*	A1007WD	100 V series (JIS standard)	1
4.		A1006WD	115 V series (UL standard)	1
5.		A1009WD	200 V series (VDE standard)	1
6.		A1013WD	230 V series (SAA standard)	1
7.		A1023WD	BS standard	1

*Specified one.



IC memory card
(378901, 378902, 378903)

4-wire resistance measuring lead
(751510)

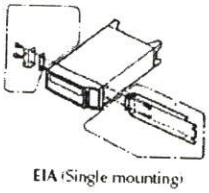
AVAILABLE MODELS

Model	Suffix Codes			Description	
756301	...	...	.....	6.5 digits	DC V, OHM, TEMP (TC & RTD) (GP-IB)
756302	...	...	.....		DC V, OHM, TEMP (TC & RTD) (RS-232-C)
	-C	...	.....	Always C (version code)	
Power Requirements		-1	.....	100 V AC (50 & 60 Hz), 115 V AC changeable	
		-3	.....	115 V AC (50 & 60 Hz), 100 V AC changeable	
		-5	.....	200 V AC (50 & 60 Hz), 230 V AC changeable	
		-7	.....	230 V AC (50 & 60 Hz), 200 V AC changeable	
Power Cord			/B	JIS standard	
			/D	UL standard	
			/F	VDE standard	
			/R	SAA standard	
			/J	BS standard	
Optional Feature			/DA	D/A converter	

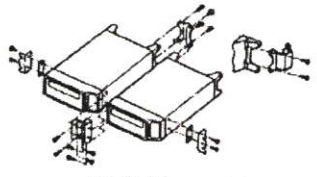
■ OPTIONAL ACCESSORIES

No.	Name	Code	Description
8.	Memory card (8 k bytes)	378901	Setting & measured data
	Memory card (16 k bytes)	378902	Setting & measured data
	Memory card (64 k bytes)	378903	Setting & measured data
—	Dummy card	B9586NG	Dust cap for memory card slot
—	Rack mounting kit	751501	EIA (single mounting)
—	Rack mounting kit	751502	EIA (double mounting)
—	Rack mounting kit	751503	JIS (single mounting)
—	Rack mounting kit	751504	JIS (double mounting)
9.	4-wire resistance measuring lead	751510	0.6 m

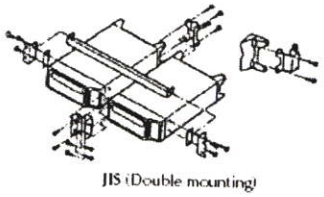
< Rack Mounting >



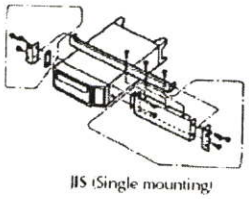
EIA (Single mounting)



EIA (Double mounting)



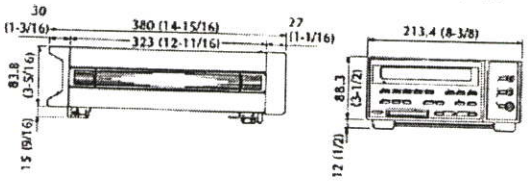
JIS (Double mounting)



JIS (Single mounting)

DIMENSIONS

Unit: mm (inch)

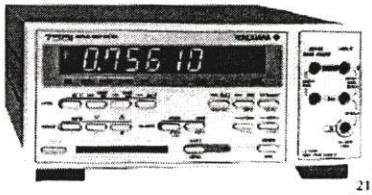


ภ.3 Digital Multimeter YOKOGAWA Models 7561, 7562

DIGITAL MULTIMETERS

YOKOGAWA

7561 & 7562
Digital Multimeters



7561 (6-1/2 digits)
213 × 88 × 330 mm 3 kg
(8-3/8 × 3-1/2 × 13" 6.6 lbs)

7562 (6-1/2 digits)
213 × 88 × 330 mm 3 kg
(8-3/8 × 3-1/2 × 13" 6.6 lbs)

The 7560 (6-1/2 digit display) Series is a high-accuracy, high-speed sampling bench-top digital multimeter lineup using a YOKOGAWA-original A/D converter (Feedback Pulse Width Modulation method), which features excellent stability, high noise immunity and linearity. In addition to the basic features, an optional IC memory card capable of storing 8000 data, GP-IB interface and versatile measurement functions allow these multimeters to be used in diverse fields of applications, from bench to system uses.

FEATURES

- **High Accuracy, and Excellent Stability and Linearity**
  - 7560 Series

    DC voltage accuracy : ±0.003% of rdg ± 15 digits (90 days, 23 ± 5°C)

    OHM accuracy : ±0.009% of rdg ± 30 digits (90 days, 23 ± 5°C)
- **A Large Memory Capacity of 8000 data by Using IC Memory Card**
  The 7560 Series can store 1000 measured data by using internal memory (or 8000 data by using an optional IC memory card). This allows high-speed sampling without being affected by transmission capacity via a communication bus.
  Data can then be transferred to a controller after completing measurements.
  These storage functions allow DMM's to be used as high-speed data logger.
- **High-Speed Sampling**
  - 7560 Series: 333 times/s

  The feedback PWM A/D converter, which includes a new counting system, allows a high-speed response without changing any excellent features.
  The sampling rate of 40 times/s can be obtained even with a 5-1/2 digit display. The 7560 Series offer high system throughput with a large memory capacity, high-speed auto-ranging, programmable sampling interval, and integrating time.
- **GP-IB Interface (Standard)**
  The following functions are available with communication interface.
  - Functions executed by panel key operation
  - Measured data output
  - Panel-set data output
  - Stored data output
  - Status byte output
- **An Input-Site Change between Front and Rear Panels**
  7560 Series has the input terminal for the voltage and resistance between front and rear panels.

FUNCTIONS

■ MEASURING RANGE

- **Auto Range Mode**
  When the display data increases more than 20000/200000, the range is automatically changed (increased), whereas when the display data goes down to less than 1800/18000, the range is automatically changed (decreased).
- **Manual Range Mode**
  If the measuring range exceeds upper-limit setpoint, –oL– (overload) is displayed.

■ SAMPLING FUNCTIONS

- **Auto Mode (AUTO)**
  Data is sampled at a preset integral time and measuring intervals.
- **Single Mode (SINGLE)**
  One datum is sampled at the preset integral time every time a trigger signal is generated.
- **N Reading Mode (N RDGS)**
  Data are sampled in the cycles set by the integral time and measuring intervals.

■ TRIGGER FUNCTIONS

The following three ways are available for generating trigger signals.

- Press the TRIG key on the front panel.
- Input a contact signal or TTL logic signal to the I/O signal connector (pin No. 1).
- Send the "E" or GET command through GP-IB.

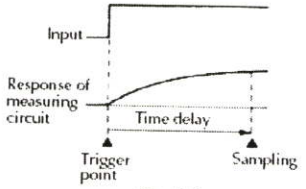
In STORE mode, triggering performs three types of operations according to measurement modes as follows:

- In AUTO mode, data are written leaving NS-1 data before generating trigger signals and the STORE mode is automatically turned OFF when memory capacity is full. Amounts of data that are written depend on the built-in memory or IC card memory. (PRE-TRIGGER FUNCTION)
- In SINGLE mode, sampled data is stored every time a trigger signal is generated. If NS data that are preset are stored, STORE mode is automatically turned OFF. (PRESET COUNTER FUNCTION)
- In N RDGS mode, each NS data is stored every time a trigger signal is generated. STORE mode is in halt status until the next trigger signal is generated. The STORE mode is automatically turned OFF when memory capacity is full.

In RECALL mode, data are recalled whenever a trigger signal is generated according to measurement mode. In AUTO mode, data are automatically recalled at measurement intervals which have been set at the time of recall.

■ TIME DELAY FUNCTIONS (TD)

The time interval between a trigger signal generation and the sampling can be set from 0 to 60 minutes.
This allows accurate measurements when a signal source has dead-time or the measurement circuit shows a first-order lag response.



Time Delay

■ NULL FUNCTIONS (NULL)

$Y = X - X_0$

where; X_0 : initially set value (NULL value)
Y : computed value
X : measured value

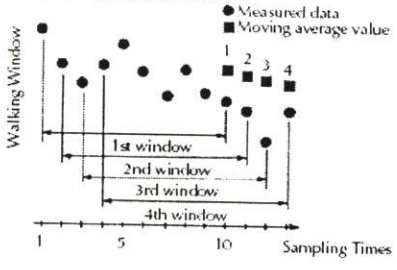
Reset an initially set value (data being displayed) to zero as a NULL value.
Thereafter a value subtracted by a NULL value is displayed as a measured value. This null function is used to eliminate leadwire resistance or cancel initial values.

■ AVERAGING FUNCTION (AVG)

The AVG function is used to average the measured data. This comes into effect when noise components or variation of measured data at high-speed sampling must be eliminated from the measured value.
The calculation expression is given by:

$Y = (X_{AT} + X_{AT-1} + ... + X_1)/AT$

where; AT : 2 to 100 (number of average data)
X : measured value
Y : computed value



Averaging Function (Number of averaging = 10)

■ MATHEMATICAL FUNCTION (MATH)

● Scaling

The scaling function serves not only to indicate a multiple with preset multiplying factors but also to determine deviation from a preset reference value.

$Y = (X - A)/B$,

where : Y : computed value
X : measured value,
A and B : constants,
where :
$-1999999E9 \leq A \leq 1999999E9$
$-1999999E9 \leq B \leq 1999999E9$, $B \neq 0$

● Decibel

The decibel function serves to perform logarithmic operations (common logarithms) for measured values (or null or averaging values).

$Y = C \times \log_{10}(X/D)$,

where ; Y : computed value,
X : measured value,
C and D : constants,
where :
$-1999999E9 \leq C \leq 1999999E9$
$-1999999E9 \leq D \leq 1999999E9$, $D \neq 0$

● Comparator

The comparator function compares a measured value (or null or averaging values) with the reference value to determine which value is larger or smaller if the measured value is within the limits.

$X \geq H$ ... High
$H > X > L$ ... Pass
$L \geq X$ ... Low
X :measured value,
H and L : constants,
where :
$-1999999E9 \leq H \leq 1999999E9$
$-1999999E9 \leq L \leq 1999999E9$

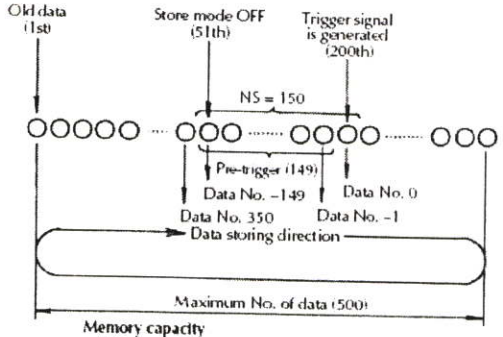
If H and L are set to the same value, whichever value is larger or smaller is indicated. And the computed result is displayed and output to outer computer pin.

■ STORING FUNCTION (STORE)

Store the measured data in built-in memory or IC card memory. When an IC memory card is installed, the measured data is stored in the IC card memory.
The STORE function has three operations depending on measurement modes as follows:

● In AUTO Mode

In AUTO mode, press the STORE key to store data in memory. If the memory overflows, the oldest data are automatically erased and replaced by the newest data. If the STORE mode is OFF, data is no longer stored. In AUTO mode, if a trigger signal is generated, data can be written to the memory, leaving NS-1 data before generating a trigger signal. (PRE-TRIGGER FUNCTION)



Memory capacity

- Built-in memory: 1000 data
- 8K bytes IC card memory: 500 data
- 16K bytes IC card memory: 1500 data
- 64K bytes IC card memory: 8000 data

Pre-trigger Function

DIGITAL MULTIMETERS

7561 & 7562

YOKOGAWA

- **In SINGLE Mode**
  In SINGLE mode, data measured in each sampling cycle are stored every time a trigger signal is generated. If NS data that was preset are stored, STORE mode is automatically turned OFF. (PRESET COUNTER FUNCTION)
- **In N RDGS Mode**
  NS data are stored every time a trigger signal is generated. The STORE mode is in halt status until the next trigger signal is generated. If the memory overflows, the STORE mode is automatically turned OFF. (POST TRIGGER FUNCTION)

■ RECALL FUNCTION (RECALL)

Recalls the stored data from the memory. The recall functions are as follows:

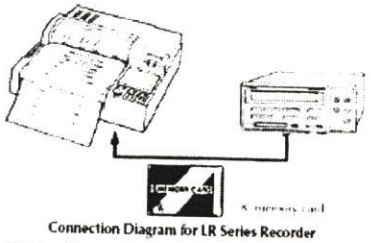
- **In AUTO Mode**
  Data are output at the preset measurement intervals. When the final data are output, the recall mode is automatically turned OFF.
- **In SINGLE Mode**
  Data are recalled every time a trigger signal is generated. When the final data are output, the recall mode is automatically turned OFF.
- **In N RDGS Mode**
  NS data are output at the preset measurement intervals whenever a trigger signal is generated. Then the mode is in the halt state. If the trigger key is pressed again, recalling of data is started. If the final data are output, the recall mode is automatically turned OFF.

■ IC MEMORY CARD

The 7560 Series are the first DMM with IC memory card (optional). IC memory card allows you to:

- Save up to 8000 measured data.
- Functions, ranges, and mathematical functions ON/OFF, sample speed and so on, are saved.
- Setting programs using the front panel keys and measured data can be stored.
- Automatic loading of setting program at power ON.

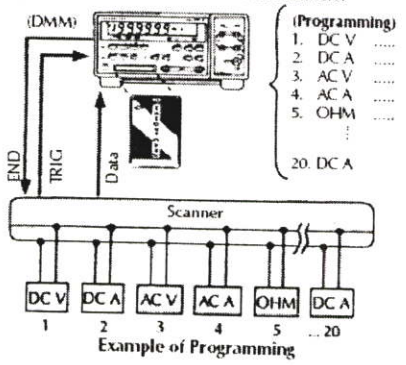
7560 Series get the more applications by the above IC memory card functions.
The data format of IC memory card is compatible with that of YOKOGAWA LR Series Recorders, so the measured data can be recorded in analog form on strip chart.



Connection Diagram for LR Series Recorder

- **Automatic Loading**
  IC memory cards allow measurement parameters and conditions to be set without using the panel keys. If a memory card containing set data is inserted and then the power is turned ON, the memory contents are automatically read and programmings are set.
  This is very useful for measurements that are repeated under the same conditions, and this can be a powerful support tool such as in the production line.

- **Programming Function**
  If an IC memory card is installed, up to 20 steps can be programmed either by front panel key operations or via communication interfaces. The required functions, ranges, and mathematical functions can be set ON or OFF, and multichannel measurements can be performed in a combination with scanners.



Example of Programming

■ AUTO ZERO FUNCTION

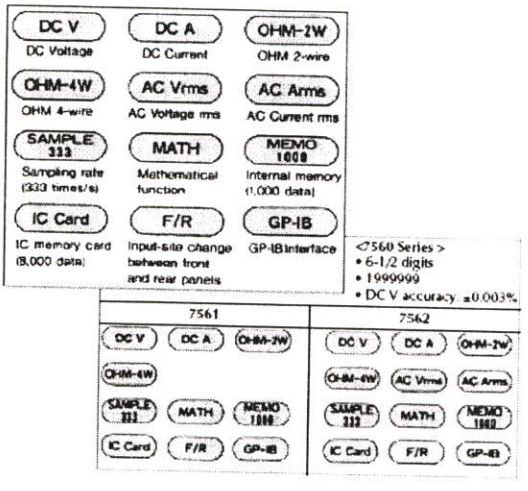
AUTO ZERO (AZ) compensates for zero drift which will be generated in the internal circuit every time sampling is executed. In high-speed sampling mode, measurement time is decreased by eliminating AUTO ZERO function.

■ CALIBRATION FUNCTION

The multimeters can be calibrated either by front panel key operations or via communication interfaces. The multi-meters are calibrated without opening the case and any special calibration skills.

SELECTION GUIDE

< Selection Symbols >



DIGITAL MULTIMETERS

7561 & 7562

YOKOGAWA

SPECIFICATIONS

■ GENERAL SPECIFICATIONS

Operating Principle: Feedback pulse width modulation method.
Sample Mode: Auto/Single/N reading.
Sampling Interval: 3 ms to 60 min (7561 and 7562), (1 ms min., 1s at 3s or more)
Maximum Reading: 1999999
Overrange Information: — oL— sign display.
Data Memory: 1000 data, measured data can be stored and recalled: (STORE/RECALL).
Ranging: AUTO, MANUAL, (remote control and programming possible).
Operating Temperature Range: 5 to 40°C (41 to 104°F).
Humidity Range: 20 to 80% relative humidity.
Warmup Time: Approx. 60 minutes to rated accuracy.
Power Requirements: 100 or 115, 200 or 230 V AC (must be specified), 50 or 60 Hz.
Power Consumption: 20 VA max.
Dimensions (Approx.): 213(W) × 88(H) × 330(D) mm, (8-3/8 × 3-1/2 × 13").
Weight (Approx.): 3 kg (6.6 lbs).

7560 Series (Common to 7561 and 7562)

■ DC VOLTAGE (DC V)

● **Ranges:**

*16.7 ms shows 16.66

Range	Integrating Time (500/200 ms)		Integrating Time (100/20/16.7 ms)*		Integrating Time (2.5/1.2 ms)		Input Resistance	Max. Input
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution		
200 mV	199.9999	0.1 µV	199.999	1 µV	199.99	10 µV	>1 GΩ	±1000 V pk (10s) ±600 V pk continuously between Hi and Lo
2000 mV	1999.999	1 µV	1999.99	10 µV	1999.9	100 µV		
20 V	19.99999	10 µV	19.9999	100 µV	19.999	1 mV		
200 V	199.9999	100 µV	199.999	1 mV	199.99	10 mV	10 MΩ ±1%	±1000 V pk continuously
1000 V	1100.000	1 mV	1100.00	10 mV	1100.0	100 mV		

● **Accuracy (Integrating Time 500 ms):** ±(% of reading + digits)

Range	24 hours, 23±1°C	90 days, 23±5°C	1 year, 23±5°C	Temperature Coefficient (5 to 18, 28 to 40°C)
200 mV	0.004 + 30(6) [4]	0.006 + 40(8) [4]	0.01 + 40(8) [4]	0.0007 + 5(.6) [.2]
2000 mV	0.0025 + 10(3) [3]	0.0045 + 15(3) [3]	0.0075 + 15(3) [3]	0.00055 + 1(.2) [.1]
20 V	0.003 + 10(3) [3]	0.005 + 15(3) [3]	0.009 + 15(3) [3]	0.00065 + 1(.2) [.1]
200 V	0.0045 + 10(3) [3]	0.009 + 15(3) [3]	0.016 + 15(3) [3]	0.00075 + 1(.2) [.1]
1000 V	0.005 + 10(3) [3]	0.01 + 20(3) [3]	0.017 + 20(3) [3]	0.0008 + 1(.2) [.1]

● Accuracy at 24 hours, 23±1°C is the value for the calibration standard.
● Auto Zero ON, Null.
● **Integrating Time:** At 200 ms, 2 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
● ( ) indicates the value (digits) in integrating time 100 ms. For integrating time 20/16.7 ms, 2 is added to the value (digits) enclosed in the parentheses.
● [ ] indicates the value (digits) in integrating time 2.5 ms. For integrating time 1.2 ms, 2 is added to the value (digits) enclosed in the brackets.
● At Auto Zero OFF, temperature coefficient of ±(0.0015% of range + 25 µV)/°C is added (at 5 to 40°C).
● **Common Mode Rejection:** 120 dB or more.
Integrating time 500/200/100/20/16.7 ms, RS = 1 kΩ, 50/60 Hz ±0.1%
● **Normal Mode Rejection:** 60 dB or more.
Integrating time 500/200/100/20/16.7 ms, 50/60 Hz ±0.1%
● **Maximum Allowable Voltage:** ±500 V peak between Lo and case.

■ DC CURRENT (DC A)

● **Ranges:**

Range	Integrating Time (500/200/100/20/16.7 ms)		Integrating Time (2.5/1.2 ms)		Input Resistance
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	
2 mA	1.99999	10 nA	1.9999	100 nA	< 110 Ω
20 mA	19.9999	100 nA	19.999	1 µA	< 11 Ω
200 mA	199.999	1 µA	199.99	10 µA	< 1.2 Ω
2000 mA	1999.99	10 µA	1999.9	100 µA	< 0.3 Ω

● **Accuracy (Integrating Time 500 ms):** ±(% of reading + digits)

Range	1 year, 23±5°C
2 mA	0.05 + 100
20 mA	0.05 + 20
200 mA	0.05 + 20
2000 mA	0.1 + 40

● Auto Zero ON.
● **Integrating Time:** At 200/100/20/16.7 ms, 20 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
● **Temperature Coefficient:** ±(1/10 of measurement accuracy)/°C.
● **Allowable Current:** 2 A (2 A fuse installed).

DIGITAL MULTIMETERS

7561 & 7562

YOKOGAWA

■ RESISTANCE (OHM)

● Ranges:

Range	Integrating Time (500/200 ms)		Integrating Time (100/20/16.7 ms)		Integrating Time (2.5/1.2 ms)		Current through Unknown
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	
200 Ω	199.9999	100 μΩ	199.999	1 mΩ	199.99	10 mΩ	1 mA
2000 Ω	1999.999	1 mΩ	1999.99	10 mΩ	1999.9	100 mΩ	1 mA
20 kΩ	19.99999	10 mΩ	19.9999	100 mΩ	19.999	1 Ω	100 μA
200 kΩ	199.9999	100 mΩ	199.999	1 Ω	199.99	10 Ω	10 μA
2000 kΩ	1999.999	1 Ω	1999.99	10 Ω	1999.9	100 Ω	1 μA
20 MΩ	19.9999	100 Ω	19.9999	100 Ω	19.999	1 kΩ	100 nA
200 MΩ	199.999	1 kΩ	199.999	1 kΩ	199.99	10 kΩ	50 nA

● Accuracy (4-wire System, Integrating Time 500 ms): ±(% of reading + digits)

Range	24 hours, 23±1°C	90 days, 23±5°C	1 year, 23±5°C	Temperature Coefficient (5 to 18, 28 to 40°C)
200 Ω	0.007 + 40(6) [4]	0.012 + 50(7) [4]	0.016 + 50(7) [4]	0.0012 + 10(2) [.5]
2000 Ω	0.005 + 25(4) [3]	0.01 + 35(6) [3]	0.014 + 35(6) [3]	0.001 + 2(.5) [.1]
20 kΩ	0.005 + 20(3) [3]	0.01 + 30(5) [3]	0.014 + 30(5) [3]	0.001 + 2(.5) [.1]
200 kΩ	0.007 + 20(3) [3]	0.011 + 30(5) [3]	0.015 + 30(5) [3]	0.001 + 2(.5) [.1]
2000 kΩ	0.02 + 135(15) [20]	0.03 + 150(20) [30]	0.05 + 150(20) [30]	0.004 + 2(.5) [.1]
20 MΩ	0.2 + 30(30)	0.2 + 30(30)	0.2 + 30(30)	0.02 + 1(1)
200 MΩ	2 + 200(200)	2 + 200(200)	2 + 200(200)	0.05 + 2(2)

- Accuracy at 24 hours, 23±1°C is the value for the calibration standard.
- Auto Zero ON, Null.
- **Integrating Time:** At 200 ms, 2 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
- ( ) indicates the value (digits) in integrating time 100 ms. For integrating time 20/16.7 ms, 2 is added to the value (digits) enclosed in the parentheses.
- [ ] indicates the value (digits) in integrating time 2.5 ms. For integrating time 1.2 ms, 2 is added to the value (digits) enclosed in the brackets.
- For 20 and 200 MΩ at sampling interval 400 ms or more. Accuracy is not prescribed in integrating time 1.2/2.5 ms.
- At Auto Zero OFF, temperature coefficient on 200 Ω ranges is ±(0.013% of range)/°C, on other ranges ±(0.003% or range)/°C is added (at 5 to 40°C).
- For 2-wire system, 2 mΩ/°C is added.
- Excluding the influence of leadwires.
- **Open Circuit Voltage:** Max 10 V (12.5 V max. on 200 MΩ range).
- **Maximum Input Voltage:** ±300V peak or 300 V rms (between Hi and Lo).
- **Response Time:** 0.4 s or less on 2000 kΩ/20 MΩ ranges, 5 s or less on 200 MΩ range.

■ AC VOLTAGE (AC V) (7562 only)

● Ranges:

Range	Integrating Time (500/200/100/20/16.7 ms)		Integrating Time (2.5/1.2 ms)		Input Resistance	Max. Input
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution		
200 mV	199.999	1 μV	199.99	10 μV	1 MΩ ±2%, approx. 150 pF	700 V rms or ±1000 V pk between Hi and Lo
2000 mV	1999.99	10 μV	1999.9	100 μV		
20 V	19.9999	100 μV	19.999	1 mV		
200 V	199.999	1 mV	199.99	10 mV		
700 V	700.00	10 mV	700.0	100 mV		

● Accuracy (Integrating Time 500 ms): ±(% of reading + digits), 1 year, 23±5°C

Range	20 to 30 Hz	30 to 45 Hz	45 Hz to 10 kHz	10 to 20 kHz	20 to 50 kHz	50 to 100 kHz
200 mV	0.9 + 200	0.5 + 200	0.3 + 200	0.3 + 300	0.7 + 500	2 + 500
2000 mV	0.8 + 100	0.4 + 100	0.15 + 100	0.3 + 200	0.5 + 500	2 + 500
20 V	0.8 + 100	0.4 + 100	0.15 + 100	0.3 + 200	0.5 + 500	2 + 500
200 V	1 + 100	0.4 + 100	0.3 + 100	0.3 + 200	0.7 + 500	3 + 500
700 V	1 + 100	0.4 + 100	0.3 + 100	0.3 + 300	—	—

- Auto Zero ON.
- **Integrating Time:** At 200/100/20/16.7 ms, 20 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
- **AC Coupling:** True rms value.
- Input Voltage: 5 to 100% of range (sine wave).
- **Response Time:** 400 ms or less (to reading within ±0.2% of final value).
- **Crest Factor:** Up to 3 (at full scale, up to 2 at full scale on 700 V range).
- **Temperature Coefficient:** ±(1/10 of measurement accuracy)/°C.

■ AC CURRENT (AC A) (7562 only)

● Ranges:

Range	Integrating Time (500/200/100/20/16.7 ms)		Integrating Time (2.5/1.2 ms)		Input Resistance (50 Hz)
	Max. Reading	Resolution	Max. Reading	Resolution	
2 mA	1.99999	10 nA	1.9999	100 nA	< 110 Ω
20 mA	19.9999	100 nA	19.999	1 μA	< 11 Ω
200 mA	199.999	1 μA	199.99	10 μA	< 1.2 Ω
2000 mA	1999.99	10 μA	1999.9	100 μA	< 0.3 Ω

● Accuracy (Integrating Time 500 ms): ±(% of reading + digits), 1 year, 23±5°C

Range	20 to 30 Hz	30 to 45 Hz	45 Hz to 2 kHz	2 to 5 kHz
2 mA	1.4 + 350	0.8 + 250	0.5 + 250	0.8 + 300
20 mA	1.2 + 300	0.8 + 200	0.5 + 200	0.8 + 200
200 mA	1.2 + 300	0.8 + 200	0.5 + 200	0.8 + 200
2000 mA	1.5 + 300	1.5 + 200	1.0 + 200	1.5 + 200

- Auto Zero ON.
- **Integrating Time:** At 200/100/20/16.7 ms, 20 is added to the value (digits) in integrating time 500 ms.
- **AC Coupling:** True rms value.
- Input Current: 5 to 100% of range (sine wave).
- **Response Time:** 400 ms or less (to reading within ±0.2% of final value).
- **Crest Factor:** Up to 3.
- **Temperature Coefficient:** ±(1/10 of measurement accuracy)/°C.
- **Allowable Current:** 2 A (2 A fuse installed).

DIGITAL MULTIMETERS

7561 & 7562

YOKOGAWA

■ SAMPLING INTERVAL

	Integrating Time	Measurement Intervals (In Auto Zero OFF)	Measurement Intervals (In Auto Zero ON)
*	1.2 ms	3 ms (333/s)	7 ms (143/s)
	2.5 ms	8 ms (125/s)	15 ms (66.7/s)
	16.7 ms	25 ms (40/s)	45 ms (22.2/s)
	20 ms	30 ms (33.3/s)	55 ms (18.2/s)
	100 ms	110 ms (9.1/s)	215 ms (4.7/s)
*	200 ms	210 ms (4.8/s)	415 ms (2.4/s)
*	500 ms	510 ms (2/s)	1015 ms (1/s)

- *Sampling mode is AUTO, NULL: off, AVG: off, MATH: off, function: DC V in a fixed range, without communication function, using buffer memory.
- Data of sampling interval shows min. value (fastest sample rate). Measurement intervals can be settable more than the value of left table.

INTERFACE

●GP-IB Interface

Electrical & Mechanical Specifications: Conforms to IEEE St'd 488-1978.

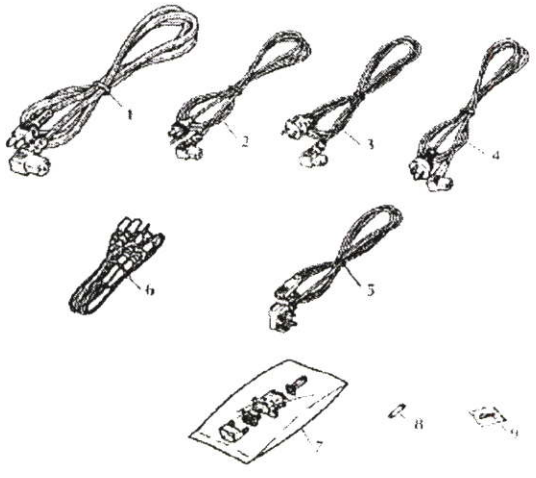
Interface Function & Identification: SH1, AH1, T5, L4, SR1, RL1, PP0, DC1, DT1, C0.

Address Mode, address and header ON/OFF can be settable.

■ STANDARD ACCESSORIES

No.	Name	Part No.	Description	Q'ty
1	Power supply cord*	A1007WD	100 V series (JIS standard)	1
2		A1006WD	115 V series (UL standard)	1
3		A1009WD	200 V series (VDE standard)	1
4		A1013WD	230 V series (AS standard)	1
5		A1023WD	BS standard	1
6	Measurement lead	B9280TZ	—	1
7	Remote connector	A1003JD	—	1
8	Fuse*	A1105EF	0.2 A 100 V	1
		A1103EF	0.1 A 200 V	1
9	Fuse	A1092EF	2A	1
—	Instruction manual	—	—	1

* Specified one.



AVAILABLE MODELS

Model	Suffix Codes		Description
7561 01		6.5 digits	DC V, DC A, OHM, (GP-IB)
7562 01			DC V, DC A, OHM, AC V, AC A (GP-IB)
Version	-C		Always C
Power Requirements	-1		100 V AC (50 or 60 Hz)
	-3		115 V AC (50 or 60 Hz)
	-5		200 V AC (50 or 60 Hz)
	-7		230 V AC (50 or 60 Hz)
Power Cord	/B		JIS standard
	/D		UL standard
	/F		VDE standard
	/G		AS standard
	/H		GB standard
Optional Feature	/DA		D/A converter output

■ OPTIONAL ACCESSORIES

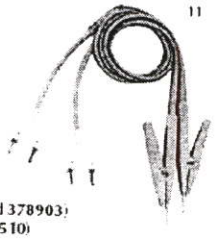
No.	Name	Code	Description	Order Q'ty
10	Memory card (8 k bytes)	378901	Setting & measured data	1 unit (1 pc./unit)
	Memory card (16 k bytes)	378902	Setting & measured data	
	Memory card (128 k bytes)	378903	Setting & measured data	
—	Dummy card	B9586NG	Dust cap for memory card slot	2 units (1 pc./unit)
—	Rack mounting kit	751501	EIA (single mounting)	1 unit (1 pc./unit)
		751502	EIA (double mounting)	
		751503	JIS (single mounting)	
		751504	JIS (double mounting)	
11	4-wire resistance measuring lead	751510	0.6 m	
12	Input terminal adapter	751512	—	

DIGITAL MULTIMETERS

7561 & 7562

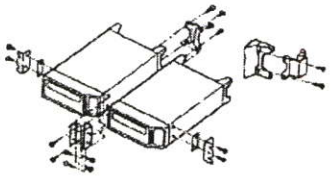
10

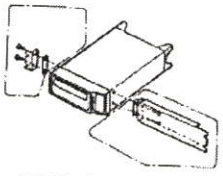
12

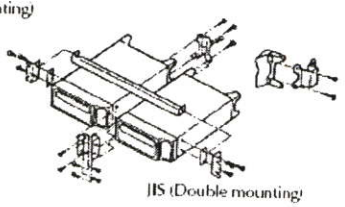

11

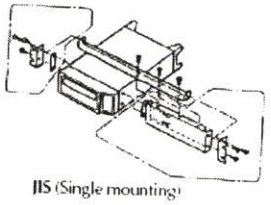
10 IC memory card (378901, 378902 and 378903)
11 4-wire resistance measuring lead (751510)
12 Input terminal adapter (751512)

< Rack Mounting >


EIA (Double mounting)


EIA (Single mounting)

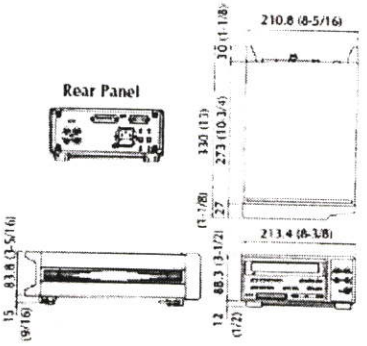

JIS (Double mounting)


JIS (Single mounting)

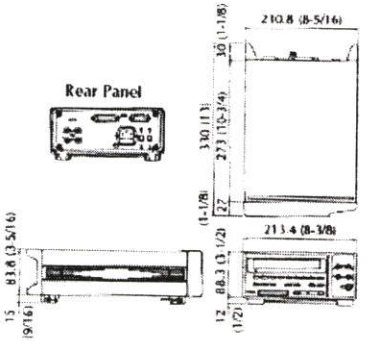
DIMENSIONS

Unit: mm (inch)

● 7561



● 7562



ภาคผนวก ค

ตัวอย่าง Source Code ของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ

ในส่วนนี้เป็นการนำตัวอย่างการเขียนรหัสต้นฉบับ สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด อ่างสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน และพิมพ์ผลการสอบเทียบของหน้าจอสอบเทียบอุณหภูมิ

Calibration Window

```
Option Explicit
Dim SetCal(5, 5) As String
Dim Valcal(20, 5) As Double
Dim SetPoint As Single
Dim No As Integer
Dim UUT, STD, Error As Single ' Declare Mean value of UUT, STD and Calculate Error
Dim uncertainty As Double
Dim STD7563 As String
Dim Temp7562$
Dim Alpha, delta, R0, Ub9122, Ub7563 As Single
Dim Columns, TotalPoint As Integer
Dim data9122 As Double
Dim valueUUT, valueSTD As Single
Dim sumUUT, sumSTD As Single

Private Sub cmChat_Click()
frmChat.Show
frmChat.SetFocus
End Sub
```

```
Private Sub cmdBACK_Click()
Me.Hide
End Sub

Private Sub cmdGraph_Click()
frmGraph.Show
frmGraph.SetFocus
End Sub

Private Sub cmdCamera_Click()
frmCamera2.Show
frmCamera2.SetFocus
End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim i As Integer
Alpha = 0.003902996
delta = 1.50945
R0 = 100
On Error Resume Next
Timer1.Enabled = False
If CH_UUT = "" And CH_STD = "" Then
CH_UUT = "4"
CH_STD = "1"
End If
UUT = 0
STD = 0
Error = 0
MSComm1.PortOpen = True
With msgCal
    .ColWidth(0) = 1550
    .ColWidth(1) = 1550
```

```
        .ColWidth(2) = 1430
        .ColWidth(3) = 1450
        .ColWidth(4) = 1387
        .RowHeight(0) = 510
        .RowHeight(1) = 510
        .RowHeight(2) = 510
        .RowHeight(3) = 510
        .RowHeight(4) = 510
    End With
      AdodcUUTDetails.Refresh
      AdodcUUTDetails.Recordset.MoveLast
      AdodcEmployees.Recordset.MoveFirst

    For i = 1 To 5
        SetPoint = AdodcUUTDetails.Recordset.Fields(i + 3)  'read setpoint from uutdetails tables
        ListSP.AddItem "Set-Point:" & i & "=" & SetPoint, i - 1
        msgCal.ColAlignment(i - 1) = 4          'Alignment at center
        msgCal.TextMatrix(i - 1, 0) = SetPoint
        SetCal(0, i - 1) = SetPoint
        Debug.Print SetCal(0, i - 1)
    Next i
    No = 0
    cmdPrint.Enabled = False
    Call Sendsp
    End Sub

    Private Sub Sendsp()
    MSComm1.Output = "s=" & SetCal(0, No) & Chr$(13)
    Timer3.Enabled = True 'Check STD Temperature<Tolerance (0.02 C)
    Timer3.Interval = 2000
    End Sub
```

```
Private Sub lblProportionalBand_Click()
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
Dim MeanSTD, DataSTD, Sum As Single ' Calculate Mean of STD
Static jcnt As Single    ' for keep data
Static icnt As Integer   ' for count data

If Abs(Val(txtSTDTemp.Text) - Val(SetCal(0, No))) < 0.02 Then
    icnt = icnt + 1
    If icnt <= 10 Then
        DataSTD = Val(txtSTDTemp.Text)
        jcnt = jcnt + DataSTD
    Else
        icnt = 0
        Sum = jcnt / 10
        DataSTD = Abs(Val(txtSTDTemp.Text))
        MeanSTD = Abs(DataSTD - Sum)
        icnt = 0
        jcnt = 0
        If MeanSTD < 0.02 Then
        icnt = 0
        jcnt = 0
                Timer3.Enabled = False
            Call Duration ' Delay time for Read STD and UUT Temperature

Else
            Call SetWindow
        End If
End If
Else
If 0.02 < Abs(Val(txtDrywell.Text) - Val(SetCal(0, No))) < 2 Then
```

```
    Call SetWindow
  End If
  End If
  End Sub

  Private Sub SetWindow()
  Dim Window As Single
  Window = Format(Val(SetCal(0, No)) - Val(txtSTDTemp.Text), "##0.0#")
  MSComm1.Output = "S=" & (txtDrywell.Text + (Window))
  End Sub
  Private Sub Duration()
  Dim diff As Single
  Do Until diff < 0.1
  diff = Abs(Val(txtSTDTemp.Text) - Val(SetCal(0, No)))
  Loop
  Call SaveData
  End Sub
  Private Sub SaveData()
  Dim sumUUT, sumSTD As Single
  Dim diff, btime, ftime As Integer
  Dim i As Single
  valueUUT = 0
  valueSTD = 0
  sumUUT = 0
  sumSTD = 0
  Timer7.Interval = 5000
  Timer7.Enabled = True
  End Sub

  Private Sub Timer7_Timer()
  Dim save(10) As Single
  Static i As Integer
```

```
    Static cnt As Integer ' for count save data in timer7 sub program
    cnt = cnt + 1
    valueUUT = Format(Val(txtUUTTemp.Text), "###0.0###")
    valueSTD = Format(Val(txtSTDTemp.Text), "###0.0###")
    sumUUT = Val(sumUUT) + Val(valueUUT)
       sumSTD = sumSTD + valueSTD
    ' Save each of UUT data in Reading Table
      save(cnt) = valueUUT
  If cnt = 10 Then
       AdodcReading.Recordset.AddNew
       AdodcReading.Recordset.Fields(0).Value = No
       For i = 1 To 10
      AdodcReading.Recordset.Fields(i).Value = save(i)
       Next
      UUT = Format(sumUUT / 10, "###0.0###")
      AdodcReading.Recordset.Fields(11).Value = UUT
      STD = Format(Abs(sumSTD) / 10, "###0.0##")
      Error = Format(Abs(STD - UUT), "##0.0##")
      Timer7.Enabled = False
      valueUUT = 0
      valueSTD = 0
      sumUUT = 0
      sumSTD = 0
      cnt = 0
      Call caluncertainty
  End If
  End Sub

  Private Sub caluncertainty()
  Dim Data As Single
  Dim Sd As Double
  Dim i As Integer
```

```
Dim xx As Single
On Error Resume Next
Sd = 0
For i = 1 To 10
    Data = Val(txtUUTTemp.Text)
    Sd = Sd + (Data - UUT) ^ 2
Next
Sd = Sqr(Sd / 9)
AdodcReading.Recordset.Fields(12).Value = Format(Sd, "###0.0###")
Sd = Sd / Sqr(10)
AdodcReading.Recordset.Fields(13).Value = Format(Sd, "###0.0###")
AdodcReading.Recordset.UpdateBatch
Ub = 0.0535
uncertainty = 2 * Sqr(Sd ^ 2 + Ub ^ 2)    ' k=2
msgCal.TextMatrix(No, 1) = Format(UUT, "###0.0###")
msgCal.TextMatrix(No, 2) = Format(STD, "###0.0###")
msgCal.TextMatrix(No, 3) = Format(Error, "###0.0###")
msgCal.TextMatrix(No, 4) = Format(uncertainty, "###0.0###")
Call UpdateData
End Sub

Private Sub UpdateData()
Dim i As Integer
AdodcUUTResults.Refresh
AdodcUUTResults.Recordset.AddNew        'Add New Record into Database
With AdodcUUTResults.Recordset
    .Fields("SerialNoUUT").Value = txtserialno.Text
    .Fields("calDate").Value = txtRecieveddate.Text
    .Fields("Number").Value = No + 1
    .Fields("SetPoint").Value = SetCal(0, No)
    .Fields("Hysteresis").Value = "None"
    .Fields("IndicatorReading").Value = UUT
```

```
        .Fields("StandardReading").Value = STD
        .Fields("Error").Value = Format(Error, "###0.0###")
        .Fields("Uncertainty").Value = Format(uncertainty, "###0.0###")
    End With
        AdodcUUTResults.Recordset.UpdateBatch        'Case of Adding Data in Control Textbox
    If No = 4 Then
        MsgBox "Calibration Process Complete !"
        cmdPrint.Enabled = True
    Else
        No = No + 1
        Call Sendsp
    End If
    End Sub

    Private Sub cmdPrint_Click()
    DataEnvironment1.Command1 Date, txtserialno.Text
    rptResult.Show
    rptResult.SetFocus
    End Sub

    Private Sub Timer1_Timer()
    Dim Temp7563GPIB As String
    Dim DataSTD$, DataUUT$
    Dim Instring As String
    Dim Instring2 As String
    DataSTD$ = "MEAS?" & CH_STD
    DataUUT$ = "MEAS?" & CH_UUT
    Instring = Space(10)
    Instring2 = Space(10)
    Call Send(0, 1, DataSTD$, STOPend)
    Call Receive(0, 1, Instring, STOPend)
    txtSTDTemp.Text = Instring    ' Standard Text
```

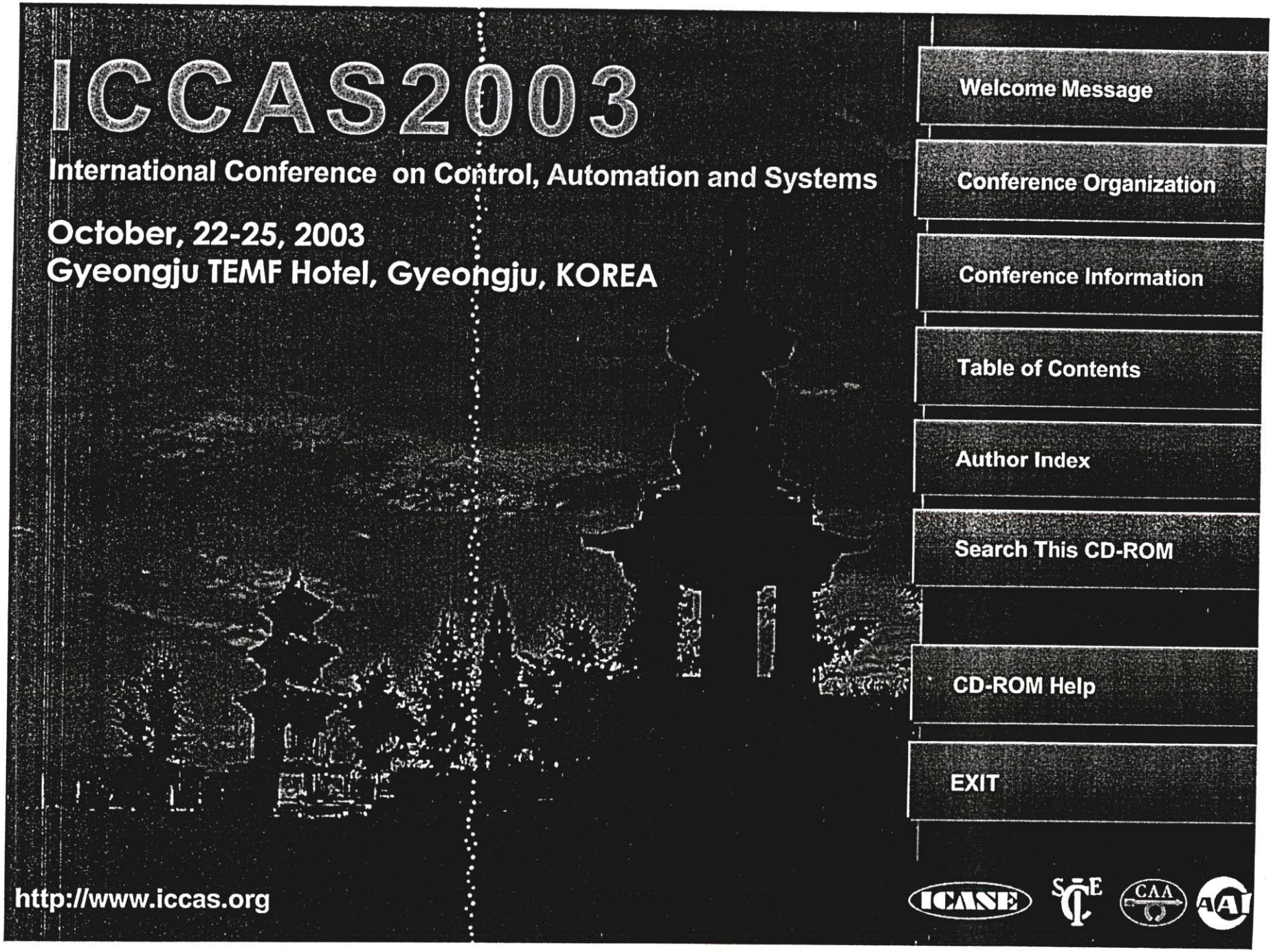
```
Call Send(0, 1, DataUUT$, STOPend)
Call Receive(0, 1, Instring2, STOPend)
txtUUTTemp.Text = Instring2   ' UUT Text
End Sub

'/// Read measurement data from serial port ////
Private Sub Timer2_Timer()
Dim Temp9122 As String
On Error Resume Next
loop1:
    MSComm1.Output = "t" + Chr$(13)
    Temp9122 = Temp9122 + MSComm1.Input
    If InStr(Temp9122, "t:") <> 0 And Len(Temp9122) > 8 Then
        txtDrywell.Text = Format(Mid$(Temp9122, InStr(Temp9122, "t:") + 4, 6), "##0.00")
    End If
    If txtDrywell.Text = "" Then
        GoTo loop1
    End If

' Save Data for Plot Graph
i_50000 = i_50000 + 1
TempUUT(i_50000) = Format(Val(txtUUTTemp.Text), "###0.0###")
TempSTD(i_50000) = Format(Val(txtSTDTemp.Text), "###0.0###")
End Sub

Private Sub Timer4_Timer()
Static i As Integer
If txtDrywell.Text <> "" And txtSTDTemp.Text <> "" And txtUUTTemp.Text <> "" Then
Adodc1.Recordset.AddNew
Adodc1.Recordset.Fields("Number").Value = i
Adodc1.Recordset.Fields("drywell").Value = txtDrywell.Text
Adodc1.Recordset.Fields("7562").Value = Format(TempSTD(i_50000), "##0.0##")
```

```
Adodc1.Recordset.Fields("7563").Value = Format(TempUUT(i_50000), "##0.0##")
i = i + 1
End If
End Sub

Private Sub Timer5_Timer()
Dim Temp7562GPIB As String
Dim Temp7562 As String
On Error Resume Next
Temp7562$ = Space$(50)
Call Receive(0, 2, Temp7562$, STOPend) 'Call order in GPIB32 Module
Temp7562GPIB = Temp7562GPIB + Temp7562$
If InStr(Temp7562GPIB, "999.") > 0 Then
    MsgBox "Do you check all connect", vbOKOnly, "Connect Error7562"
    Exit Sub
End If
If InStr(Temp7562GPIB, "O") <> 0 And Len(Temp7562GPIB) > 8 Then 'Read temperature from
Digital Mutimeter 7562
    txtSTDTemp.Text = Format(CalTemp7562(Val(R0), Val(Mid$(Temp7562GPIB,
InStr(Temp7562GPIB, "O") + 1, 8))), "##0.00") 'Change Ohm to C 2 decimal by Call Function
CalTemp7562
End If
End Sub

Function CalTemp7562(R0 As Single, Rt As Single) As Single
Dim a7562, b7562, c7562 As Single
Dim A, B, z As Single
A = 0.0039083
B = -0.0000005775
R0 = 100
z = Rt / R0
CalTemp7562 = ((Sqr(A ^ 2 - (4 * B * (1 - z)))) - A) / (2 * B)
```

```
End Function


Private Sub Timer6_Timer()
Dim Temp7563GPIB As String
On Error Resume Next
STD7563 = Space$(50)
Call Receive(0, 1, STD7563, STOPend) 'Call order in GPIB32 Module
Temp7563GPIB = Temp7563GPIB + STD7563
If InStr(Temp7563GPIB, "9999.") > 0 Then
    MsgBox "Do you check all connect", vbOKOnly, "Connect Error 7563"
    Exit Sub
End If
If InStr(Temp7563GPIB, "C") <> 0 And Len(Temp7563GPIB) > 8 Then '//read temperature from
Digital Temperature 7563
    txtUUTTemp.Text = Format(Mid$(Temp7563GPIB, InStr(Temp7563GPIB, "C") + 1, 8),
"##0.00")
End If
End Sub
```

ภาคผนวก ง

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่


ICCAS2003
International Conference on Control, Automation and Systems
October, 22-25, 2003
Gyeongju TEMF Hotel, Gyeongju, KOREA
Welcome Message
Conference Organization
Conference Information
Table of Contents
Author Index
Search This CD-ROM
CD-ROM Help
EXIT
http://www.iccas.org
ICASE
SICE
CAA
AAI

ICCAS2003 October 22-25, Gyeongju TEMF Hotel, Gyeongju, Korea

Teleoperate Temperature Calibration via Internet

Watakarn Moonchaisook, Amphawan Chaikla, Thanit Trisuwannawat,
Narin Tammarungwattana, and Prasit Julsereewong

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, Thailand
(Tel: +66-2-739-2406-7; E-mail: kjprasit@kmitl.ac.th)

Abstract: This paper presents the calibration service for the temperature sensor via the Internet. The purpose of the calibration service is to provide the teleoperate calibration procedure without skillful technician requirement at the client site. Besides the automatic measurement equipment that eases the operation, the developed software emphasizes the reliability of operation, simplifying the measurement data recording and processing, and achieving quality of the temperature measurements.

Keywords: teleoperate, temperature calibration, internet-based system, automatic calibration

1. INTRODUCTION

Since the calamitous financial crash of 1997, the demand of Thailand's industrial upgrading to become more competitive in the international market has arisen causing a strong motivation to be recognized in global standards such as ISO certification [1]. The instrument calibration is one of the most important activities for this improvement. There are many objectives for automation of a precision calibration [2-3], such as the reliability of measurements, repeatability, consistency, measurement error minimization, and human work reduction. Unfortunately, in Thailand the calibration facilities are not spread enough to support such a demand, with the consequence of an enormous workload for the existing calibration laboratories. The main drawback of this situation is a long time interval required for the calibration of an instrument and, in turn, a log out-of-service time of the measurement system based on such an instrument.

To solve this problem, the Internet-based calibration or on-site calibration has been introduced in the literature [4-6]. One should note that this solution offers the further advantage to avoid mechanical stress due to the transportation of the Unit Under Test (UTT), so that a better reliability can be expected. In addition, the implement of remote or teleoperate calibrations using the Internet as a transmission medium is rapidly emerging as a solution to all of the transportation, environmental, downtime, and cost issues with current calibration schemes. Moreover, the benefits emerge in the dissemination of measurement techniques and good practice equally to all laboratories.

This paper aims to present the teleoperate temperature calibration via Internet. There are two basic requirements to implement the proposed calibration, one is hardware requirement and the other is software requirement. For hardware requirement, it is required that every element of a temperature calibration system has the possibility of teleopeate system-by connection via RS232, GPIB-IEEE488, and the Internet system (client and server). In addition, the web cameras at both ends enhance the communication for troubleshooting and collaboration. The calibration software requirements are based on the restricted regarding achievement of demanded performance using Visual Basic programming language. The database and the Web pages are developed using Microsoft Access 2000 and Microsoft Visual Interdev program, respectively.

The experimental results verify that the proposed teleoperate calibration service allows the calibration procedure to be remotely exercised without skillful technician requirement.

2. THE PROPOSED CALIBRATION SERVICE

Fig. 1 and Fig. 2 show the hardware and the software architectures of the proposed calibration service based on the client-server application, respectively. The service allows the calibration procedure to be remotely exercised. Furthermore, the automatic acquisition and real-time processing of the calibration results can be accomplished if the standard and the UTT are equipped with a communication interface.

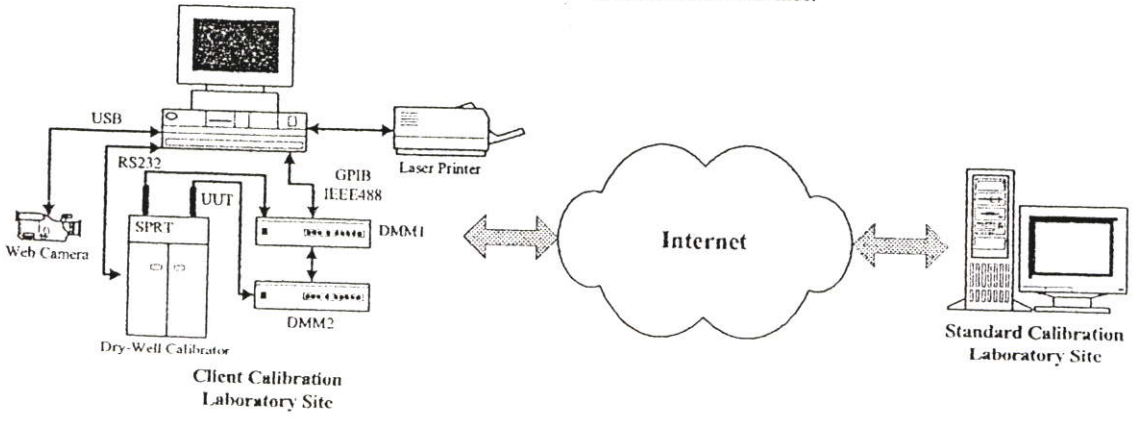


Fig. 1 The hardware architecture of the proposed calibration service

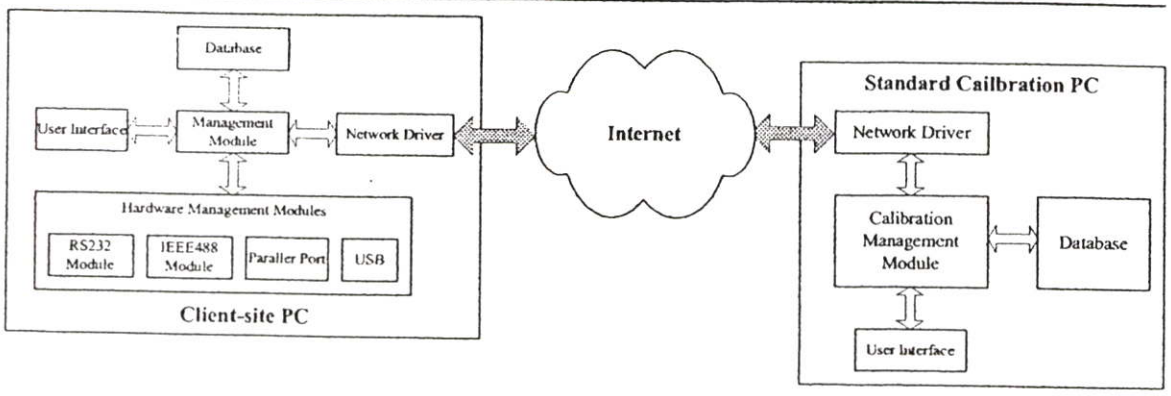


Fig. 2 The software architecture of the client-server application

2.1 Client calibration laboratory site

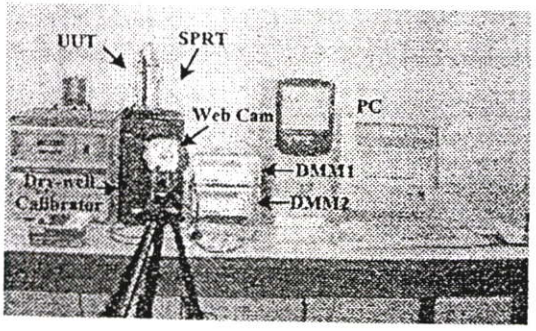


Fig. 3 The required hardware at the client site

At the client site or the UUT site, the required hardware for temperature calibration is shown in Fig. 3. The temperature sensor is to be calibrated using a Chromel-Alumel (K-type) thermocouple as an illustrated UUT in this paper. The temperature range of the calibrator is 35°C-600°C. The central-point of the teleoperate procedures is a personal computer (PC) with the appropriate hardware specification and the developed software, which is able to control the calibration via the Internet. The specification of another apparatuses can be shown as

- The UUT: Hitachi 4261 K-type thermocouple, 20°C-700°C range.
- The Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT): 0°C-400°C range, ± 0.05°C accuracy.
- Dry-well calibrator (constant temperature bath): Hart Sceintific 9122, ± 0.1°C accuracy, 0.01°C resolution.
- Standard digital multimeter (DMM1): Yokogawa 7562, ± 0.009% of reading accuracy for thermocouple.
- Standard digital thermometer (DMM2): Yokogawa 7563, ± 0.006% of reading accuracy for thermocouple.
- Web Camera (Web Cam)
- Laser printer: HP LaserJet 2100. (Optional)

All apparatuses must have a communication interface in order to connect them to the PC when the client application runs. In this situation, the automatic calibration procedures can be implemented. At the client site, the operator is only required to perform the measurement connection between the SPRT and the UUT, hence a non specialized technician can work the calibration procedure.

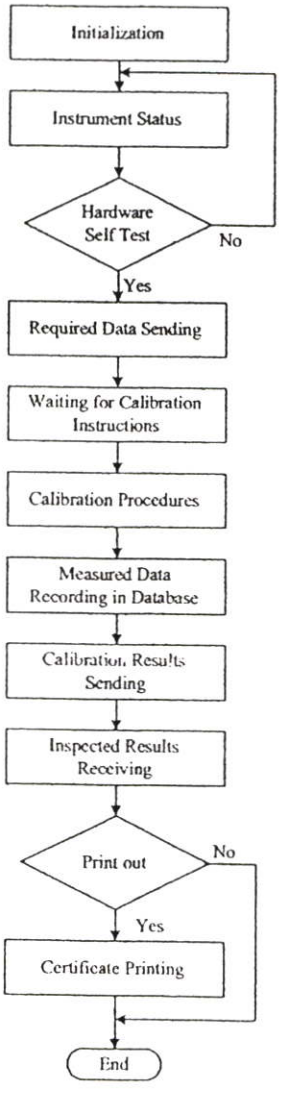


Fig. 4 The flowchart for client application

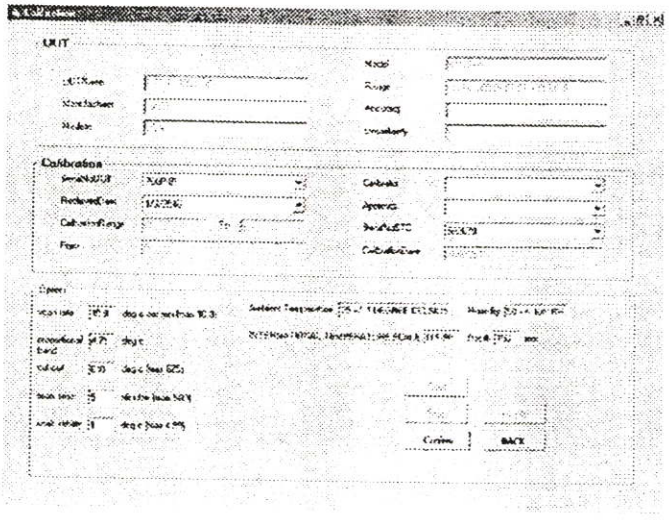


Fig. 5 The initialization setting window of client application

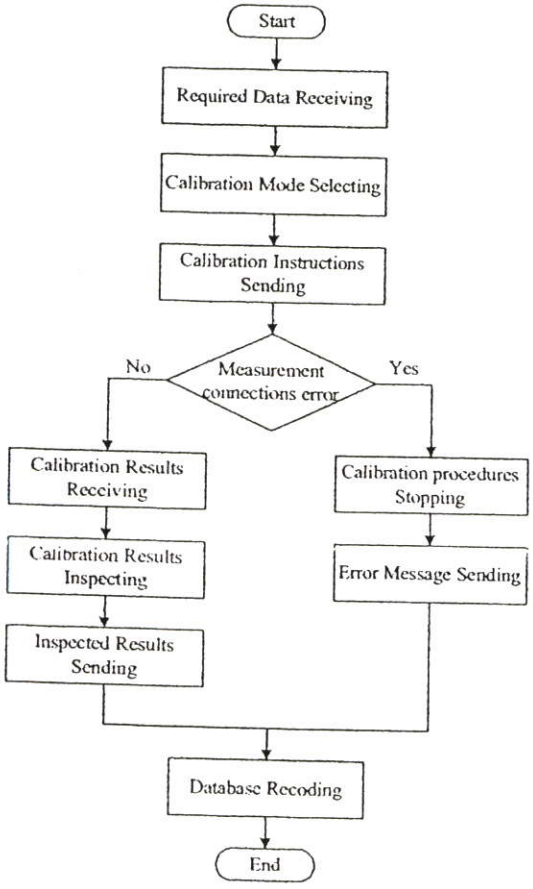


Fig. 6 The flowchart for sever application

The client site PC takes charge of the calibration management based on the control instructions from the standard laboratory site. Fig. 4 shows the flowchart of the developed software using Visual Basic 6.0, MS Access 2000, and Web application programs. During the initialization, the required parameters such as the UUT description, the calibration details, the ambient temperature, and the humidity are required to be set as shown in Fig. 5. The measured data are calculated for the errors and the approved uncertainty in temperature measurement of the UUT. The measured data and the calculated data are recorded in the database and sent to the standard laboratory site. The calibration results must be inspected with the standard calibration before the certificate printing or the temperature transmitter adjustment.

2.2 Standard calibration laboratory site

Fig. 6 shows the flowchart for the sever application. The appropriate standard thermometer and the calibration instructions are selected from the database based on the sending data from the client site as shown in Fig. 7. After all the required parameters are defined, the calibration instructions are submitted to the client site. The calibration results are then transferred back to the standard site for inspecting as shown in Fig. 8. Finally, the inspected results are sent to the client site.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

The K-type thermocouple is used as the illustrated UUT in this paper. The number of set point used in the experiment is five, which are 50°C, 100°C, 150°C, 200°C, and 250°C, respectively. Table 1 shows the calibration results based on the use of the proposed service. Fig. 9 shows the window of the calibration results at client site.

Table 1 The experimental results

Set point (°C)	Measured data (°C)	Error (°C)	Uncertainty
50	47.2	2.8	0.121
100	96.24	3.76	0.121
150	143.79	6.11	0.121
200	191.18	8.82	0.121
250	239.13	10.87	0.121

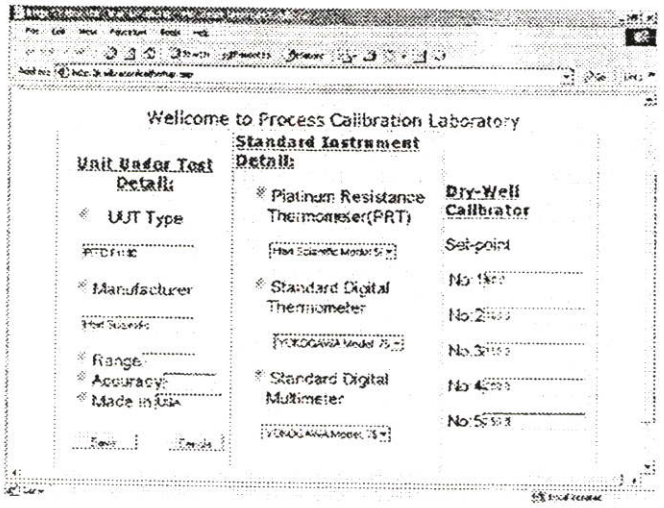


Fig. 7 The window of the calibration procedures setting at standard site.

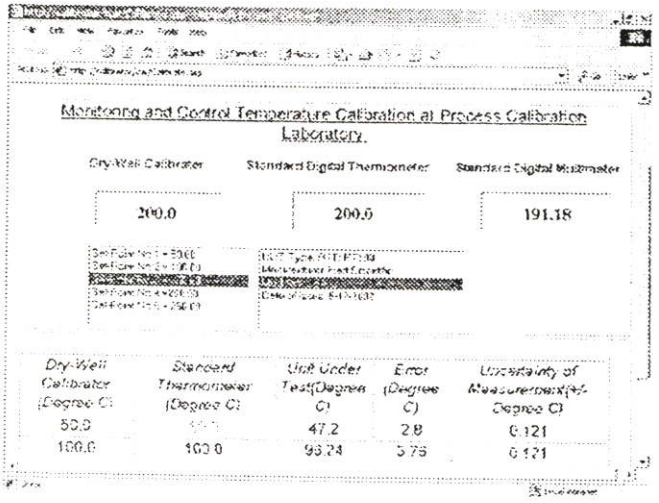


Fig. 8 The calibration results window at standard site.

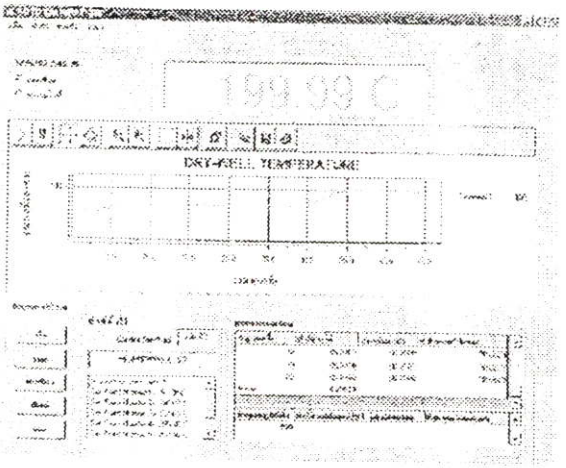


Fig. 9 The calibration results window at client site.

4. CONCLUSION

This paper aims to present the temperature calibration service via the Internet. The proposed service allows the calibration procedure to be remotely exercised. Furthermore, the automatic acquisition and real-time processing of the calibration results can be accomplished if the standard and the UTT are equipped with a communication interface. The experimental results verify that the proposed teleoperate calibration service allows the calibration procedure to be remotely exercised without skillful technician requirement.

REFERENCES

[1] P. Dack, "So what does industry want from calibration?", *IEE Colloquium on Contribution of Instrument Calibration to Product Quality - Part 2*, pp. 2/1 -2/6, Apr 1995

[2] J. Bojkovski, J. Drnovsek,I. Pusnik, T. Tasic, "Automation of a precision temperature calibration laboratory", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 49, No. 3, pp. 596 –601, June 2000

[3] J. A. Bailey, "Use of software and computers in calibration and certifications", *IEE Colloquium on Automation in Electrical Measurement*, pp. 4/1 -4/5, Nov 1993

[4] N. Oldham,M. Parker, "Internet-based test service for multifunction calibrators", *Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1999. (IMTC/99), Vol. 3, pp. 1485 –1487, May 1999

[5] R.A. Dudley, N.M. Ridler, "Internet calibration direct to national measurement standards for automatic network analysers", *Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2001. (IMTC 2001), Vol. 1, pp. 255 –258, May 2001

[6] A. Carullo, M. Parvis; A. Vallan, 'Security issues for Internet-based calibration activities', *Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002. (IMTC/ 2002)*, Vol.1, pp. 817-822, May 2002

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวาทการ มูลไชยสุข
วัน เดือน ปีเกิด	28 พฤษภาคม 2517
ที่อยู่	9 ถ.บุญกว้าง ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2540	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2546	ผลงานวิจัยเรื่อง การสอบเทียบอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต
พ.ศ. 2545	ผลงานวิจัยเรื่อง การสอบเทียบอุณหภูมิอัตโนมัติ
พ.ศ. 2548-2549	วิศวกรโครงการ สำนักประสานงานทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2541-2544	หัวหน้าช่าง แผนกซ่อมบำรุง บริษัท พี.ซี.บี เซ็นเตอร์ จำกัด
พ.ศ. 2540-2541	อาจารย์ประจำแผนกไฟฟ้า โรงเรียนเทคโนโลยีแหลมฉบัง