สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม

DESIGN OF TEMPERATURE CALIBRATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESS

นายบรรจงวิชย์ วิทยาเกษมสันต์
นายศิฐาพล เจริญสกุลวณิชย์
นายสุวัฒน์ เชี่ยงว่อง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72016
วัน,เดือน,ปี - 7 มิ.ย. 2550

b 11761851
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF TEMPERATURE CALIBRATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESS

BUNJONGVIT VITTARAKASAMSONT

SITTAPOL JAROENSAKULVANICH

SUWAT CHENGVONG

A THESIS SUBMITTED IN PARATIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบระบบสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม DESIGN OF TEMPRATURE CALIBRATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESS		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายบรรจงวิชย์ วิทยาเกษมสันต์	**รหัสนักศึกษา**	46010380
	นายศิฐาพล เจริญสกุลวณิชย์	**รหัสนักศึกษา**	46010777
	นายสุวัฒน์ เชี่ยงว่อง	**รหัสนักศึกษา**	46010889
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2549		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ. ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบระบบสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม DESIGN OF TEMPRATURE CALIBRATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESS			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายบรรจงวิชย์	วิทยาเกษมสันต์	รหัสนักศึกษา	46010380
	นายศิฐาพล	เจริญสกุลวณิชย์	รหัสนักศึกษา	46010777
	นายสุวัฒน์	เซี่ยงว่อง	รหัสนักศึกษา	46010889
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิศรุต	ศรีรัตนะ		
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

โครงงานชิ้นนี้เป็นการนำเสนอปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสอบเทียบอุณหภูมิ โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดอาร์ทีดี โดยการสอบเทียบนอกห้องสอบเทียบนั้นจะมีปัจจัยต่าง ๆ รบกวนผลการสอบเทียบ อาทิเช่น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความยาวของสายสัญญาณเป็นต้น แต่จากการศึกษาจะพบว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ผลการสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อน จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิภายนอกที่มีผลต่ออุณหภูมิที่วัดได้ โดยแบ่งช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัด และอุณหภูมิสภาพแวดล้อมออกเป็นช่วงต่าง ๆ กัน โดยการทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสอบเทียบเครื่องมือวัดและเก็บข้อมูลที่จะนำมาเป็นฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้ในการสอบเทียบและชดเชยค่าอุณหภูมิ ทำชุดอินเตอร์เฟซเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือวัดและตัวเก็บข้อมูล เพื่อเป็นตัวกลางในการแสดงผลผ่านจอแอลอีดี และส่งข้อมูลต่อให้กับส่วนของโปรแกรม Visual Basic ประมวลผล และใช้โปรแกรม Visual Basic ทำการประมวลผล คำนวณค่าที่ต้องชดเชย และพิมพ์ใบรับรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design Of Temperature Calibration System For Industrial Process
Authors	Mr. Bunjongvit vittayakasamsont
	Mr. Sittapol jaroensakulvanich
	Mr. Suwat Chengvong
Thesis Advisor	Asst.Porf.Witsarut Sriratana
Year	2006

ABSTRACT

This project aimed to study and present the external factors which may interfere or influence with the comparative temperature test. The instruments used in the experiment were RTD. When the comparative temperature test is being done out side the appropriate facility there are numerous factors which may interfere or influence the result. Those factors are such as the environments or surrounding temperature and the length of the signal cable used. From further studied it was found that the environment's temperature was one if not the most influential factor and may render the test biased. Hence the aim of this project is to study the degree of which the external temperature may influence the temperature measured from the test and find the appropriate compensating value. The method used to test was to divide the range of the temperature required and the temperature of the environment into different sections. The process was divided into three distinct parts. Study the factors which may influence the comparative test instruments and collect information based on the study to use it as the base information, reference to the comparative test result and compensate the temperature value ,Construct the interface which link between measuring instruments and the data collection unit. The interface is by way of displaying the result through the LED screen. The information then get pass on to the Visual Basic functions for further process and apply the data to the Visual Basic program to process and calculate the compensation value and print out the certificate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การชดเชยค่า Factor ที่มีผลกระทบต่อการสอบเทียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายใน Plant สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและกราบของพระคุณเป็น อย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน อาจารย์ธีรวัฒน์ เทพมณี ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการสอบเทียบ เพื่อนที่ให้ความช่วยเหลือ

และที่ลืมมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณของบิดามารดาอันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุน และเป็นแรงบรรดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญภาพ.....VIII

สารบัญตาราง.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 **ความสำคัญของปริญญานิพนธ์**.....1

1.2 **วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์**.....1

1.3 **ขอบเขตของปริญญานิพนธ์**.....1

1.4 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**.....1

บทที่ 2 ความสำคัญของการวัดและหลักการ.....2

2.1 **มาตรวิทยา** (Metrology).....2

2.2 **สาเหตุของการวัด**.....2

2.3 **ความต้องการการวัดในอนาคต**.....2

2.4 **หลักของการวัด**.....3

2.5 **มาตรฐานการวัด** (Measurement Standards).....3

2.5.1 **มาตรฐานแห่งชาติ** (National Standards).....4

2.5.2 **มาตรฐานระหว่างชาติ** (International Standards).....4

2.6 การสอบเทียบ.....4

2.6.1 **มาตรฐานการวัด**.....4

2.6.2 **วิธีการสอบเทียบ**.....5

2.6.3 **ผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบ**.....5

2.6.4 **สถานที่และสภาวะแวดล้อม**.....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและหลักการ 6

3.1 อุณหภูมิ และมาตรการวัดอุณหภูมิ.....6

3.1.1 หน่วยการวัด และมาตราวัดอุณหภูมิ 6

3.2 นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature).....7

3.2.2 อุณหภูมิ (Temperature) 8

3.2.2.1 สเกลของอุณหภูมิสัมบูรณ์.....8

3.3 อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน (Reference Temperature).....9

3.4 หลักการวัดอุณหภูมิ..... 10

3.5 อาร์ทีดี(RTD - Resistance Temperature Detectors)..... 11

3.5.1 หลักการของอาร์ทีดี..... 12

3.5.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ.....14

3.5.2.1 ความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ.....14

3.5.2.2 การประมาณค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ 14

3.5.2.3 ขีดจำกัดการใช้งาน..... 15

3.6 แหล่งกำเนิดความผิดพลาด.....15

3.6.1 ความผิดพลาดอันเกิดจากกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี (Self heating).....15

3.6.2 ความผิดพลาดจากการอุ่น-การนำความร้อนของก้าน (Stem)..... 16

3.6.3 ความต้านทานของสายต่อ..... 17

3.6.4 ความล่าช้าทางอุณหภูมิ (Thermal Lag).....17

3.6.5 ความจุความร้อน (Thermal Capacity).....18

3.6.6 ความร้อนเกิดจากตัวเอง (Self Heating)..... 18

3.6.7 ความผิดพลาดกระแสไฟฟ้าตรง (DC Error)..... 18

3.7 โครงสร้างของอาร์ทีดี..... 19

3.8 คุณลักษณะของอาร์ทีดี (Characteristic of RTD) 23

3.9 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดี..... 24

บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....27

4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 28
4.1.2 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 31
4.1.3 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปใน MCS-51 33
4.1.4 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษใน MCS-51 33
4.2 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว(LCD) 34
4.2.1 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (LCD 16x2) 34
4.2.2 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD 35
4.2.3 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล 37
4.3 Serial Port 38

บทที่ 5 Visual Basic 6 40
5.1 ส่วนประกอบของ Visual Basic6 40
5.2 การพัฒนา Application ด้วย ActiveX Controls 41
5.3 คอนโทรลมาตรฐานที่ควรรู้จัก 42
5.4 เริ่มต้นการสร้าง Application ด้วย Visual Basic 6 43
5.4.1 ขั้นตอนการเปิด Project 43
5.4.2 ขั้นตอนการสร้างคอนโทรลลงบนฟอร์ม 44
5.4.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดควบคุมการทำงานของโปรแกรม 44
5.4.4 ขั้นตอนการรันโปรแกรม 45
5.4.5 ขั้นตอนการแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ EXE 46

บทที่ 6 การออกแบบฐานข้อมูล 47
6.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม 47
6.1.1 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของ Login 47
6.1.2 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของประวัติเครื่องมือ 48
6.1.3 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการ Load ข้อมูล 49
6.1.4 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการ Calibrate ข้อมูล 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 การทดลอง..... 51

7.1 Database..... 51

7.1.1 ผลการทดลอง..... 52

7.1.2 สรุปผลการเก็บข้อมูล.....59

7.1.3 หลักการในการ Compensate And Calibrate.....60

7.2 Interface.....61

7.2.1 ส่วนประกอบของตัว interface.....61

7.2.2 แสดงผลการ LCD.....62

7.2.3 แสดงการต่ออุปกรณ์ Interface กับ ตัว Sensor และหม้อแปลง 64

7.3 Display..... 65

7.3.1 หน้าหลัก.....65

7.3.2 หน้า Load Hardware 68

7.3.3 หน้า Calibrate..... 71

7.3.4 ใบ certificate.....72

7.4 สรุปผลการทดลอง.....72

7.5 ปัญหาที่พบ.....73

บรรณานุกรม.....74

ภาคผนวก.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงหลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเชิงกล..... 10

3.2 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า..... 10

4.1 Serial Port Control Register.....30

4.2 แสดงโหมดต่างๆของการรับส่งแบบอนุกรม..... 31

4.3 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Timer 0..... 32

4.4 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Counter 0.....32

4.5 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Timer 1..... 32

4.6 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Counter 1.....32

4.7 รีจิสเตอร์ใช้เฉพาะ PSW (Program Status Word) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต.....33

4.8 แสดงการควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์ และตัวอักษรบนจอแสดงผล.....36

5.1 อธิบายปุ่มการทำงานใน Visual Basic.....42

7.1 ตารางAMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1..... 52

7.2 ตารางAMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2..... 52

7.3 ตารางAMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3..... 52

7.4 ตารางAMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4..... 52

7.5 ตารางAMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5..... 53

7.6 ตารางค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 25 °C..... 53

7.7 ตารางAMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1..... 53

7.8 ตารางAMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2..... 53

7.9 ตารางAMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3..... 54

7.10 ตารางAMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4..... 54

7.11 ตารางAMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5..... 54

7.12 ตารางค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 30 °C..... 54

7.13 ตารางAMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1..... 55

7.14 ตารางAMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2..... 55

7.15 ตารางAMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3..... 55

7.16 ตารางAMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4..... 55

7.17 ตารางAMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5..... 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

7.18 ตารางค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 35 °C..... 56

7.19 ตารางAMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1..... 56

7.20 ตารางAMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2..... 56

7.21 ตารางAMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3..... 57

7.22 ตารางAMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4..... 57

7.23 ตารางAMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5..... 57

7.24 ตารางค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 40 °C..... 57

7.25 ตารางAMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1..... 58

7.26 ตารางAMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2..... 58

7.27 ตารางAMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3..... 58

7.28 ตารางAMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4..... 58

7.29 ตารางAMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5..... 59

7.30 ตารางค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 45 °C..... 59

7.31 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้ในการ Compensate ค่า UUT..... 59

7.32 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้ในการ Compensate ค่า STD.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่ **หน้า**

2.1 Precision and Accurate..... 3

2.2 แสดงมาตรฐาน..... 3

2.3 แสดงการสอบเทียบ..... 4

3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรา..... 7

3.2 แสดงรูปแบบต่างๆของ RTD 12

3.3 กราฟแสดงค่าความเผื่อคลาดเคลื่อนที่แปรตามอุณหภูมิ สำหรับ PT100 13

3.4 เส้น L แสดงการประมาณค่าความต้านทานกับอุณหภูมิระหว่าง T_1และT_2 14

3.5 แสดงขีดจำกัดของ IRPT ต่อการแกว่งขึ้นลงของอุณหภูมิ 15

3.6 แสดงความลึกในการจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในอ่างอุณหภูมิ 16

3.7 แสดงภาพถ่าย X-ray ขยายให้เห็นขดลวดพลาตินัม..... 20

3.8 แสดงส่วนประกอบของตัววัดอุณหภูมิแบบ PRT..... 21

3.9 แสดง RTD..... 22

3.10 แสดงการต่ออาร์ทีดีแบบ 2 สาย..... 24

3.11 แสดงรูปการต่ออาร์ทีดีแบบ 3 สาย..... 25

3.12 แสดงรูปการต่ออาร์ทีดีแบบ 4 สาย..... 26

4.1 แสดงโครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์..... 28

4.2 ลักษณะการใช้งานของ RS-232..... 39

5.1 แสดงส่วนต่างๆของหน้าจอ..... 40

5.2 แสดง Tool Box เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการเก็บ ActiveX Controls 41

5.3 แสดงหน้าจอการเปิด Project..... 43

5.4 IDE ของ Visual Basic..... 43

5.5 สร้าง Control CommandButton..... 44

5.6 ตัวอย่างการสร้างคอนโทรล Label และคอนโทรล CommandButton..... 44

5.7 Code Window..... 45

5.8 ทำการรันโปรแกรมโดยการกดปุ่ม F5 45

5.9 Command..... 46

5.10 แปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ .EXE..... 46

6.1 Login..... 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

6.2 Add ประวัติเครื่องมือใหม่.....48

6.3 Edit ประวัติเครื่องมือใหม่.....48

6.4 ADD ใบรับเรื่องใหม่.....49

6.5 Edit ใบรับเรื่อง.....49

6.6 Calibrate.....50

7.1 อุปกรณ์ interface.....61

7.2 แสดงLCD เมื่อเริ่มต้นการทำงาน.....62

7.3 แสดง LCD เมื่อมีการกดปุ่ม Clear.....62

7.4 แสดงLCD เมื่อมีการกดปุ่ม Sent.....63

7.5 แสดงการเก็บข้อมูลเมื่อเริ่ม มีการกดปุ่ม Start.....63

7.6 แสดงการต่อ Interface กับ Sensor.....64

7.7 แสดงการต่อRS232.....64

7.8 รูปแสดงการต่อเพื่อเก็บอุณหภูมิ.....65

7.9 หน้าหลัก.....65

7.10 Login.....66

7.11 Data tool.....66

7.12 Option file.....67

7.13 แสดงปุ่มการทำงาน.....67

7.14 Load Hardware.....68

7.15 Search.....68

7.16 Load.....69

7.17 Load 2.....70

7.18 หน้า Calibrate.....71

7.19 Certificate.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

โดยทั่วไปในการสอบเทียบแบบดั้งเดิมจะเป็นการสอบเทียบอุปกรณ์มาตรฐาน กับอุปกรณ์ที่จะนำมาสอบเทียบซึ่งปกติจะต้องทำในห้องสอบเทียบเท่านั้น ต้องถอดอุปกรณ์จากกระบวนการผลิตมาทำการสอบเทียบในห้องสอบเทียบ ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความคิดว่าหากสามารถสอบเทียบได้โดยไม่ต้องถอดอุปกรณ์ออก จากกระบวนการผลิตจะมีความสะดวกมากกว่า จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกที่อาจมีผลต่อการสอบเทียบซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้จากการสอบเทียบผิดเพี้ยนไปจากค่าจริง และทำการชดเชยเพื่อให้เข้าใกล้ค่าที่แท้จริงมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. สำหรับตรวจสอบการใช้งานของ sensor โดยใช้ RTD เป็นกรณีศึกษา
2. เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบโดยที่อุปกรณ์ยังใช้งานอยู่โดยไม่ต้องถอด
3. ลดค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบและเวลาให้ลดน้อยลงง่ายต่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ทำการสร้างชุด interface ระหว่างตัว sensor และ computer
2. ทำการปรับเทียบอุณหภูมิในการสอบเทียบกับอุณหภูมิรอบข้าง
3. แสดงผลในลักษณะของกราฟได้
4. จัดทำฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบฐานข้อมูลในห้อง Lab ได้
5. หาค่าความแม่นยำ และ error ของอุปกรณ์ในการสอบเทียบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นว่าเครื่องมือวัดที่สนใจ ยังอยู่ในย่านการวัดที่สามารถใช้งานได้อยู่หรือไม่ ซึ่งจะเป็นประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายที่จะต้องการทำงานของกระบวนการผลิตเนื่องจากจะต้องถอดเครื่องมือวัดไปสอบเทียบ ณ ห้อง calibrate และยังประหยัดเวลาที่จะต้องถอดเครื่องไปทำการสอบเทียบ ด้วยโดยสรุปคือเครื่องมือนี้จะมีหน้าที่หลักในการตรวจสอบเบื้องต้นว่าเครื่องมือวันอุณหภูมิที่สนใจอยู่นั้นจำเป็นจะต้องถอดออกไปสอบเทียบหรือไม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความสำคัญของการวัดและหลักการ

2.1 มาตรวิทยา (Metrology)

มาตรวิทยา (Metrology) คือ ศาสตร์แห่งการวัด ซึ่งเป็นวิชาที่ว่าด้วยเรื่องธรรมชาติ และเทคนิคของการวัด เราใช้มาตรวิทยา ในการสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการค้าระหว่างประเทศ มาตรวิทยา ครอบคลุม 3 กิจกรรมหลัก

1. การกำหนดนิยามของหน่วยวัด (Definition)
2. การทำนิยามให้เป็นจริง (Realization)
3. การสถาปนาห่วงโซ่ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability)

2.2 สาเหตุของการวัด

1. วัดเพื่อสร้าง ลด Trial and error ลดความต้องการ skills Mass Production Interchangeability and compatibility

2. วัดเพื่อควบคุม Quality control process เพื่อยืนยันว่าผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุเพื่อการ Accept หรือ Reject ที่ไม่ผิดพลาด สามารถอ้างอิงมาตรฐานของหน่วยวัดเดียวกัน

3. วัดเพื่อความก้าวหน้า การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม การหาคำตอบในปรากฏการตามธรรมชาติ

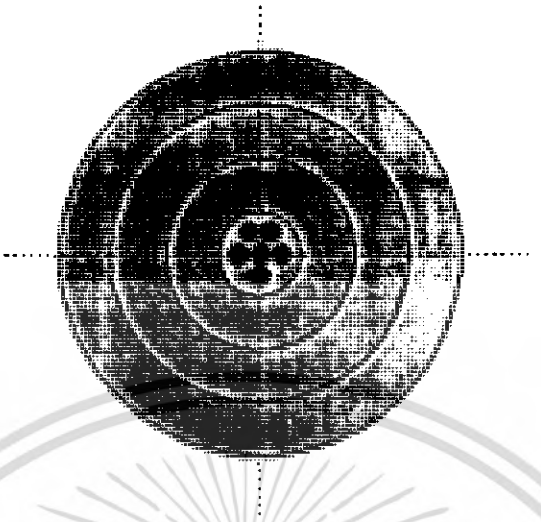
2.3 ความต้องการการวัดในอนาคต

1. Accuracy และ Precision สูงขึ้น
2. Sensitivity และ resolution สูงขึ้น
3. Reliability และ Stability ดีขึ้น
4. คงความถูกต้องได้ในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง
5. ราคา ใช้งานง่าย และทำงานได้โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักของการวัด

จะต้องมีความถูกต้องและเที่ยงตรง



รูปที่ 2.1 Precision and Accurate

2.5 มาตรฐานการวัด (Measurement Standards)

เรียงลำดับความสำคัญจากบนลงล่าง

มาตรฐานระดับสากล (International Standards)

มาตรฐานระดับภูมิภาค (Regional Standards)

มาตรฐานระดับประเทศ (National Standards)

มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards)

มาตรฐานใช้งาน (Working Standards)

รูปที่ 2.2 แสดงมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 มาตรฐานแห่งชาติ (National Standards)

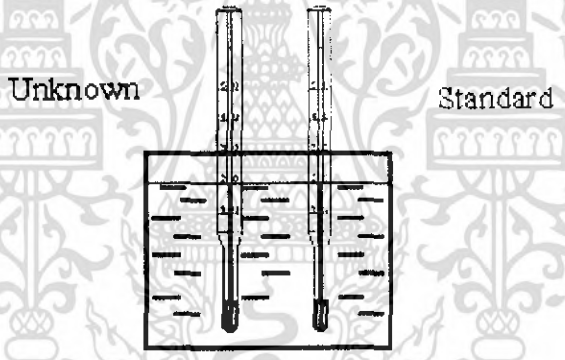
มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยทางการ เพื่อใช้เป็นรากฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นทั้งหมดของปริมาณที่เกี่ยวข้องในประเทศ

2.5.2 มาตรฐานระหว่างชาติ (International Standards)

มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยความตกลงระหว่างประเทศ เพื่อเป็นฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ระหว่างประเทศ เช่น มวลมาตรฐานต้นแบบ 1 กิโลกรัมที่ BIPM ฝรั่งเศส

2.6 การสอบเทียบ

กระบวนการในการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกับค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด



รูปที่ 2.3 แสดงการสอบเทียบ

องค์ประกอบของการสอบเทียบ

2.6.1 มาตรฐานการวัด

เป็นมาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการสอบเทียบ มีอัตราส่วนความถูกต้อง 3 ถึง 10 เท่า ต้องมีพิสัย (Range) ครอบคลุม มีความสามารถสอบกลับได้ (Traceability) ถึงมาตรฐานแห่งชาติ (National Standards) ต้องมีมาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards) คือ มาตรฐานที่มีคุณภาพทางมาตรวิทยาสูงสุดที่มีอยู่ ณ ที่ใช้งาน ซึ่งความถูกต้องของหน่วยวัดที่เกี่ยวข้องทั้งหลายภายในหน่วยงานนั้น สามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานนี้ ต้องมีมาตรฐานใช้งาน (Working Standards) คือ มาตรฐานการวัดที่ได้รับการถ่ายทอดความถูกต้องจากมาตรฐานอ้างอิง ใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่นๆ ในหน่วยงานนั้น มาตรฐานอ้างอิงของการวัดที่มีความถูกต้องสูงสุด มีไว้ในห้องปฏิบัติการ มีไว้สำหรับการสอบเทียบเท่านั้น ต้องกำหนดแผนการสอบเทียบ ต้องส่งไปสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบยังหน่วยงานที่สามารถให้ "ความสามารถสอบกลับได้" ของการวัดไปยังมาตรฐานแห่งชาติ หรือมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับใบรับรองการสอบเทียบ ต้องระบุผลการวัด ความไม่แน่นอนของการวัด และความสามารถสอบกลับได้

2.6.2 วิธีการสอบเทียบ

จัดทำไว้เป็นเอกสาร มีสาระเพื่อจะนำไปปฏิบัติได้ผลการสอบเทียบอย่างคงเส้นคงวา แหล่งที่มาของวิธี มีการประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty) มีการ Validate ก่อนนำไปใช้งาน ต้องมีรายละเอียดวิธีการสอบเทียบ เช่น ชื่อ ชนิด ของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ ผู้ผลิต พิสัย ข้อจำกัดการใช้งาน เกณฑ์ยอมรับ ช่วงระยะเวลาในการสอบเทียบ รายละเอียดเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้

2.6.3 ผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบ

ต้องมีพื้นฐานการศึกษา ความรู้ และประสบการณ์ มีพื้นฐานการศึกษา ความรู้ และประสบการณ์ ได้รับการฝึกอบรมในกิจกรรมที่ปฏิบัติ มีความสามารถในการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง ความสามารถในการปฏิบัติการสอบเทียบและประเมินและรายงานผล ต้องมีบันทึกพื้นฐานการศึกษา การฝึกอบรม ไว้เป็นหลักฐาน

2.6.4 สถานที่และสภาวะแวดล้อม

ต้องมีสถานที่สำหรับอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ได้แก่ พื้นที่ทำการสอบเทียบ แสงสว่าง แหล่งจ่ายพลังงาน ระบบควบคุมสภาวะแวดล้อม ต้องมีสภาวะแวดล้อมที่ไม่รบกวนผลการสอบเทียบ จนเกินกว่าจะยอมรับได้และได้รับการควบคุม เฝ้าระวัง และบันทึกอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นอุณหภูมิ (Temperature) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Rate of Change of Temperature) ความชื้น (Humidity) ความดัน (Pressure) การสั่นสะเทือน (Vibration) การรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เครื่องมือวัดอุณหภูมิและหลักการ

3.1 อุณหภูมิ และมาตรการวัดอุณหภูมิ

3.1.1 หน่วยการวัด และมาตราวัดอุณหภูมิ (Temperature Unit and Temperature Scales)

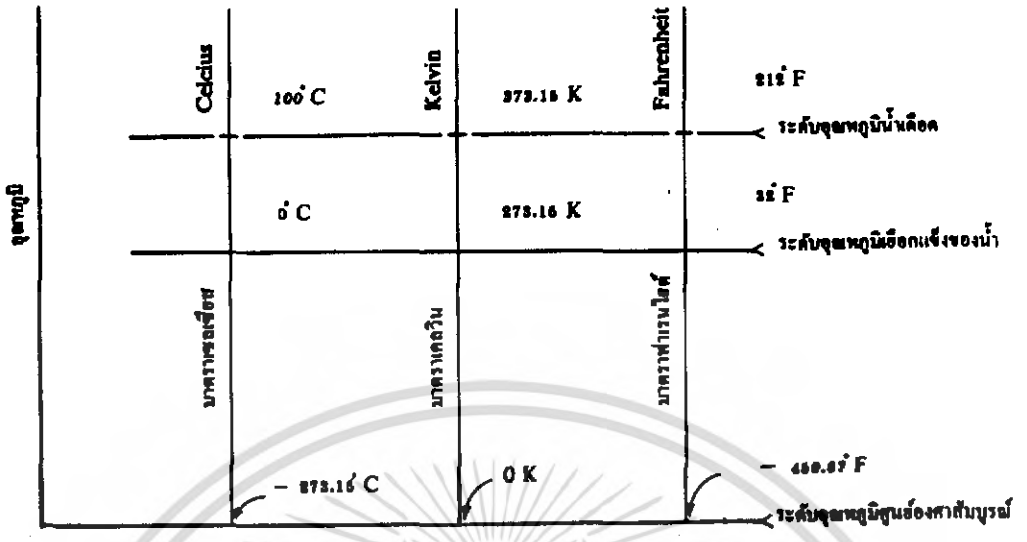
อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญ และใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรม หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกันที่สำคัญคือ เซลเซียส (Celcius) เคลวิน (Kelvin) ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit)

เซลเซียส เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน Anders Celcius (1701-1744) โดย เซลเซียส พบว่า ณ ความดันบรรยากาศน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดคงที่ทางอุณหภูมิอยู่สองจุดคือ จุดเยือกแข็งของน้ำ และจุดที่น้ำเดือด เข้าจึงได้กำหนดจุด 0 องศาที่จุดเยือกแข็งของน้ำ และ 100 องศา ที่จุดเดือดของน้ำ

ฟาเรนไฮต์ เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ Daniel Grabriel Fahrenheit (1686-1736) โดย ฟาเรนไฮต์ ได้พยายามหาจุดต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองกับสารต่างๆ หลายๆอย่าง และพบว่าจุดเยือกแข็งของแอมโมเนียคลอไรด์ เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เข้าทดลองได้ จึงกำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้น เข้าพบว่าอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เป็นจุที่อุณหภูมิคงที่ จึงกำหนดจุดนี้เป็น 96 องศา สาเหตุที่ไม่กำหนดจุดบนสเกลเป็น 100 องศาเพราะต้องการให้มีค่าเป็นสัดส่วนทวีคูณของ 12 ตามหน่วยอื่นๆ ที่นิยมในสมัยนั้น

ทั้งหน่วยเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ก็เป็นมาตราวัดอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองหาสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสาร ณ จุดต่างๆซึ่งอยู่ในย่านบรรยากาศของพื้นโลกและแบ่งสเกลให้เป็นไปตามความสะดวกเหมาะสมมิได้มีหลักเกณฑ์ตายตัวอะไร ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษลอร์ดเคลวินเป็นผู้ค้นคิดหน่วยของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นในปี 1851 เรียกว่ามาตราเคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (zero absolute temperature) ขึ้น ณ จุดที่เป็นอุดมคตินี้ อิเลคตรอนในอะตอมของสารต่างๆ จะหยุดโคจรรอบนิวเคลียสโดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลืออยู่ในสารนั้นๆอีกต่อไป ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้ (กำหนดได้จากการคำนวณ) และแบ่งช่วงของมาตราตามมาตราเซลเซียส ระบบหน่วยสากล ซึ่งเรียกย่อว่า SI ได้กำหนดหน่วยสากลของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นมาตราเคลวิน และหน่วยของอุณหภูมิทั่วๆไปเป็นเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 3 มาตรา

เปรียบเทียบจุดอ้างอิง (reference) ของมาตราต่างๆ

จุดศูนย์สัมบูรณ์	= - 273.15 °C	= - 459.67 °F	= 0 K
จุดเยือกแข็งของน้ำ	= 0 °C	= 32 °F	= 273.15 K
จุดเดือดของน้ำ	= 100 °C	= 212 °F	= 373.15 K

3.2 นิยามของอุณหภูมิ (Definition of Temperature)

3.2.1. พลังงานความร้อน (Thermal Energy)

ในวัสดุที่เป็นของแข็ง แต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุลจะยึดเกาะหรือมีพันธะต่อกันอย่างแข็งแรงสภาวะดังกล่าวนี้เรียกว่า "ตำแหน่งสมดุล" (equilibrium position) อย่างไรก็ตามแต่ละอะตอมยังคงสามารถสั่นสะเทือนรอบตำแหน่งที่มันตั้งอยู่ได้ แต่ถ้าของแข็งที่ไม่มีการสั่นสะเทือนของโมเลกุล แสดงว่าพลังงานความร้อนภายในอะตอมเป็นศูนย์หรือ $W_{TH} = 0$ ดอนนี้หากเราเพิ่มพลังงานให้กับวัตถุดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนรอบ ๆ ตำแหน่งสมดุลของมันจึงกล่าวได้ว่าขณะนี้มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นหรือ $W_{TH} > 0$ หากเราเพิ่มพลังงานเข้าไปในวัตถุนี้อีกการสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายสภาวะในการยึดเกาะก็จะน้อยลงและแตกออกในที่สุด แสดงว่าวัตถุดังกล่าวนี้เกิดการหลอมละลายและกำลังจะกลายเป็นของเหลว

ในกรณีของแก๊ส หากเพิ่มพลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของเหลวให้มากขึ้นต่อไปอีกความเร็วของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในสภาวะสุดท้ายทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแต่ละโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต็มที่ หากถึงขั้นโมเลกุลไม่สัมผัสกันและเคลื่อนที่อย่างสุ่ม ๆ (random) ในภาชนะ วัตถุดังกล่าวก็จะกลายเป็นแก๊สไปในที่สุดมีผลทำให้โมเลกุลชนกระแทกกับโมเลกุลอื่น ๆ รวมถึงผนังของภาชนะ

ในงานจริง วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดความร้อน อุปกรณ์วัดความร้อนของวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน

3.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

หน่วยของการวัดพลังงานที่เหมาะสมก็คือ "จูล" (Joule) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ SI ค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ เพราะมันจะเป็นตัวบอกปริมาณในการเก็บความร้อน ส่วนการวัดพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อโมเลกุลก็มีหน่วยเป็นจูลเช่นเดียวกัน

3.2.2.1 สเกลของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature Scale)

มีการใช้งาน 2 สเกลด้วยกัน คือ สเกลเคลวิน (K) และสเกลแรงคิล (^{0}R) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$(1K) = \frac{180}{100}(1^0R) = \frac{9}{5}\ 1^0R$$

ดังนั้น การแปลงสเกล ก็จะกำหนดได้เป็น

$$T(K) = \frac{5}{9}\ T(^0R)$$

เมื่อ $T(K)$ = อุณหภูมิในหน่วย K

$T(^0R)$ = อุณหภูมิในหน่วย ^{0}R

3.2.2.2 สเกลอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Relative to Thermal Energy)

สเกลนี้คือสเกลขององศาเซลเซียส (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน) และองศาฟาเรนไฮต์ (สัมพันธ์กับองศาเคลวิน)

$$T(^0C) = T(K) - 273.15$$

$$T(^0F) = T(R) - 459.6$$

$$T(^0F) = \frac{9}{5}\ T(^0C) + 32$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน (Relative to Thermal Energy)

$$W_{TH} = \frac{3}{2} kT$$

เมื่อ $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K เป็นค่าคงที่ของโบลซ์มาน

3.3 อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน (Reference Temperature)

มาตราสากลของอุณหภูมิในทางปฏิบัติ (International Practical Temperature Scale) ได้ถูกกำหนดขึ้นโดยที่ประชุมของกลุ่มประเทศผู้นำทางอุตสาหกรรมในปี 1968 และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปเรียกโดยย่อว่า IPTS 68 ได้กำหนดจุดอ้างอิงมาตรฐานของอุณหภูมิ (Reference Temperature) เพิ่มเติมขึ้นอีกหลายจุดโดยกำหนดจากจุดเยือกแข็ง หรือจุดไตรภาค (triple point) ซึ่งเป็นจุดที่มีสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสารต่างๆ เพราะเมื่อวิทยาการเจริญมากขึ้น ความต้องการอุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) ณ จุดที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ หรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำก็มีมากขึ้น

IPTS 68 ได้กำหนดมาตราของอุณหภูมิของอุณหภูมิมาตรฐานขึ้น 2 มาตรา คือ เซลเซียส และเคลวิน

IPTS – 68 REFERENCE TEMPERATURE (จุดอ้างอิงอุณหภูมิมาตรฐาน IPTS 68)

EQUILIBRIUM POINT (จุดที่มีสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิ)	K	°C
จุดไตรภาคของไฮโดรเจน	13.81	- 259.34
จุดสมดุลในสภาวะก๊าซ และของเหลวของไฮโดรเจน ที่ความดัน 25/76 ของความดันบรรยากาศ	17.042	- 256.108
จุดเดือดของไฮโดรเจน	20.28	- 252.87
จุดเดือดของนีออน	27.102	- 246.048
จุดไตรภาคของออกซิเจน	54.361	- 218.789
จุดเดือดของออกซิเจน	90.188	- 182.962
จุดไตรภาคของน้ำบริสุทธิ์	273.16	0.01
จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์	373.15	100
จุดแข็งตัวของสังกะสี	692.73	419.58
จุดแข็งตัวของเงิน	1235.08	961.93
จุดแข็งตัวของทอง	1337.58	1064.43
จุดแข็งตัวของดีบุก	505.1181	231.9681

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของสาร ณ จุดต่างๆที่กล่าวมานี้จะใช้เป็นจุดอ้างอิงมาตรฐาน (references) ในการสอบเทียบค่าสากลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

3.4 หลักการวัดอุณหภูมิ

เครื่องวัดอุณหภูมิมีหลายชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอน และพิสูจน์ได้

ตารางที่ 3.1 แสดงหลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเชิงกล

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
-ใช้ของเหลวบรรจุในหลอดแก้วปิด (thermometer)	Δ อุณหภูมิ → เทอร์โมมิเตอร์ → Δ การขยายตัวของของเหลว	ปรอท แอลกอฮอล์	-130 ถึง 315 °C -200 ถึง 600 °F
-เปลี่ยนการขยายตัวเป็นความดัน (Filled Thermal)	Δ อุณหภูมิ → เทอร์โมมิเตอร์ → Δ ความดัน Filled Thermal → Δปริมาตร	ปรอท แอลกอฮอล์	-185 ถึง 540 °C -300 ถึง 1000°F
-แบบแถบโลหะคู่	Δ อุณหภูมิ → ตัววัด Bimetal → Δ ระยะทาง	INVAR-Ni+FE+Cr	-60 ถึง 425 °C -30 ถึง 800 °F

ตารางที่ 3.2 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เทอร์โมมิเตอร์	หลักการวัด	วัสดุที่ใช้	ช่วงการวัด
เทอร์คัปเปิ้ล	Δ อุณหภูมิ → เทอร์โมคัปเปิล → Δ แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แบบ B	600 ถึง +1700 °C
		แบบ S	0 ถึง +1600 °C
		แบบ R	0 ถึง +1600 °C
		แบบ K	-200 ถึง +1200 °C
		แบบ E	-200 ถึง +800 °C
		แบบ J	-200 ถึง +800 °C
		แบบ T	-200 ถึง +350 °C
อาร์ทีดี	Δ อุณหภูมิ → อาร์ทีดี → Δความต้านทาน	พลาตินัม Pt	-258 ถึง 900 °C
		นิเกิล	-150 ถึง 300 °C
		ทองแดง	-200 ถึง 120 °C
เทอร์มิสเตอร์	Δ อุณหภูมิ → เทอร์มิสเตอร์ → Δความต้านทาน	เทอร์มิสเตอร์	-30 ถึง 300 °C

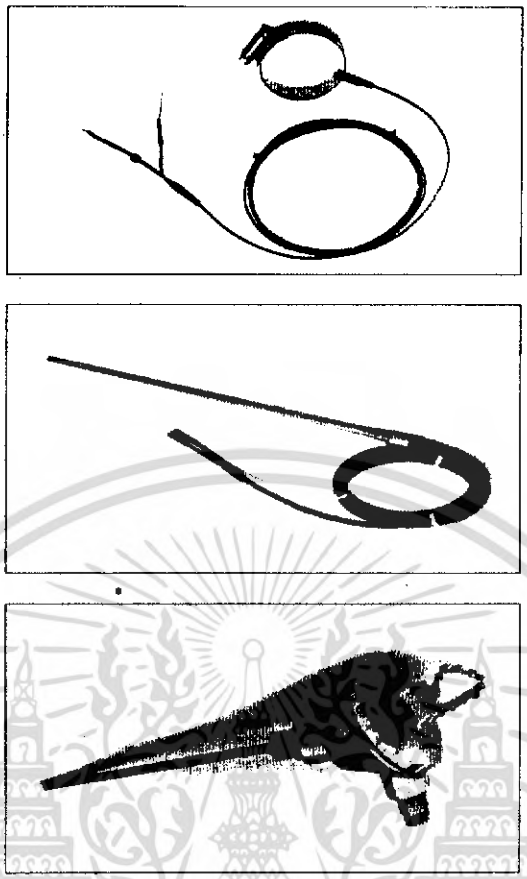
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อาร์ทีดี(RTD - Resistance Temperature Detectors)

ในปีเดียวกันกับที่ซีเบ็คค้นพบกฎของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (thermoelectric law) เซอร์ฮัมฟรีย์ เดวี ก็ค้นพบว่า ค่าความต้านทานของลวดโลหะก็จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอีก 50 ปีต่อมา เซอร์
วิลเลียม ซีเมนต์ ได้ทำการทดลองอย่างจริงจัง และพบว่า เส้นลวดพลาตินัมสามารถใช้เป็นตัวกลางวัดอุณหภูมิได้ และต่อมาได้กลายเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่แพร่หลายเช่นในปัจจุบัน ใช้เป็นเครื่องมาตรฐานสากลในการวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของออกซิเจน (-182.96 °C) ไปจนถึงจุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.74 °C)

ในช่วง 90 ปีที่ผ่านมาสถาบันและสมาคมหลายแห่งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาร์ทีดีได้กำหนดมาตรฐานต่างกันไป สมาคมเหล่านี้ได้แก่สมาคมผู้ผลิตเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ (SAMA) แห่งสหรัฐอเมริกา สถาบันมาตรฐานแห่งอังกฤษ (British Standard Institute), และสถาบันมาตรฐานแห่งเยอรมัน (Deutsches Institut für Normung e.V.'s) แต่ต่อมากลุ่มกำหนดมาตรฐาน IEC (IES standard groups) ได้กำหนด Calibration Curve ของอาร์ทีดีแบบพลาตินัมใหม่ และเป็นที่ยอมรับของสมาคมทั้งสามดังกล่าว ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 400 °C ค่าผิดพลาดไม่เกิน ±0.2 °C และที่ช่วงอุณหภูมิ 400 °C ถึง 600 °C ค่าผิดพลาดไม่เกิน ±0.5 °C กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่างๆ แกนในแนวตั้งจะบอกว่า ความต้านทานที่อุณหภูมิ T(R_t) จะมีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานที่ 0 °C ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึง 5 เท่าหรือมากกว่า อาร์ทีดีแบบพลาตินัมนับเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมมีค่ามาตรฐาน 100 โอห์ม ที่ 0 °C และเป็นแบบมาตรฐานแบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป หรือเรียกว่าแบบ Standard Platinum Resistance-Thermometers (SPRTs) ในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 600 °C ควรใช้อาร์ทีดีพลาตินัมแบบ 10 โอห์ม เพราะจะให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบต่างๆของ RTD

เราพบว่าความนำ (conductivity) ; σ ของโลหะใดๆ จะเป็นฟังก์ชันกับค่าของอุณหภูมิ ในทางกลับกันค่าความต้านทานจำเพาะ (resistivity) ซึ่งเป็นส่วนกลับของความนำ ก็จะเปลี่ยนแปลงเกือบเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิห้อง เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง และเงิน จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.4 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเคลวิน ซึ่งอาจจะแสดงค่าความนำของโลหะใดๆ ได้เป็น

$$\sigma = -\rho_e \mu_e$$

เมื่อ ρ_e = ความหนาแน่นของประจุอิเล็กตรอนอิสระมีค่าเป็นลบ

μ_e = ความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ของอิเล็กตรอน ; m/V.s

3.5.1 หลักการของอาร์ทีดี

ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ ดังนี้

$$R_t = R_o (1 + \alpha T) \text{ หรือ } dR/dT = \alpha R_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ t °C

R_o คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0 °C

α คือ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ 1 °C (Ω/ Ω/°C)(Temperature coefficient of resistance)

ซึ่งค่า α มีค่าเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น พลาตินัม 0.00392 Ω/ Ω/°C จากย่านอุณหภูมิ 0 °C ถึง 100 °C, นิเกิล 0.0063 Ω/ Ω/°C , ทองแดง 0.00425 Ω/ Ω/°C

ในทางปฏิบัติค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง (nonlinearity) ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอนสามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R_t = R_o (1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^4 + ...)$$

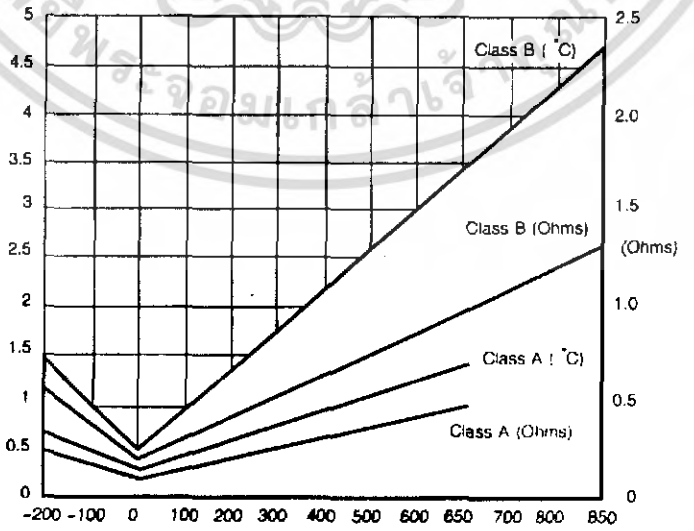
ค่า α, β และ γ ได้จากการทดลอง (empirical quantity) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น พลาตินัม

$\alpha = 3.985 \times 10^{-3}$

$\beta = -5.856 \times 10^{-7}$

$\gamma = 4.330 \times 10^{-10}$

สูตรสามารถใช้ได้ตลอดย่านการใช้งานที่ต้องการ accuracy สูง แต่โดยทั่วๆไป การคำนวณจะใช้สูตร $R_t = R_o (1 + \alpha T)$ โดยเลือกใช้ค่า α ตามตาราง



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความเผื่อคลาดเคลื่อนที่แปรตามอุณหภูมิ สำหรับ PT100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

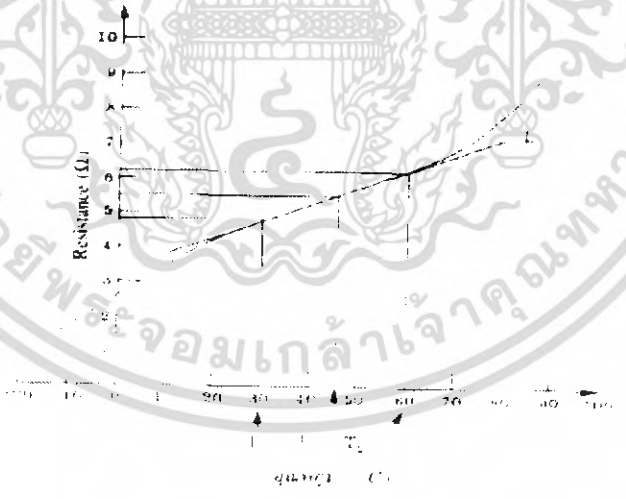
3.5.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ

3.5.2.1 ความต้านทานของโลหะกับอุณหภูมิ (Temperature Versus Resistance of Metallic)

โลหะเกิดจากการรวมอะตอมในสถานะของแข็ง ซึ่งในแต่ละอะตอมจะมีตำแหน่งการสั่นที่ซ้อนทับกันและพลังงานความร้อนจะสมดุลกัน คุณสมบัติที่สำคัญของโลหะอยู่ที่ว่าในแต่ละอะตอมจะมีอิเล็กตรอน 1 ตัว เรียกว่า " วาเลนซ์อิเล็กตรอน " (valance electron) ที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านวัตถุได้อย่างอิสระซึ่งกลายเป็นอิเล็กตรอนตัวนำ (conduction electron)

เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านวัตถุอะตอมแต่ละตัวจะเกิดการกระแทกกับอะตอมที่อยู่กับที่ (stationary atom) หรือโมเลกุลของวัตถุ
เป็นผลทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อะตอมก็จะสั่นและทำให้อิเล็กตรอนการนำสั่นด้วย ทำให้มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและมีการดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้น นั่นคือ ขณะนี้วัตถุดังกล่าวจะกลายเป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า และจะมีการสั่นสะเทือนมากขึ้นหากได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น

3.5.2.2 การประมาณค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ (Resistance Versus Temperature Approximation)



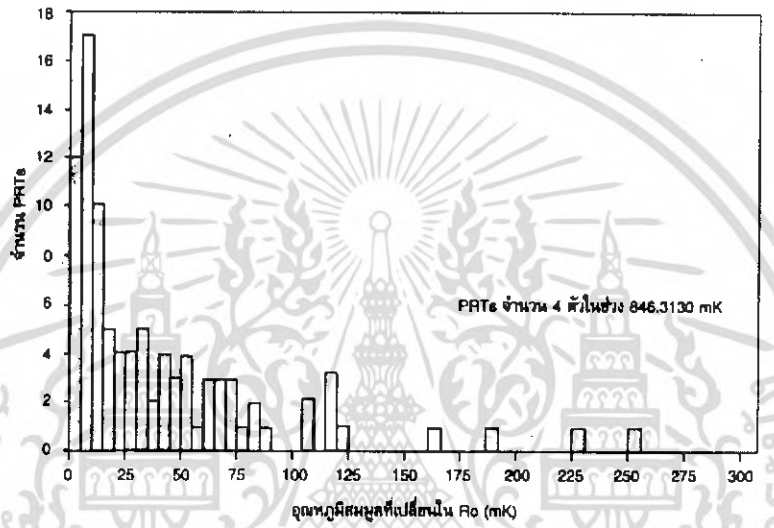
รูปที่ 3.4 เส้น L แสดงการประมาณค่าความต้านทานกับอุณหภูมิระหว่าง T_1และT_2

การประมาณค่าความเป็นเชิงเส้น (linear approximation) คือการหาค่าจากสมการเส้นตรงซึ่งพล็อตระหว่างค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิ (R-T curve) ในบางช่วงที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.3 ขีดจำกัดการใช้งาน

PRT ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้น มน้อยมากที่ใช้วัดอุณหภูมิสูงกว่า 660 °C ที่อุณหภูมิสูงกว่า 450 °C นั้นเป็นความยากในการป้องกันแพลตินัมให้บริสุทธิ์จากการเจือปนสารอื่นๆ จากปลอกโลหะของเทอร์โมมิเตอร์ การขึ้นลงของอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วก็จะนำไปสู่การเกิดความเครียด (strain) ของเส้นลวดและเพิ่มความแข็งตัวในเนื้อโลหะอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อันจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนคุณสมบัติของเทอร์โมมิเตอร์ขึ้น ช่วงอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น การเบี่ยงเบนก็จะยิ่งสูงขึ้นด้วยเหตุนี้ PRT จึงต้องการการสอบเทียบเป็นระยะๆ



กราฟแท่งของอุณหภูมิสมมูลที่เปลี่ยนสูงสุด ณ R_0 (0 °C) ระหว่างการวัดที่ 235 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 10 ครั้ง ในกลุ่มเทอร์โมมิเตอร์ IPRTs (Mangum (1984)) จำนวน 98 ตัว

รูปที่ 3.5 แสดงขีดจำกัดของ IRPT ต่อการแกว่งขึ้นลงของอุณหภูมิ

3.6 แหล่งกำเนิดความผิดพลาด

3.6.1 ความผิดพลาดอันเกิดจากกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี (Self heating)

อาร์ทีดีจำเป็นต้องมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงตัวมันเองอยู่จำนวนหนึ่ง ถ้ามีค่ามากขึ้นเอาท์พุตโวลท์เตจก็จะสูงขึ้น แต่กระแสจำนวนนี้ก็สร้างความร้อนขึ้นในตัวอาร์ทีดีเองด้วย

$$\text{พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น} = I^2R$$

เมื่อ I คือกระแสเลี้ยงอาร์ทีดี และ R คือค่าความต้านทานของอาร์ทีดี ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดค่ากระแสมิให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงเกินไป โดยปกติอาร์ทีดีแบบพลาตินัมจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้น ½ °C ต่อค่ากระแสเลี้ยง 1 mA ในบรรยากาศปกติ (ไม่มีการไหล) แต่ในสภาวะการใช้งานที่ต้องจุ่มลงไปในของเหลว ค่าความร้อนที่เกิดนี้จะกระจายลงสู่ของเหลว ทำให้ค่าผิดพลาดนี้ต่ำลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนในการไหล, ความหนาแน่นของตัวกลาง อาจลดลงถึง 1/5 เท่าของความผิดพลาดในบรรยากาศปกติ

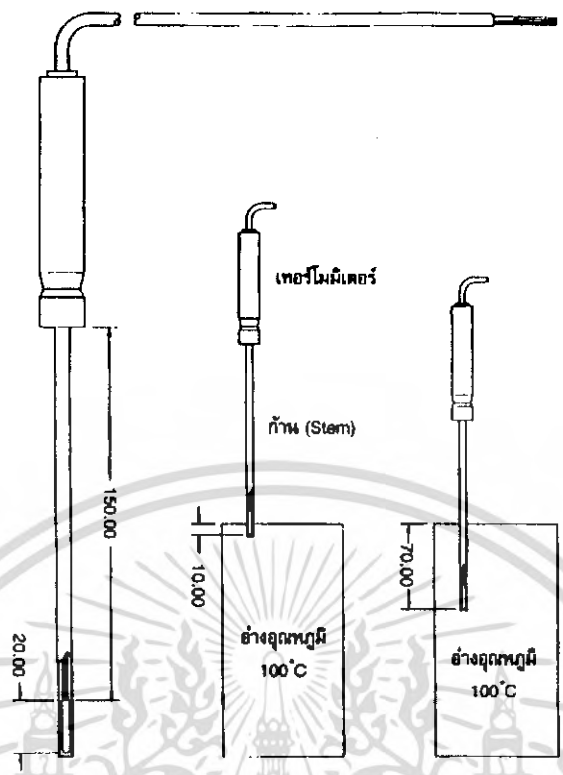
3.6.2 ความผิดพลาดจากการจุ่ม-การนำความร้อนของก้าน (Stem)

ตัววัดในการสอบเทียบ IPRT ความผิดพลาดจากการจุ่มหรือความผิดพลาดจากการนำความร้อนของก้านตัววัดนั้น เกิดจากการไหลของความร้อนตามตัวเทอร์โมมิเตอร์ ถ้าเทอร์โมมิเตอร์ถูกจุ่มในสิ่งที่ร้อนความร้อนจะไหลจากสิ่งนั้นสู่ตัวเทอร์โมมิเตอร์มาตามตัวปลอก ในทางกลับกันถ้าเทอร์โมมิเตอร์ถูกจุ่มในสิ่งที่เย็นกว่าสิ่งแวดล้อม ความร้อนจะไหลจากตัวปลอกเทอร์โมมิเตอร์สู่สิ่งที่ต้องการวัด ความต่างของอุณหภูมิตามก้านตัววัดนี้สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้

ในรูปด้านล่างจะแสดงถึงเทอร์โมมิเตอร์ที่มีตัววัดขนาด 20 มิลลิเมตร อยู่ภายในโดยเทอร์โมมิเตอร์ถูกจุ่มลึกเพียง 10 มิลลิเมตร และเห็นได้ชัดเจนว่าเทอร์โมมิเตอร์จะไม่สามารถมีอุณหภูมิสูงเท่ากับสิ่งที่วัด

สิ่งที่ต้องรู้คือ ความลึกที่เหมาะสมที่จะทำการจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ รวมทั้งคุณสมบัติของเทอร์โมมิเตอร์และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างก้านตัววัดกับสิ่งที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงความลึกในการจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในอ่างอุณหภูมิ

มีหลายวิธีการหรือหลายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ถูกแนะนำให้ใช้ในการคำนวณความผิดพลาด แต่ทว่าจำนวนตัวแปรหลายตัวที่เกี่ยวข้อง ทำให้ยากในทางปฏิบัติที่จะคำนวณความผิดพลาดได้ จากมุมมองเชิงปฏิบัติแล้ว การพยายามจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ให้ลึกที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะเป็นการดีกว่า ซึ่งสามารถทดลองได้โดยการดึงหรือถอนตัวเทอร์โมมิเตอร์ออกมาแล้วสังเกตว่ามีผลอย่างไร

มีข้อแนะนำสำหรับอ่างอุณหภูมิแห้งตามกฎหัวแม่มือ เทอร์โมมิเตอร์ควรจะถูกสอดเข้าไปในช่องของอ่างอุณหภูมิให้ลึกกว่า 15 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวเทอร์โมมิเตอร์

สำหรับการสอบเทียบ IPRT ในอ่างอุณหภูมิแบบแห้ง สิ่งนี้ดูเหมือนจะเป็นแหล่งพึงระวังต่อความผิดพลาด และจะมีผลกระทบต่อความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ และโชคไม่ดีที่ตัววัดในอุตสาหกรรมหลายชนิดถูกออกแบบโดยไม่คำนึงถึงการสอบเทียบ แหล่งกำเนิดความผิดพลาดอื่นๆจะถูกนำมาพิจารณาดังต่อไปนี้

72016
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 ความต้านทานของสายต่อ

เราจะพบว่า PRT ทั้งหลายจะเป็นอุปกรณ์ สองสาย แต่เมื่อสายขยายระยะวัด (Extension Wire) ถูกนำมาต่อกับตัววัด (Element) เพื่อให้เป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่สมบูรณ์นั้น อาจเป็นแบบ 2 สาย, 3 สาย หรือ 4 สาย

ตัววัดแบบมี 2 สายนั้นถ้าหลีกเลี่ยงการใช้ได้จะเป็นการดีที่สุด สายขยายระยะวัดจะกลายเป็นส่วนหนึ่งของเทอร์โมมิเตอร์ หากสายนี้ยิ่งยาวก็จะยิ่งเพิ่มความผิดพลาดมากขึ้น ซึ่งในสภาพนี้ความยาวทั้งหมดของสายก็จะเป็นตัววัดอุณหภูมิไปด้วย

ตัววัดแบบมี 3 สาย สามารถใช้หลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่เกิดจากสายขยายระยะวัดได้อย่างมาก ตัววัดชนิดนี้สามารถต่อได้โดยง่ายกับวงจรไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดค่าความต้านทานของสายไฟหักล้างกันเอง แต่อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดเล็กน้อยก็ยังคงมีอยู่ เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างค่าความต้านทานของสายแต่ละเส้น

การต่อสายวัดแบบ 4 สาย จะให้สมรรถนะดีที่สุด แต่ทว่าเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะไม่มีขั้วต่อสัญญาณสำหรับการต่อแบบ 4 สาย ในขณะที่เครื่องมือวัดสำหรับห้องปฏิบัติการจะมีขั้วให้ต่อ

3.6.4 ความล่าช้าทางอุณหภูมิ (Thermal Lag)

ความผิดพลาดเนื่องมาจากความล่าช้าทางอุณหภูมิ คือสิ่งที่เกิดจากความล่าช้าของเทอร์โมมิเตอร์ที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายแบบถูกสร้างขึ้นมาใช้ แต่ในทางปฏิบัตินั้น ค่าคงตัวเวลา (Time Constant) ของเทอร์โมมิเตอร์อุตสาหกรรมนั้นมักจะไม่ทราบค่า

สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งอยู่ในช่องที่ชิดสนิทของอ่างอุณหภูมิแบบแห้ง (ซึ่งมีอุณหภูมิที่เสถียรภาพดี) จะช่วยให้เทอร์โมมิเตอร์สามารถวัดได้ถึงค่าอุณหภูมิสุดท้ายภายในเวลา 2 นาที ผู้เขียนขอแนะนำวิธีง่ายๆ คือ ให้สังเกตเพื่อยืนยันสิ่งนี้กับตัววัดใหม่หรือตัววัดที่ไม่รู้จักมาก่อน

3.6.5 ความจุความร้อน (Thermal Capacity)

เมื่อเสียบเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในช่องของอ่างอุณหภูมิแบบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทเข้าสู่ตัวเทอร์โมมิเตอร์ หรือออกจากตัวเทอร์โมมิเตอร์ ภาระทางความร้อนของอ่างอุณหภูมินี้อาจทำให้อุณหภูมิของอ่างเปลี่ยนไป ถึงแม้จะมีตัวควบคุมอุณหภูมิที่จะทำการปรับชดเชยอุณหภูมิก็ตาม

กรณีการใช้อ่างอุณหภูมิแบบแห้งของ Isotech วิธีการที่แนะนำคือ การใช้เทอร์โมมิเตอร์ภายนอกมาวัดอุณหภูมิที่ช่องสอดอีกช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางอุดมคติแล้ว ความจุความร้อนของอ่างอุณหภูมิควรจะถือว่าใหญ่เมื่อเทียบกับความจุความร้อนของตัวเทอร์โมมิเตอร์ แม้จะไม่ทุกกรณีแต่ก็ใช้ได้กับเทอร์โมมิเตอร์อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ นอกจากหัววัดขนาดใหญ่

3.6.6 ความร้อนเกิดจากตัวเอง (Self Heating)

การวัดค่าความต้านทานของ PRT นั้น กระแสไฟฟ้าจะต้องไหลผ่านตัววัด ผลลัพธ์จะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นด้วยค่า I^2R ที่มักจะถูกเตือนให้คำนึงถึง แต่ในทางปฏิบัติในเทอร์โมมิเตอร์อุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องมือวัดที่ทันสมัยแล้ว มักจะไม่เกิดความผิดพลาดมากพอที่จะเป็นผลกระทบเป็นนัยสำคัญ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการวัดตามมาตรฐานทั่วไปจะเป็น 1 mA (หนึ่งมิลลิแอมป์) แต่เครื่องมือวัดสมัยใหม่มักจะใช้กระแสไฟต่ำกว่านี้มากซึ่งจะทำให้ลดความผิดพลาดจากการเกิดความร้อนที่ตัววัดเอง แต่ก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นในส่วนที่เกิดจากผลของค่าไฟฟ้าความร้อน (Thermoelectric)

สำหรับผู้ใช้ SPRT ในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องให้ความสนใจในการขจัดความผิดพลาดที่เกิดจากความร้อนในตัววัดเอง

3.6.7 ความผิดพลาดกระแสไฟฟ้าตรง (DC Error)

แรงดันไฟฟ้าตรง (DC Voltage) ขนาดเล็กนี้อาจเกิดขึ้นจากตัว PRT อันเนื่องมาจากผลของไฟฟ้าความร้อน (Thermoelectric) ที่เกิดจากการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดกันในโครงสร้างของ PRT

ตัวอย่างเช่น การต่อลวดทองแดงกับพลาตินัม สามารถก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 6 ถึง 8 ไมโครโวลท์ ต่อ °C ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้สามารถก่อให้เกิดความผิดพลาดในเครื่องวัดที่ใช้ร่วมกับระบบวัดได้ ถึงแม้เครื่องวัดของห้องปฏิบัติการจะใช้เทคนิคการวัดที่จะขจัดความผิดพลาดชนิดนี้แล้วก็ตาม

3.7 โครงสร้างของอาร์ทีดี

กายในปลอกหุ้มจะประกอบด้วยตัววัด ซึ่งมีโครงสร้างหลายแบบ แต่เมื่อจัดเป็นกลุ่มใหญ่ๆ จะได้ 2 แบบ คือ เทอร์โมมิเตอร์แบบแผ่นฟิล์ม และ เทอร์โมมิเตอร์แบบขดลวด

เทอร์โมมิเตอร์แบแผ่นฟิล์ม จะประกอบด้วยชั้นของแพลตินัมที่วางอยู่บนฐานรองโดยที่ชั้นของแพลตินัมนี้อาจบางมากถึง 1 ไมครอนจึงทำให้ตัววัดชนิดนี้สามารถวัดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งโดยทั่วไปจะน้อยกว่า 1 วินาที

สำหรับเทอร์โมมิเตอร์แบบขดลวดนั้น โดยทั่วไปจะให้ความเที่ยงตรงที่ดีกว่าแบบแรก เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้มีวิธีสร้างหลายวิธี แต่โดยทั่วไปจะยึดหลักในการประกอบระหว่างความแข็งแรงกับความสามารถในการคืนตัวใหม่ (Reproducibility) ถ้าขดลวดพลาตินัมขนาดเล็กมากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกพันและยึดอย่างเต็มที่ก็จะเกิดความเครียด (strained) ขึ้น ในขณะที่เกิดการขยายตัวหรือหดตัวตามการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของอุณหภูมิ แต่ถ้าไม่ยึดให้ดี การสั่นสะเทือนและการกระแทกก็สามารถเป็นเหตุให้ขดลวดเส้นเล็กๆเหล่านี้เคลื่อนมาสัมผัสกัน ทำให้ผลของการวัดผิดไปได้ โดยปกติขดลวดมักจะถูกยึดเป็นบางส่วนหรือหุ้มใส่ด้วยแก้ว

เทอร์โมมิเตอร์พื้นฐานส่วนใหญ่จะมีค่าความต้านทาน 100 โอห์ม ที่ 0 °C โดยที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปประมาณ 0.4 โอห์มต่อ °C

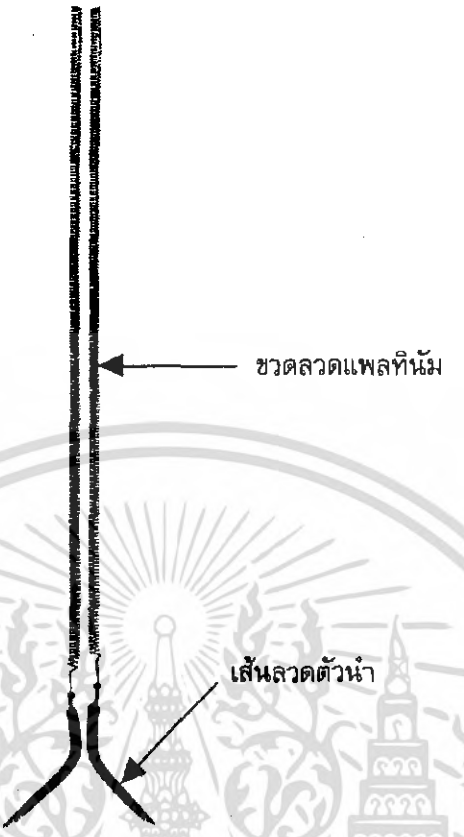
สำหรับความยาวของตัววัดนั้นสามารถเลือกขนาดได้ตั้งแต่ 6 ถึง 65 มิลลิเมตร โดยแต่ละขนาดจะมีความสำคัญต่อการสอบเทียบ

เทอร์โมมิเตอร์แบบ PRT นี้ โดยปกติทั่วไป หากใช้วัดอุณหภูมิช่วงต่ำกว่า 450 °C จะถูกสร้างไว้ในปลอกหุ้มที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิม หรือที่เรียกว่า สเตนเลสสตีล (Stainless Steel)

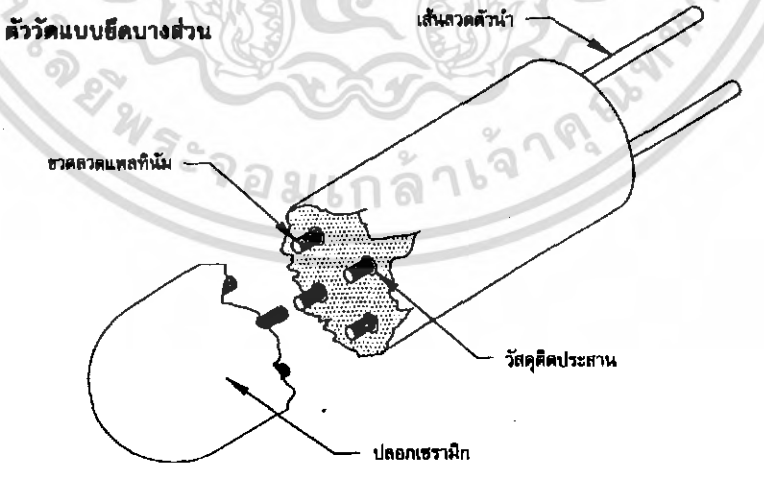
เทอร์โมมิเตอร์แบบปลอกเหล็กไร้สนิมนี้ ดูภายนอกแล้วแข็งแรง ทนทาน แต่ก็ควรจะถือจับด้วยความระมัดระวังเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งร้อนมากนั้นไม่ควรขยับเขยื้อหากเป็นไปได้ซึ่งเป็นไปตามกฎหัวแม่มืออย่างง่ายที่ว่า เทอร์โมมิเตอร์ไม่ควรถูกเคลื่อนย้ายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 450 °C เนื่องจากกลไกการนำความร้อน (Conduction Mechanism) สามารถถูกรบกวนได้ถ้าเกิดการเย็นตัวลงเร็วจนเกินไป

อาร์ทีดีทำด้วยขดลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0 °C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิค หรือแก้ว เช่น อลูมินาบริสุทธิ์, สารที่เจือปนอยู่ (impurity) เช่น ซิลิกาจะทำให้เส้นลวดความต้านทานสกปรก (contaminate) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิตคือ ขณะใช้งานขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, ความสั่นสะเทือนได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัว, เมื่อเย็นลงจะหดตัว แกนที่ใช้พันจะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดจะทำขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการอบร้อนคลายความเครียดที่มีอยู่ในขดลวด (stress relieve) ด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สภาพภายนอกของอาร์ทีดีเหมือนเทอร์โมคัปเปิ้ล อาร์ทีดีจะถูกบรรจุอยู่ใน sheath (ฝักโลหะ) ตามรูปเป็นภาพตัดและขยายให้เห็นส่วนประกอบของอาร์ทีดี ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรง (sensitive portion) อยู่ตรงส่วนปลายของ sheath อาจยาวถึง 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ของขดลวด การเลือก metal sheath ฉนวน, เทอร์โมเลล์ เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

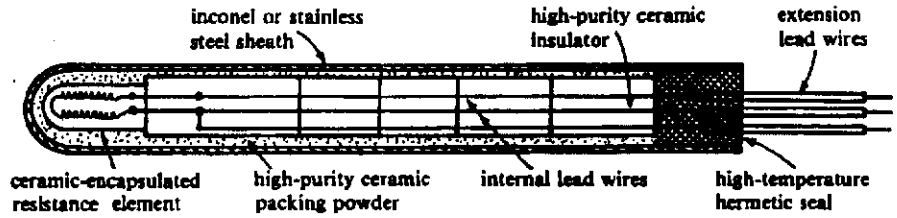


รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่าย X-ray ขยายให้เห็นขดลวดพลาตินัม

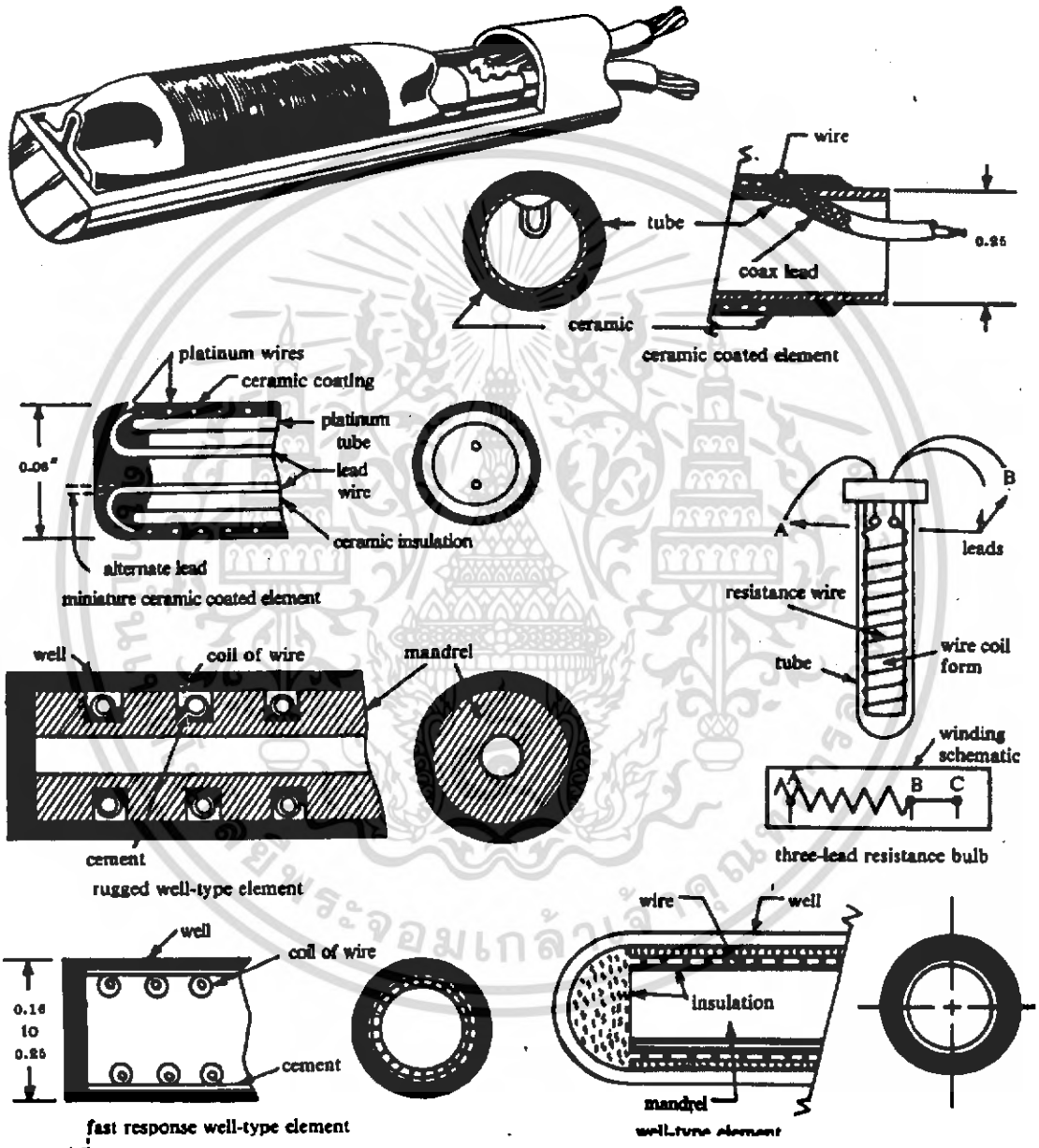


รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบของตัววัดอุณหภูมิแบบ PRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



platinum industrial resistance thermometer assembly.



รูปที่ 3.9 แสดง RTD element are fabricated to minimize the effects of mechanical shock.

(courtesy of Rosemont, inc.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 คุณลักษณะของอาร์ทีดี (Characteristic of RTD)

1. ความไว (Sensitivity) ความไวของอาร์ทีดีหาได้จากค่าของ α_0 พบว่าแพลทินัมจะมีค่า $\alpha = 0.00385\,\Omega/\Omega/^0C$ (ประมาณ 0.004 $/\,^0C$) ดังนั้น สำหรับแพลทินัมอาร์ทีดีแบบ 100 Ω จึงเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเพียง $0.4\,\Omega$ เท่านั้น หากอุณหภูมิเปลี่ยนไป $100\,^0C$

2. ผลตอบสนองต่อเวลา (Response Time) เวลาในการตอบสนองของอาร์ทีดีเกิดจากการนำความร้อน โดยทั่วไปเวลาคงที่จะกำหนดโดยสภาวะอากาศอิสระ (หรือสภาวะใดๆ ที่สมมูลกัน) หากว่าหากมันอยู่ในฝักป้องกัน (sheath) มันจะสัมผัสความร้อนได้ไม่ดีจึงทำให้ได้ผลตอบสนองต่อเวลาช้า

3. โครงสร้าง (Construction) แน่นอนว่าอาร์ทีดีที่มีความยาวของสายมาก จะทำให้ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิมาก

4. การปรับสภาพสัญญาณ (Sine Conditioning)

5. ค่าคงที่ในการสูญเสีย (Dissipation Constant)

6. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านประสิทธิผลการใช้งานของอาร์ทีดีจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ พบว่า อาร์ทีดีแบบแพลทินัมจะมีย่านใช้งานจาก $-100\,^0C$ ถึง $650\,^0C$ ในขณะที่อาร์ทีดีที่ทำจากนิกเกิลจะมีช่วงใช้งานจาก $-180\,^0C$ ถึง $300\,^0C$

ข้อควรจำในการวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดี

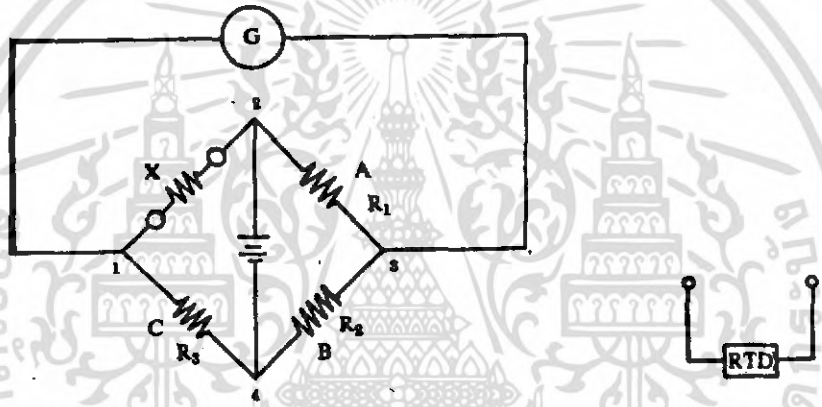
1. ต้องมีการชีลด์สายและเดินสายบิดเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน
2. อาร์ทีดีมีความเปราะบาง จึงต้องป้องกันและระวังการใช้งาน
3. เนื่องจากที่อาร์ทีดีไม่สามารถกำเนิดพลังได้เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล จึงทำให้มีกระแสไหลผ่านและเกิดผลของความร้อนจูล (I^2R) กับตัวมันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรต่อใช้งานของอาร์ทีดี

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี คือ "วีทสโตน บริดจ์" ให้ "X" คือตัวอาร์ทีดีซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดซึ่งต้องการวัดอุณหภูมิ รีซิสเตอร์ประกอบอีก 3 ตัวคือ A, B และ C ที่ใช้เป็นเป็นแบบที่มีความถูกต้องสูง, ค่า drift ต่ำมาก (การเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อบรรยากาศเปลี่ยน)

- วงจรบริดจ์นี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่ออาร์ทีดีอยู่ในอุณหภูมิ 0 °C ซึ่งจะทำให้อัตราส่วน X/C = A/B กัลวาโนมิเตอร์จะชี้ที่ 0 °C วงจรนี้ใช้ได้เมื่อตัวทรานสมิตเตอร์อยู่ใกล้กับตัวอาร์ทีดีมากๆเท่านั้น เพราะถ้าสายยาว ค่าความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของสาย ค่าผิดพลาดนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของสายตัวนำจากอาร์ทีดี และอุณหภูมิของสายตัวนำนี้ ถ้ามีค่ามากขึ้นความผิดพลาดจะสูงขึ้น วงจรแบบสองสายจึงเหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงนัก



รูปที่ 3.10 แสดงการต่ออาร์ทีดีแบบ 2 สาย

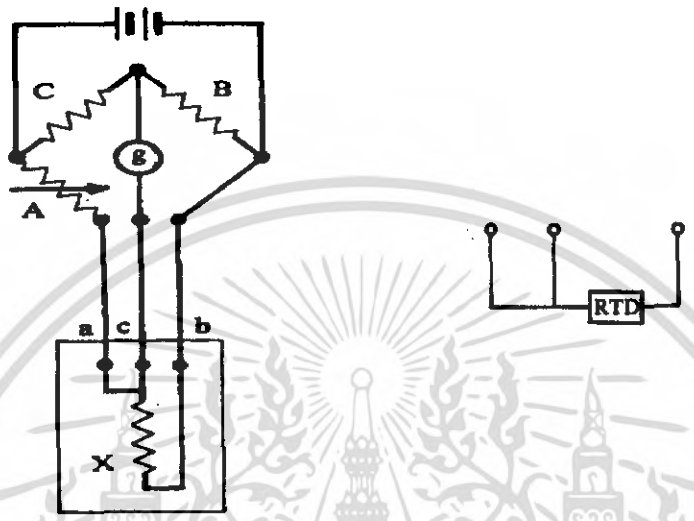
- วงจรการต่ออาร์ทีดีแบบ 3 สายเป็นแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงงการอุสาหกรรมทั่วไป สายทั้งสาม a, b และ c จากอาร์ทีดีที่ต่อเข้าวงจรบริดจ์จะต้องมีขนาด, ความยาวเท่ากัน และอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอด เพื่อให้ค่าความต้านทานของสายทั้งสามเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

$$X = A(C/B) \text{ ให้ } B = C$$

ปกติจะออกแบบให้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก a = b = c, X + b จึงเท่ากับ A+ a ค่าอุณหภูมิของการวัดจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี "X" เพียงตัวเดียว วงจรการวัดแบบ 3 สายนี้เป็นแบบที่ให้ความถูกต้องสูง เหมาะกับการใช้งานทั่วไป

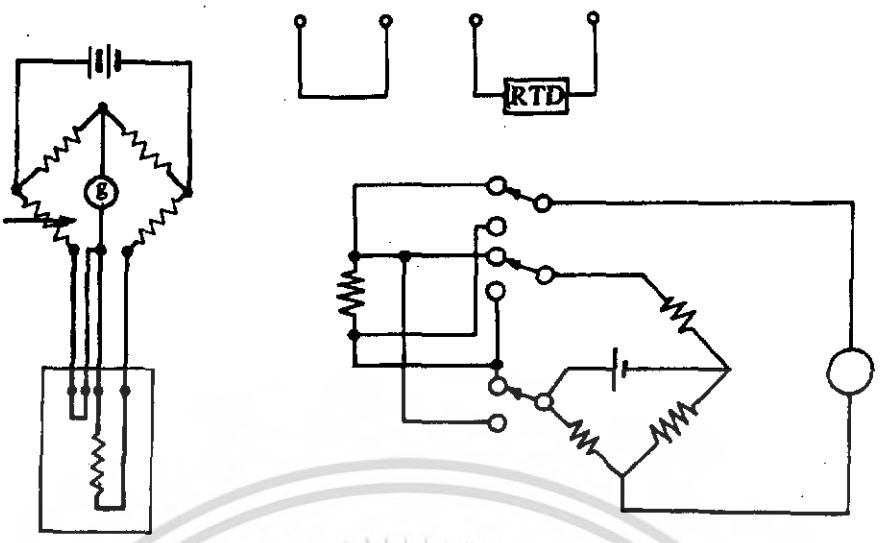


รูปที่ 3.11 แสดงรูปการต่ออาร์ทีดีแบบ 3 สาย

- วงจรการวัดแบบ 4 สาย แบบแรกเป็นแบบที่เลื่อนจุดต่อของบริดจ์ (bridge point) ไปอยู่ภายนอก สายที่ต่อจากอาร์ทีดีทั้ง 4 เส้นจะต้องมีขนาด, ความยาว และอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนวงจรการวัดแบบ 3 สาย แต่วิธีนี้ให้ความถูกต้องสูงกว่า

วงจรการวัดแบบ 4 สายแบบที่สอง ใช้ในกรณีที่ต้องการความถูกต้องสูงที่สุด ต้องการทราบค่าอุณหภูมิเป็นจุดๆ ไม่ต้องการวัดค่าแบบต่อเนื่อง เช่นในห้องปฏิบัติการ ลักษณะการต่อวงจรเป็นแบบ 3 สาย มีสวิตช์สำหรับโยกสลับสายเพื่อหา ค่าเฉลี่ย ในการวัดครั้งหนึ่งๆ ต้องทำการอ่านค่า 2 ครั้งตามตำแหน่งสวิตช์ ค่าความต้านทานของอาร์ทีดีเป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ทั้ง 2 ครั้ง ดพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากวิธีการวัดแบบ 3 สาย เนื่องจากค่าความต้านทานของสายอาจไม่เท่ากันได้ เช่น ตำแหน่งบนอ่านได้ 250.17 °C และตำแหน่งล่างอ่านได้ 250.16 °C ค่าที่บันทึก 250.165 °C เป็นต้น สิ่งที่ต้องระมัดระวังในการวัดด้วยวิธีนี้คือ จุดต่อหรือหน้าคอนแทคทุกจุดจะต้องมั่นใจว่าแน่นสนิท สะอาดปราศจากออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แน่นอน และกัลวาโนมิเตอร์ที่ใช้จะต้องเป็นแบบอิมพีแดนซ์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 12 แสดงรูปการต่ออาร์ทีดีแบบ 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

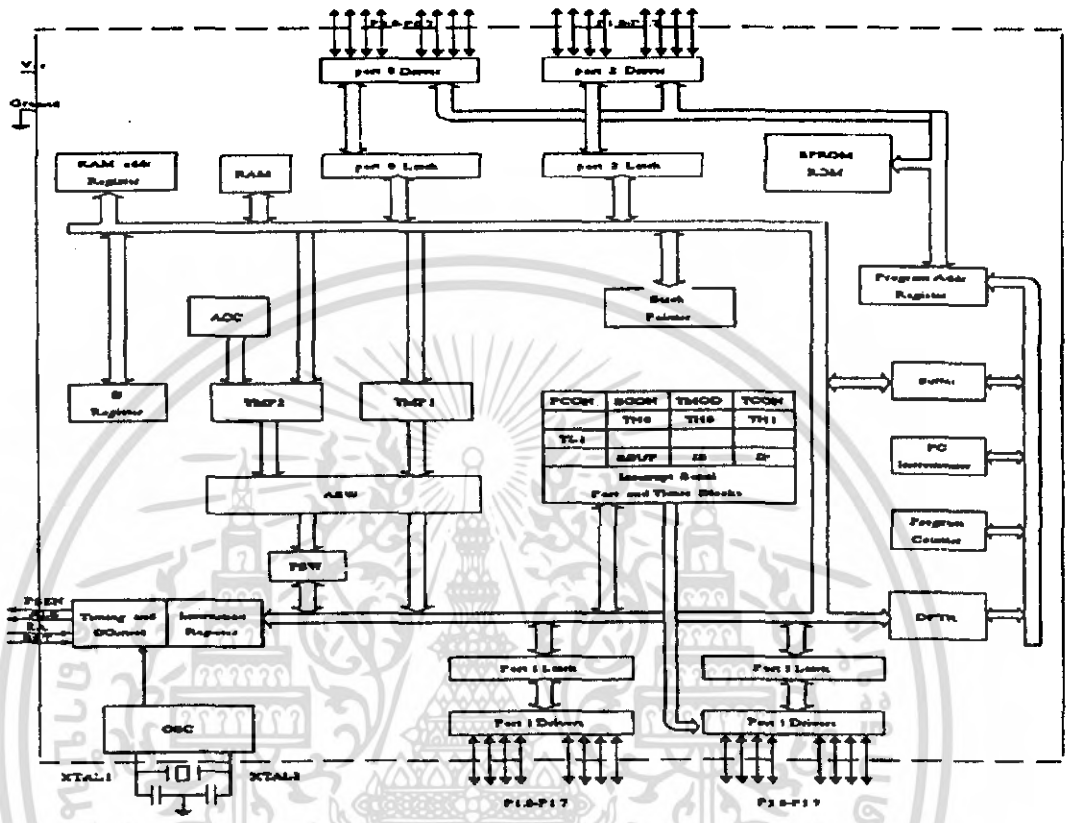
MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวที่มีข้อดีเมื่อเทียบกับไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิตตระกูลอื่นดังนี้

- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) บรรจุไว้ภายใน 128-256 ไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในจำนวน 4 กิโลไบต์
- มีวงจรตั้งเวลาวงจรนับขนาด 16 บิต 2 ตัว อยู่ภายใน
- มีวงจรรับส่งข้อมูลอนุกรมได้ 2 ทิศทาง
- มีสัญญาณนาฬิกาภายในตัว
- มีพอร์ทที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทางจำนวน 4 พอร์ทๆ ละ 8 บิตนอกจากนี้ MCS-51 ยังมีคุณสมบัติอื่นๆที่น่าสนใจ
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิป
- สามารถใช้หน่วยความจำ สำหรับโปรแกรม และข้อมูลที่อยู่ภายในชิปได้อย่างละ64 กิโลไบต์
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราความเร็วในการรับและส่งข้มูลได้ตั้งแต่ 300 – 375 กิโลบิตต่อวินาที
- สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้ในงานควบคุมโดยเฉพาะ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิปหรือ นับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต2 ตัวเพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิตเพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและการควบคุมระบบงานทำได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

โครงสร้างภายในชิป ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ชิปเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งอธิบายถึงส่วนย่อยๆ ภายใน 8051



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์

ขาใช้งานต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

- V_{cc} ขา 40 เป็นขาที่ต้องป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลท์ เข้าไปเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้

- V_{ss} ขา 20 เป็นขาที่ต้องต่อกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ

- RST ขา 9 ขารีเซตนี้จะรีเซตการทำงานของ 8051 ถ้าป้อนสัญญาณที่มีสถาวะลอจิก 1 ที่ ขานี้จะเป็นการรีเซตการทำงาน กลับไปเริ่มการทำงานจากคำสั่งที่อยู่ในหน่วยความตำแหน่ง 0000

- ALE ขา 30 ใช้เป็นขาส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าตำแหน่งไบต์ต่ำจากพอร์ท 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก

- PSEN ขา 29 ใช้ส่งสัญญาณเพื่ออ่านคำสั่ง จากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่อยความจำภายนอกชิป

- XTAL1 ขา 19 ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **XTAL2 ขา 18 ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาท์พุตออกจากวงจรออสซิเลเตอร์**

- **PORT 0 เป็นพอร์ทขนาด 8 บิตอยู่ที่ขา 39 ถึง 32 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ พอร์ท 0 นี้ ใช้ได้ทั้งการรับตำแหน่งและข้อมูลกับหน่วยความจำหรือใช้รับส่งข้อมูลก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้งานหลายอย่างได้ดังนี้**

1. **ใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อด้วย โดย 8 บิตล่างถูกส่งออกไปทางพอร์ท 0 และ 8 บิตบนถูกส่งออกทางพอร์ท 2**
2. **ใช้รับส่งข้อมูลกับ Data Memory หรือใช้รับข้อมูลจาก Program Memory**
3. **ใช้รับส่งข้อมูลออกจากพอร์ทโดยตรง**

- **PORT 1 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 1 ถึง 8 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับ ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวรับส่งข้อมูลเท่านั้น ไม่สามารถส่งตำแหน่งได้**

- **PORT 2 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 21 ถึง 28 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับใช้งานเพียง 2 ลักษณะ คือ**

1. **ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอก ที่ต้องการติดต่อทำงานร่วมกับพอร์ท0**
2. **ใช้เป็นพอร์ทรับส่งข้อมูลกับภายนอก**

- **PORT 3 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 10 ถึง 17 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับนอกจากจะใช้วานเหมือนพอร์ทอื่นๆ แล้วยังใช้งานอื่นโดยใช้คำสั่งควบคุม ดังนี้**

P3.0 (RxD) เป็นขาที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1 (TxD) เป็นขาที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.2 (INTO) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3 (INT1) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายใน

P3.4 (TO) ใช้เป็นขารับสัญญาณให้เคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 0

P3.5 (T1) ใช้เป็นขารับสัญญาณให้เคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 1

P3.6 (WR) ใช้เป็นขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูล ไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

P3.7 (RD) ใช้เป็นขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูล ไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

พอร์ท 3 ของ MCS – 51 ถูกใช้เป็นพอร์ทอนุกรม จะใช้ขา TxD และ RxD ในการรับส่งข้อมูลโดยขาทั้งสองจะอยู่ในพอร์ท 3 คือ P3.1 หรือขา 11 เป็น TxD และ P3.0 หรือขา 10 เป็น RxD พอร์ทอนุกรม MCS-51 สามารถทำงานเป็นแบบ Full Duplex ได้ คือสามารถรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ โดยมีการรับและส่งข้อมูลแบบบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลคือ SBUF และ SCON ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่อยู่ใน Special Function Register โดยรีจิสเตอร์ Serial Port Buffer (SBUF) จะอยู่ในตำแน่ง 99H ถ้าเขียนข้อมูลลงไปในตำแหน่งนี้จะเป็นการส่งข้อมูลออกทางพอร์ทอนุกรม และถ้าอ่านข้อมูลจากตำแหน่งนี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ทอนุกรม โดยใน SBUF จะประกอบด้วยบัฟเฟอร์ 2 ตัว สำหรับส่งและรับข้อมูล

สำหรับ Serial Port Control Register (SCON) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 98H จะเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุม และบอกสถานะต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

สำหรับความเร็วของการส่งข้อมูล (Baud Rate) สามารถหาได้จากการหาสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับ MCS-51

ตารางที่ 4.1 Serial Port Control Register

บิต	ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
SCON.7	SM0	9FH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 0
SCON.6	SM1	9EH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 1
SCON.5	SM2	9DH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 2
SCON.4	REN	9CH	บิตแฟลกกำหนดยอมให้มีการรับข้อมูล
SCON.3	TB8	9BH	ค่าของบิต 9 สำหรับส่งข้อมูลในโหมด 2 และ 3 สามารถเซตและเคลียร์ได้โดยซอฟแวร์
SCON.2	RB8	9AH	ค่าของบิต 9 เมื่อรับข้อมูลเข้ามา
SCON.1	TI	99H	บิตแฟลกแสดงการอินเตอร์รัพท์ภายหลังการส่งข้อมูลออกไป โดยจะเซตเมื่อส่งข้อมูลออกไปหมดแล้ว และสามารถเคลียร์ได้โดยซอฟแวร์
SCON.0	RI	98H	แฟลกแสดงการอินเตอร์รัพท์ภายหลังรับข้อมูลเข้ามา สามารถเคลียร์ได้โดยซอฟแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงโหมดต่างๆของการรับส่งแบบอนุกรม

SM0	SM1	MODE	ความหมาย	Band Rate
0	0	0	Shift Register	เปลี่ยนแปลงไม่ได้ (Oscillator Frequency)
0	1	1	8-bit UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยกำหนดจากไทม์เมอร์
1	0	2	9-bit UART	เปลี่ยนแปลงไม่ได้ (Oscillator Frequency/12 หรือ /64)
1	1	3	9-bit UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยกำหนดจากไทม์เมอร์

4.1.2 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล มีรีจิสเตอร์พิเศษที่สามารถเลือกใช้งานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง รีจิสเตอร์ประเภทนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ตัว แต่ละตัวขนาด 16 บิต เรียกไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ

- ไทม์เมอร์นั้น ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มขึ้นทุกแมชชีนไซเคิล

- เคาน์เตอร์นั้น ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นเคาน์เตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทีละ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ

ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1

สามารถเลือกการทำงานให้เป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์ได้โดยการกำหนดค่าบิตในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ โดยหากบิตนี้มีค่าเป็น 0 หมายถึงเลือกใช้งานเป็นไทม์เมอร์ ถ้าบิตนี้เป็น 1 หมายถึงเลือกใช้งานเป็นเคาน์เตอร์

นอกจากจะเลือกการทำงานของรีจิสเตอร์ให้เป็นไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์ได้แล้วในแต่ละการทำงานยังมีการทำงานย่อยอยู่อีก 4 แบบ ตามความเหมาะสมของการใช้งาน

โหมด 0 จะใช้รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตเป็นตัวนับโดยมีการเพิ่มค่าครั้งละ 1 ทุกครั้งนับสัญญาณได้ครบ 32 ครั้ง โดยในโหมดนี้รีจิสเตอร์ที่ใช้นับเพียง 13 บิต (8 บิตในรีจิสเตอร์ TLx รวมกับ 5 บิตใน THx)

โหมด 1 การทำงานเหมือนกับโหมด 0 เว้นแต่ค่าในรีจิสเตอร์ถูกใช้งานครบทั้ง 16 บิตนั่นเอง คือไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ในโหมดนี้ขนาด 16 บิต

โหมด 2 ในโหมดนี้จะกำหนดรีจิสเตอร์ใช้งานในการนับเพียง 8 บิต (จากรีจิสเตอร์ TLx) ที่มีการโหลดค่าด้วยค่าในรีจิสเตอร์ THx การใช้งานโหมดนี้มีไว้เพื่อสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพต์ที่มีคาบเวลาคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 3 ในโหมดนี้ไทม์เมอร์ 1 จะไม่มีการนับแต่ไทม์เมอร์จะบังคับให้รีจิสเตอร์ TL0 ของไทม์เมอร์ 0 ถูกใช้เป็นไทม์เมอร์เพียงอย่างเดียว การทำงานโหมด 3 มีไว้เพื่อใช้งานที่ต้องการไทม์เมอร์ หรือเคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Timer 0

โหมด	ฟังก์ชั่นไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	00H	08H
1	16 bit Timer	01H	09H
2	8 bit Auto Reload	02H	0AH
3	Two 8 bit Counter	03H	0BH

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Counter 0

โหมด	ฟังก์ชั่นไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	04H	0CH
1	16 bit Timer	05H	0DH
2	8 bit Auto Reload	06H	0EH
3	Two 8 bit Counter	07H	0FH

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Timer 1

โหมด	ฟังก์ชั่นไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	00H	80H
1	16 bit Timer	10H	90H
2	8 bit Auto Reload	20H	A0H
3	Two 8 bit Counter	30H	B0H

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆสำหรับ Counter 1

โหมด	ฟังก์ชั่นไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	40H	C0H
1	16 bit Timer	50H	D0H
2	8 bit Auto Reload	60H	E0H
3	Two 8 bit Counter	--	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปใน MCS-51

รีจิสเตอร์ A,B และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิฟบริเวณ 128 ไบต์แรก รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยรีจิสเตอร์จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นริจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใดๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม (R0-R7) จะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่มกระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

4.1.4 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษใน MCS-51

ใน MCS-51 รีจิสเตอร์จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิป โดยส่วนหนึ่งเป็นรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register : SFR) ซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยรีจิสเตอร์พิเศษต่างๆ จะเริ่มที่หน่วยความจำตั้งแต่ 80 H ถึง FFH ซึ่งมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่จะเป็นรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษเพียง 21 ตำแหน่ง แต่ถ้าเป็น 8032/8051 จะใช้ 26 ตำแหน่ง หรือมี SFR 26 ตัว

ตารางที่ 4.7 รีจิสเตอร์ใช้เฉพาะ PSW (Program Status Word) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต

	ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
PSW.7	CY	D7H	Carry Flag
PSW.6	AC	D6H	Auxiliary Flag
PSW.5	F0	D5H	Flag 0
PSW.4	RS1	D4H	บิตสำหรับเลือก รีจิสเตอร์ แบงค์ 1
PSW.3	RS0	D3H	บิตสำหรับเลือก รีจิสเตอร์ แบงค์ 0
			00 = Bank 0 ; Address 00H – 07H 01 = Bank 1 ; Address 08H – 0FH 10 = Bank 2 ; Address 10H – 17H 11 = Bank 3 ; Address 18H – 1FH
PSW.2	0V	D2H	Overflow Flag
PSW.1	-	D1H	Reserved
PSW.0	P	D0H	Even Parity Flag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว(LCD)

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนดังนี้

ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปที่นิยมใช้ คือ เบอร์ HD44780 และเบอร์ HD61830 โดยเบอร์ HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักขระ ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

4.2.1 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (LCD 16x2)

สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการทดลองเป็นขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก หาง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LM020L ของฮิตาชิ, DMC-16117A ของออปเทร็กซ์ (Optrex) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ คือ เบอร์เดียวกันนั่นคือ เบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ

โมดูล LCD ขนาด 16x2 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาดังรูปสำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

VSS (ขา1) : ต่อลงกราวด์

VDD(ขา2) : ต่อไฟเลี้ยง +5 โวลท์

VO (ขา3) : เป็นขาอินพุทรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา4) : เป็นขาอินพุทใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยที่ขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขานี้เป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือการเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเนเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา7) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต

อนึ่ง RS, R/W และ E จะใช้งานร่วมกัน โดยมีความสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่นอนว่าจะต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น "0" แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่งดังนี้

4.2.2.1 คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear Display)

มีข้อมูลเป็น 01H เป็นคำสั่งใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น "0" เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น "1"

4.2.2.2 คำสั่ง Return Home

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น "1" เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

4.2.2.3 คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry Mode Set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูลแต่ถ้าหากบิต S เป็น "1" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางด้านซ้ายมือ แต่หากบิต S นี้เป็น "0" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางด้านขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น "0" แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้นข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H – 07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้บ่อย คือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางด้านขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

4.2.2.4 คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	D	C	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น "0" จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีตัวเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผลต้องกำหนดบิตนี้ให้เป็น "1" ถ้ากำหนดให้เป็น "0" จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น "1" เคอร์เซอร์จะกระพริบ

ดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H – 0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผลแต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

4.2.2.5 คำสั่งควบคุมการเลื่อนของเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์ และตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงการควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์ และตัวอักษรบนจอแสดงผล

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH-1FH

4.2.2.6 คำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	DL	N	F	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าบิตนี้เป็น "1" จะเป็นการติดต่อแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น "0" จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น "1" จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการแสดงผลให้ได้มากกว่า 2 บรรทัดก็ต้องกำหนดบิต N นี้ให้เป็น "1" จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N นี้ให้เป็น "1" เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่องคือ 00H และ 40H

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น "0" จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น "1" จะแสดงผลเป็น 5x10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

4.2.3 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อนจากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือคำเนินการต่อไป

ดังนั้นในการใช้งานโมดูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อม หรืออินนิเชียล (Initial) หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่าข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือขั้นตอน และจังหวะในการหาการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่ามีโปรย่อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมอินนิเชียล LCD, โปรแกรมหน่วงเวลา และโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่อเอ็นเบเบิลโมดูล LCD โปรแกรมตัวอย่างของโปรแกรมย่อยทั้งสามพร้อมทั้งโฟลวชาร์ตแสดงไว้แล้วในรูปที่ 3.4 และ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Serial Port

ถึงแม้ว่าการสื่อสารแบบอนุกรม ในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน ทั้งนี้ก็เพราะว่า การเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายๆ บิตพร้อมกัน ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่การส่งข้อมูล แบบอนุกรมนั้น สามารถ ส่งข้อมูลได้ไกลกว่าแบบขนาน อีกทั้งสายสัญญาณที่ใช้ยังมีน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอีกด้วย การสื่อสารแบบอนุกรม สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

1. Simplex สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว

2. Half - Duplex สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้ แต่ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

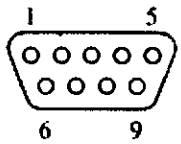
3. Full – Duplex สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกันการส่งข้อมูลแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้มาตรฐาน RS - 232C มาตรฐาน RS-232C มาตรฐาน RS - 232C เป็นมาตรฐานที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดได้รับการออกแบบขึ้นมา แต่มาตรฐานที่ได้รับความนิยมและใช้กันกว้างขวางมากที่สุดคือ มาตรฐาน RS - 232C ซึ่งถูกประกาศใช้ในปี 1969 โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA)

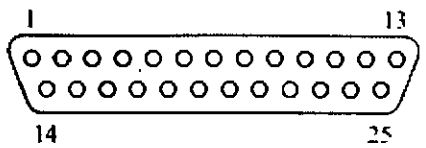
มาตรฐาน RS - 232C ได้แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ประเภท ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลบนสายเส้นเดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองประเภทนี้ก็คือ อุปกรณ์ DTE (Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล (เอาต์พุต)

อุปกรณ์ DCE (Data Communication Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อมูล (อินพุต) ตามมาตรฐาน RS - 232C คอนเน็คเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็คเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งคอนเน็คเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่จะเป็นชนิด D-Type แบบ 9 ขา และ แบบ 25 ขา โดยจะติดตั้งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับแรงดันจะมีค่าระหว่าง -3 V ถึง -15 V สำหรับลอจิก High และลอจิก Low จะมีระดับแรงดันระหว่าง +3 V ถึง +15 V สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุด 50 ฟุต หรือ 150 เมตรแต่ถ้าเราต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นที่อยู่ห่างกันมากๆ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เข้าช่วย เช่นการใช้โมเด็มเป็นต้น

ลักษณะของคอนเน็คเตอร์แบบ D-Type หัวต่อแบบ D-Type ที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบ 9 ขา และแบบ 25 ขา บางครั้งเราจะเรียกว่า DB9 และ DB25 ซึ่งหัวต่อทั้งสองชนิดจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณเหมือนกัน แต่การจัดเรียงไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





DB9 DB25

D-Type 25 Pin	D-Type 9 Pin	สัญลักษณ์	ชื่อสัญญาณ
Pin 2	Pin 3	TD	Transmit Data
Pin 3	Pin 2	RD	Receive Data
Pin 4	Pin 7	RTS	Request To Send
Pin 5	Pin 8	CTS	Clear To Send
Pin 6	Pin 6	DSR	Data Set Ready
Pin 7	Pin 5	SG	Signal Ground
Pin 8	Pin 1	CD	Carrier Detect
Pin 20	Pin 4	DTR	Data Terminal Ready
Pin 22	Pin 9	RI	Ring Indicator

รูปที่ 4.2 ลักษณะกสนใช้งานของ RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

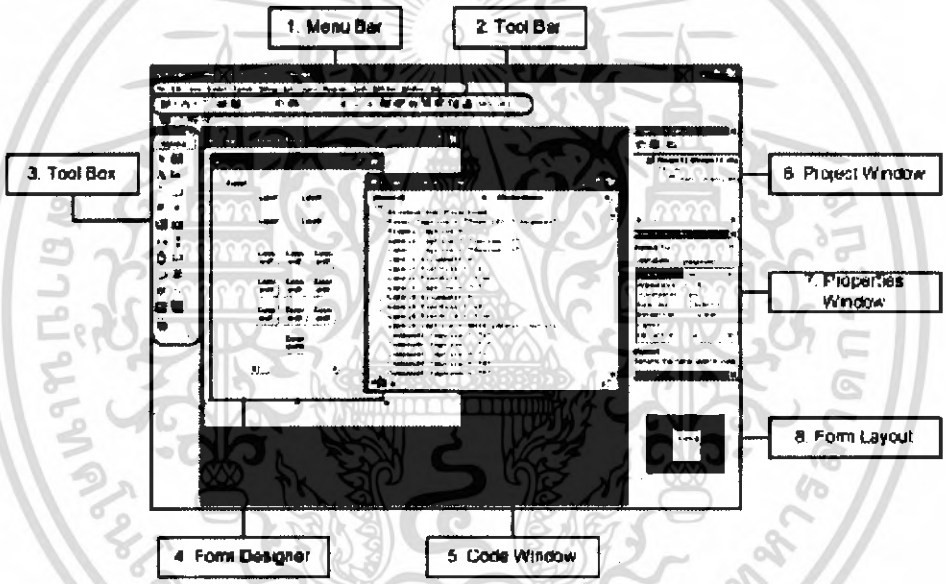
บทที่ 5

Visual Basic 6

Visual Basic6 ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้เขียนโปรแกรมที่บน Window ที่ได้รับความนิยมสูงสุด ทั้งนี้เพราะผ่นการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากเวอร์ชันแรกที่ทำงานบนดอส แล้วมาโด่งดังสุดขีดกับเวอร์ชัน 3.0

5.1 ส่วนประกอบของ Visual Basic6

Visual Basic6 นั้นประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของหน้าจอ

1. Menu Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด
2. Tool Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบช็อตคัต
3. Tool Box เป็นที่รวบรวมเครื่องมือมาตรฐานต่างๆ ในการสร้าง Application
4. Form Designer เป็นหน้าต่างของโปรแกรมที่เราต้องการออกแบบ
5. Code Window เป็นส่วนที่ใช้เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของ Application
6. Project Window เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Project
7. Properties Window เป็นส่วนที่กำหนด Properties ให้กับ object ต่างๆ ใน Application
8. Form Layout เป็นส่วนที่บอกตำแหน่งคร่าวๆ ของฟอร์มที่ได้จากการรัน Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

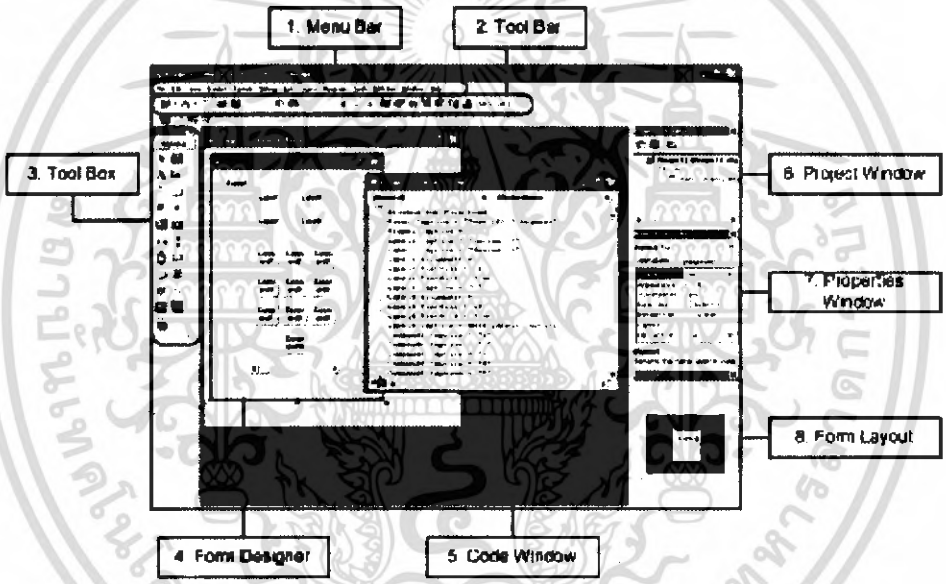
บทที่ 5

Visual Basic 6

Visual Basic6 ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้เขียนโปรแกรมที่บน Window ที่ได้รับความนิยมสูงสุด ทั้งนี้เพราะผ่นการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากเวอร์ชันแรกที่ทำงานบนดอส แล้วมาโด่งดังสุดขีดกับเวอร์ชัน 3.0

5.1 ส่วนประกอบของ Visual Basic6

Visual Basic6 นั้นประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงส่วนต่าง ๆ ของหน้าจอ

1. Menu Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด
2. Tool Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบช็อตคัต
3. Tool Box เป็นที่รวบรวมเครื่องมือมาตรฐานต่างๆ ในการสร้าง Application
4. Form Designer เป็นหน้าต่างของโปรแกรมที่เราต้องการออกแบบ
5. Code Window เป็นส่วนที่ใช้เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของ Application
6. Project Window เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Project
7. Properties Window เป็นส่วนที่กำหนด Properties ให้กับ object ต่างๆ ใน Application
8. Form Layout เป็นส่วนที่บอกตำแหน่งคร่าวๆ ของฟอร์มที่ได้จากการรัน Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การพัฒนา Application ด้วย ActiveX Controls

ActiveX Controls นั้นทำให้เราสามารถสร้าง Application ได้อย่างสะดวกและง่ายดาย เพราะเป็นคอนโทรลสำเร็จรูป ที่เราสามารถ ดึงนำมาใช้งานได้เลย ActiveX Controls ทุกตัว สามารถใช้งานได้กับ Development Program ที่สนับสนุนการทำงานกับ ActiveX Controls ทุกโปรแกรม

ActiveX Controls จะถูกเก็บไว้ที่หน้าต่าง Tool Box หรือจะกล่าวกลับกันก็คือ Tool Box เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการเก็บ ActiveX Controls นั่นเอง ในการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic นั้น เราจะเรียกใช้งานคอนโทรลชนิดต่างๆ เข้ามาประกอบเป็น Application ซึ่งคอนโทรลชนิดต่างๆ นั้น บางตัวเราก็เคยใช้งานผ่านโปรแกรมต่างๆ ของ Windows มาแล้วอาทิเช่น ปุ่มกด, Text Box และ List Box เป็นต้น แต่คอนโทรลบางตัวก็ไม่ได้ปรากฏให้เราเห็น แต่จะถูกเรียกใช้งานภายหลัง

รูปที่ 5.2 แสดง Tool Box เป็นหน้าต่างที่ใช้ในการเก็บ ActiveX Controls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 คอนโทรลมาตรฐานที่ควรรู้จัก

ตารางที่ 5.1 อธิบายปุ่มการทำงานใน Visual Basic

ActiveX Controls	ไอคอน	คำอธิบาย
PictureBox		เป็นคอนโทรลที่ใช้อ่านไฟล์รูปภาพมาแสดงบนฟอร์ม
Label	A	เป็นแถบข้อความ มักใช้เขียนข้อความให้อ่านอย่างเดียว
TextBox	ab|	เป็นช่องให้ผู้ใช้งานกรอกข้อความ
Frame	xy	เป็นกรอบที่จัดกลุ่มคอนโทรลต่างๆ ออกเป็นพวกๆ
CommandButton		เป็นปุ่มกดให้ผู้ใช้งานกด หรือคลิกที่ปุ่มนี้
CheckBox		เป็นปุ่มให้ผู้ใช้งานคลิกเลือก ซึ่งจะเลือกกี่ตัวก็ได้
OptionButton		เป็นปุ่มให้ผู้ใช้งานคลิกเลือก ซึ่งเลือกได้เพียง 1 ตัวเท่านั้น
ComboBox		เป็นรายการข้อมูลให้ผู้ใช้งานเลือก
ListBox		เป็นรายการข้อมูลให้ผู้ใช้งานเลือก
HScrollBar		เป็นแถบเลื่อนตามแนวนอน
VscrollBar		เป็นแถบเลื่อนตามแนวตั้ง
Timer		เป็นตัวจับเวลา
DriveListBox		เป็น ActiveX Control ที่ใช้ติดต่อกับฮาร์ดไดรว์ หรือซีดีรอม
DirListBox		เป็น ActiveX Control ที่ใช้ติดต่อกับโฟลเดอร์ หรือไดเร็คทอรี่
FileListBox		เป็น ActiveX Control ที่ใช้ติดต่อกับไฟล์
Shape		ใช้วาดรูปภาพทางเลขาคณิต
Line		เป็นคอนโทรลที่ใช้วาดเส้น
Image		เป็นคอนโทรลที่ใช้อ่านไฟล์รูปภาพมาแสดงบนฟอร์ม
Data Control		เป็นคอนโทรลที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล
OLE Control		ใช้สำหรับเรียกใช้งานโปรแกรมอื่นที่ทำงานบนระบบ Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

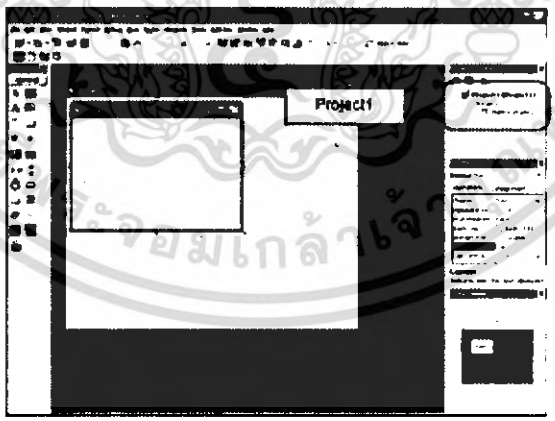
5.4 เริ่มต้นการสร้าง Application ด้วย Visual Basic 6

5.4.1 ขั้นตอนการเปิด Project

ขั้นตอนแรกในการเรียก Visual Basic ขึ้นมาใช้งานนั้นเราจะต้องทำการเปิด Project ขึ้นมาก่อน โดยที่ Visual Basic นั้นมี Project ให้เลือกหลายรูปแบบ ทั้งโปรแกรมธรรมดาที่รันบน Windows หรือเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนเว็บ และ สร้างเป็น โปรแกรมที่ไม่ได้ทำงานเองแต่คอยให้มีคำสั่งหรือความสามารถอื่นๆ ให้โปรแกรมอะไรก็ได้เรียกใช้งาน ในการเขียน Application ทั่วๆ ไปนั้นเราจะต้องเลือกเปิด Project แบบ Standard EXE ซึ่งก็คือ Project ที่ใช้สร้างโปรแกรมชนิดที่รันบน Windows

รูปที่ 5.3 แสดงหน้าจอการเปิด Project

เมื่อเปิด Project แล้ว สิ่งที่จะปรากฏต่อสายตาเราก็คือ IDE ของ Visual Basic นั่นเอง โดยเราจะสังเกตเห็นว่าตอนนี้ Project ถูกตั้งชื่อว่า Project1 ตามที่ทาง Visual Basic ตั้งไว้ให้

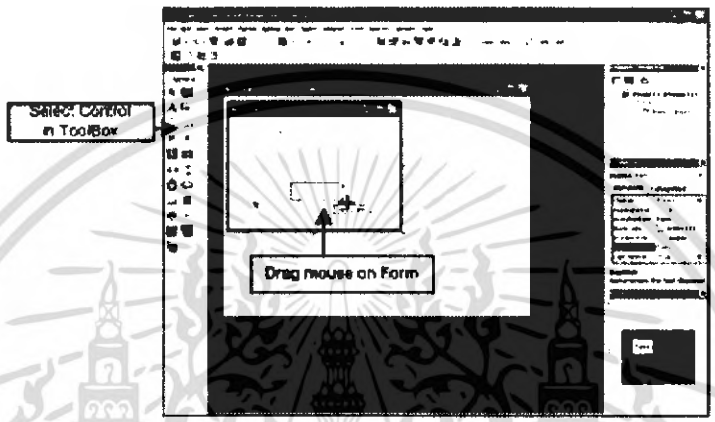


รูปที่ 5.4 IDE ของ Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ขั้นตอนการสร้างคอนโทรลลงบนฟอร์ม

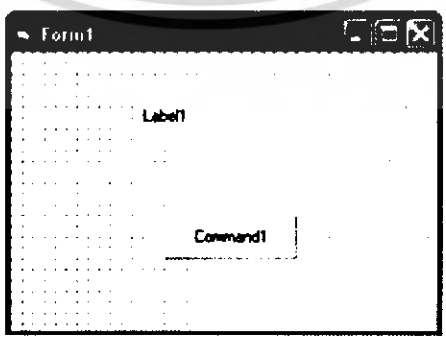
ในการสร้างคอนโทรลลงบนฟอร์มนั้นสามารถกระทำได้ง่ายๆ โดยการเลือกคลิกที่ตัวคอนโทรลในส่วนของ ToolBox จากนั้นก็ให้แคร็กเมาส์ลงบนฟอร์มก็จะได้คอนโทรลที่เราต้องการ เช่นถ้าต้องการสร้างคอนโทรล CommandButton ลงบนฟอร์มก็ให้คลิกที่ตัวคอนโทรล CommandButton ใน ToolBox จากนั้นก็ให้ทำการแคร็กเมาส์แล้วลาก บนฟอร์ม เพื่อสร้างคอนโทรล CommandButton ลงบนฟอร์ม



รูปที่ 5.5 สร้าง Control CommandButton

5.4.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดควบคุมการทำงานของโปรแกรม

เมื่อเราได้ทำการออกแบบและสร้างรูปแบบหน้าตาของ Application ของเราแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการเขียนโค้ด เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม ซึ่งสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการดับเบิลคลิกที่ตัวคอนโทรล ที่เราต้องการให้โปรแกรม ทำงานหลังจากที่คอนโทรลนั้นๆ Active โปรแกรมก็จะแสดงหน้าต่าง Code Window ซึ่งผู้อ่านสามารถเขียนโค้ดควบคุม การทำงานของโปรแกรมได้ที่หน้าต่างนี้

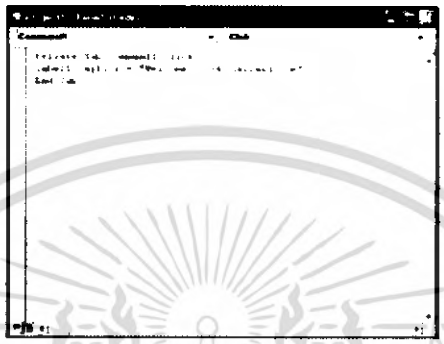


รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการสร้างคอนโทรล Label และคอนโทรล CommandButton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นให้ทำการดับเบิลคลิกที่คอนโทรล Command1 ก็จะปรากฏหน้าต่าง Code Window ขึ้นมา ให้ทำการพิมพ์คำสั่งต่างๆ ดังนี้

```
Private Sub Command1_Click()
Label1.Caption = "Welcome to vbthailand.com"
End Sub
```



รูปที่ 5.7 Code Window

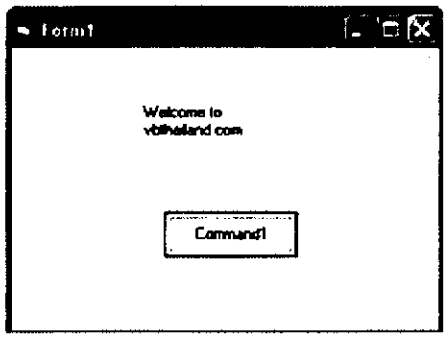
5.4.4 ขั้นตอนการรันโปรแกรม

เราสามารถรันโปรแกรมที่เราได้สร้างไว้ด้วยการกดปุ่ม F5 บนแป้นพิมพ์ หรือคลิกที่เมนู Run -> Start ที่ Menu Bar หรือ คลิกที่ไอคอน Start ที่ Tool Bar วิธีใดวิธีหนึ่งก็ได้ครับ

รูปที่ 5.8 ทำการรันโปรแกรมโดยการกดปุ่ม F5

เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม Command1 หลังจากการรันโปรแกรมแล้ว โปรแกรมจะทำการแสดงผล ดังที่เราได้เขียนโค้ดควบคุม โปรแกรมไว้ นั่นก็คือโปรแกรมจะแสดงข้อความ "Welcome to vbthailand.com" บนตัวคอนโทรล Label1

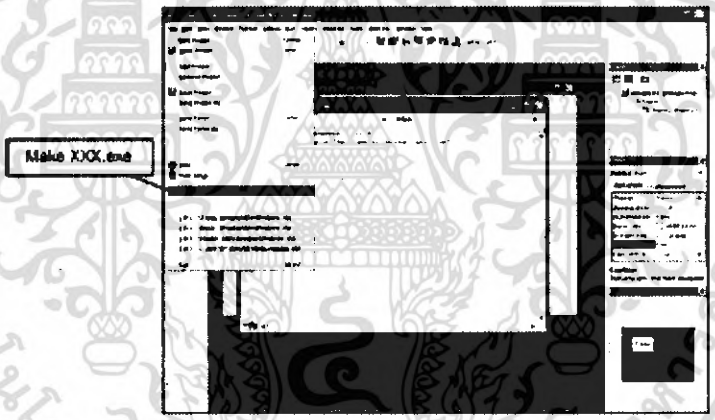
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9

5.4.5 ขั้นตอนการแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ EXE

เมื่อสร้าง Application เสร็จแล้วเราสามารถแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ .EXE เพื่อให้สามารถ เรียกใช้งานได้โดยไม่ต้อง เรียกผ่าน Visual Basic ซึ่งเราสามารถกระทำได้โดยการเลือกเมนู File -> Make ชื่อ Project...ดังนี้ จากนั้นก็ให้ระบุชื่อไฟล์ .EXE ที่เราต้องการจะสร้างครับ



รูปที่ 5.10 แปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบ .EXE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

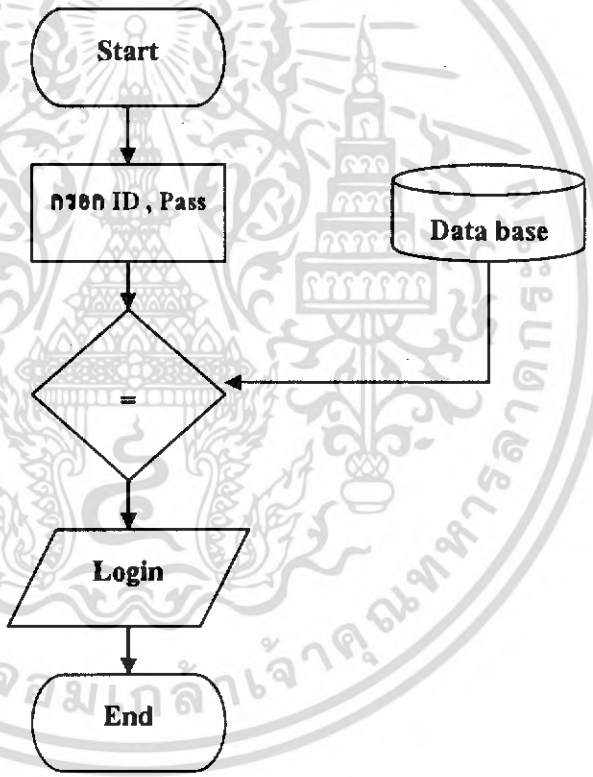
บทที่ 6
การออกแบบฐานข้อมูล

6.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมเพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้งาน โดยจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

6.1.1 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของ Login

แผนภูมิแสดงการทำงานในส่วนของการ Login โดยการ กรอก ID (รหัสของผู้ใช้ไม่เกิน 8 ตัวอักษร) และPassword (ไม่เกิน 8 ตัวอักษร) เพื่อผ่านสู่กระบวนการทำงานต่อไป



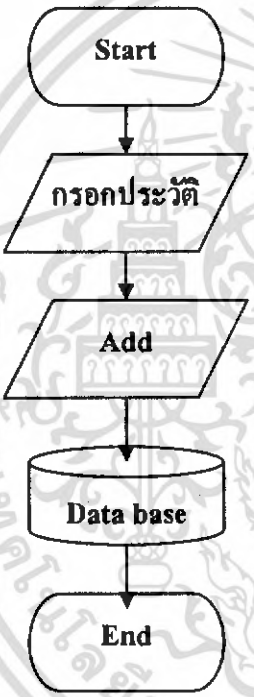
รูปที่ 6.1 Login

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของประวัติเครื่องมือ

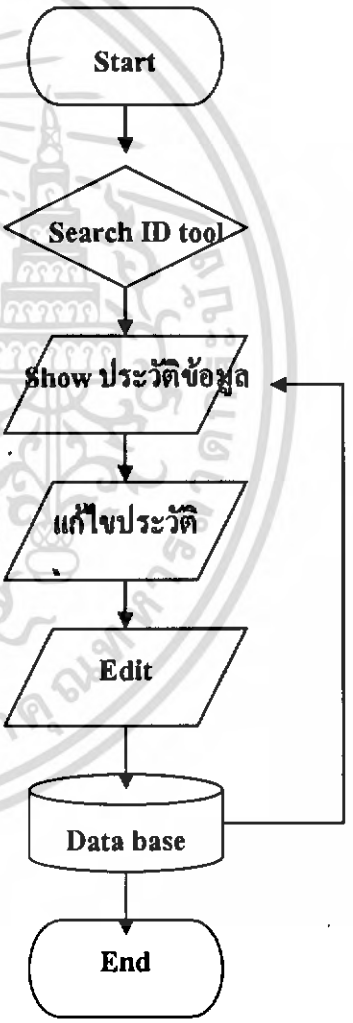
แผนภูมิแสดงการทำงานในส่วนของประวัติเครื่องมือ ถ้าต้องการเพิ่ม ตัวอุปกรณ์ใหม่ ทำได้โดยการใสรหัสเครื่องมือ ที่ต้องการเพิ่ม และกรอกประวัติเครื่องมือ ให้ครบ และทำการบันทึกข้อมูล ถ้ามีอุปกรณ์นั้นอยู่แล้วให้ทำการค้นหาจาก รหัสเครื่องมือนั้นก่อน และทำการแก้ไขประวัติเครื่องมือตามต้องการ และทำการบันทึก

กรณีที่ 1 ตัวอุปกรณ์ใหม่



รูปที่ 6.2 Add ประวัติเครื่องมือใหม่

กรณีที่ 2 อุปกรณ์เก่าแก้ไข



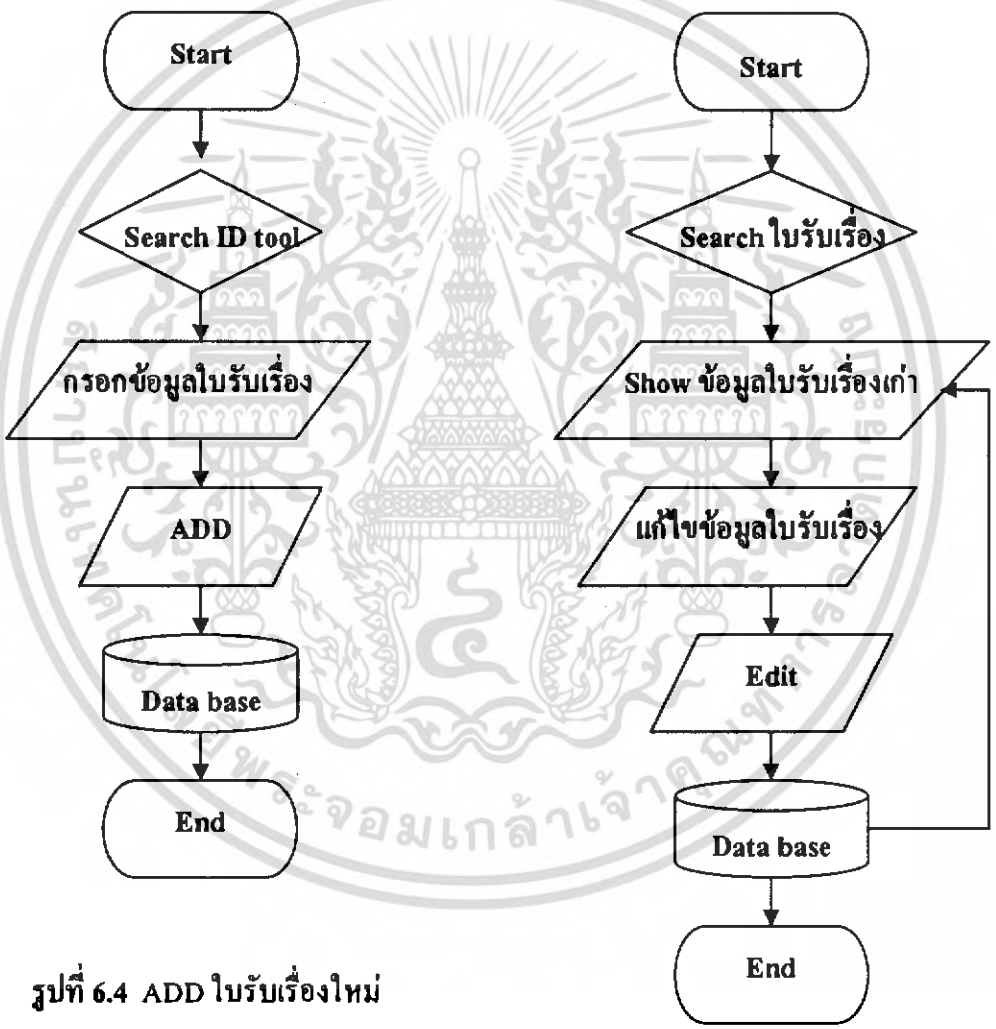
รูปที่ 6.3 Edit ประวัติเครื่องมือใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการ Load ข้อมูล

แผนภูมิแสดงการทำงานในส่วนของการ Load ข้อมูล ของใบรับเรื่อง กรณีที่ต้องสร้างใบรับเรื่องใหม่ให้ทำการค้าหารหัสเครื่องมือก่อน ทำการโหลดข้อมูล หลังจากนั้นทำการโหลดข้อมูลจากตัว Interface พร้อมทั้งกรอกรายละเอียด ให้ครบ และทำการบันทึกข้อมูล กรณีที่ต้องการแก้ไขใบรับเรื่องให้ทำการค้นหาจาก ใบรับเรื่องและทำการแก้ไข และทำการบันทึกข้อมูล

กรณีที่ 1 Load ข้อมูลและสร้างไปรับเรื่อใหม่ กรณีที่ 2 Load ข้อมูลแต่มีใบรับเรื่องเก่า อยู่



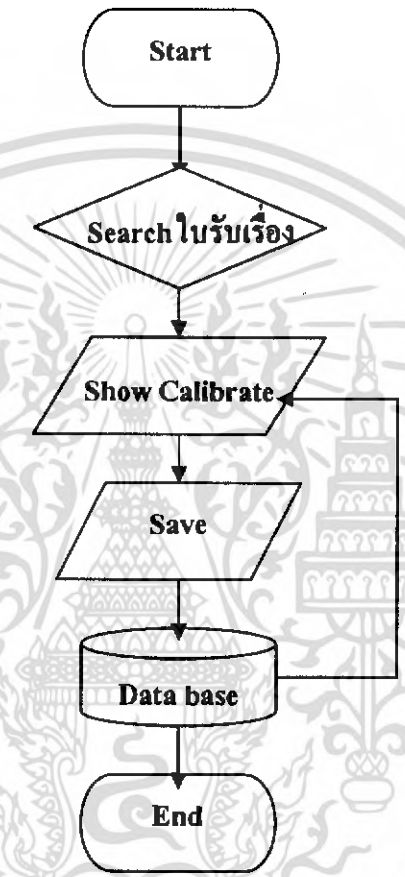
รูปที่ 6.4 ADD ใบรับเรื่องใหม่

รูปที่ 6.5 Edit ใบรับเรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการ Calibrate ข้อมูล

แผนภูมิแสดงการทำงานในส่วนของการสอบเทียบ โดย เมื่อทำในส่วนของใบรับเรื่องเรียบร้อยแล้วในส่วนของการสอบเทียบ จะทำการค้นหาใบรับเรื่องที่ต้องการที่จะทำการสอบเทียบและทำการสอบเทียบ และทำการบันทึกในส่วนที่ต้องการทำอธิบายเพิ่มเติม และทำการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 6.6 Calibrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองการสอบโครงงาน 2

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ชื่อโครงงาน

การออกแบบระบบสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม

DESIGN OF TEMPRATURE CALIBRATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESS

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

1. ผศ. วิศรุต ศรีรัตนะ
2. .....
3. .....

ชื่อนักศึกษา-รหัส-ชั้นปี

1.	นายบรรจงวิชัย	วิทยาเกษมสิทธิ์	46010358
2.	นายศิวาพล	เจริญสุกลวณิชย์	46010777
3.	นายสุวัฒน์	เชี่ยงวงศ์	46010889
4.			

การรมการ-เจ้าหน้าที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจึงลงลายมือ ชื่อกำกับ

ขั้นตอน	การตรวจสอบ	การรมการ-เจ้าหน้าที่	ลงลายมือชื่อ	วัน-เดือน-ปี
1	การแก้ไขปริญญานิพนธ์	ประธานสอบ		16 มี.ค. 50
2	รูปแบบปริญญานิพนธ์	เจ้าหน้าที่ธุรการ		16 มี.ค 50
3	การส่งคืนเครื่องมือ-อุปกรณ์	เจ้าหน้าที่สโตร์		16 มี.ค 50

หมายเหตุ ทางภาควิชาฯ จะพิจารณาผลการสอบปริญญาโครงงาน 2 เมื่อโครงงานนักศึกษาผ่านการตรวจสอบตามขั้นตอนที่ 1-3 และได้ส่งใบรับรองการสอบโครงงานใบนี้ให้กับเจ้าหน้าที่ธุรการ พร้อมกับ

1. ปริญญานิพนธ์ที่มีลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษากำกับและเข้าเล่มเรียบร้อยแล้ว จำนวน 3 เล่ม
2. ไฟล์บทคัดย่อภาษาไทย-ภาษาอังกฤษ (ให้บันทึกลงในแผ่น Floppy Disk ขนาด 3.5 นิ้ว) จำนวน 1 แผ่น
3. ไฟล์ปริญญานิพนธ์ แยกบันทึกเป็นบท ในรูปแบบไฟล์ PDF ลงแผ่น CD จำนวน 1 แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลอง

ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ **Database , Interface , Display**

7.1 Database

เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อมาอ้างอิงในการสอบเทียบและชดเชย โดยจะเก็บที่สภาวะแวดล้อมที่ 25 องศาเซ็ลเซียด ซึ่งเป็นการเก็บที่ห้อง Calibrate และเก็บค่าที่อุณหภูมิต่างๆ กันออกไปเพื่อจะที่จะนำมาเปรียบเทียบกับการวัดที่ห้อง Calibrate และหาความสัมพันธ์ เพื่อมาชดเชยค่าอุณหภูมิได้กับ เครื่องมือ

ในการทดลองจะใช้ Sensor ชนิด RTD(PT100) โดยเก็บข้อมูลไว้เพื่อเป็นฐานขอมูล โดยจะเก็บค่าอุณหภูมิที่สภาพแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส (ได้ทำการเก็บข้อมูลที่ห้องสอบเทียบ) และการเก็บข้อมูลที่สภาพแวดล้อมไปที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป ในการเก็บค่านั้นจะแบ่งการเก็บเป็นช่วง ตั้งแต่ 20 , 40 , 60 , 80 ,100 องศาเซลเซียส ซึ่งระยะห่าง ที่ละ 20 องศาเซลเซียส ระยะแล้วเวลาในการเก็บคือ 8 นาที (อืมทำการปรับอุณหภูมิจาก bath แล้วทำการรอให้ค่านิ่งประมาณ 8 นาทีจึงจะเริ่มทำการเก็บค่า) ในการเก็บ 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 7.1 AMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1

	STD		UUT		AMB
20	19.90	107.74	26.97	110.50	23.83
40	40.06	115.56	47.31	118.36	24.28
60	60.07	123.27	67.45	126.10	24.44
80	80.09	130.93	87.59	133.79	24.20
100	100.10	138.55	107.73	141.43	24.32

ตารางที่ 7.2 AMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2

	STD		UUT		AMB
20	19.97	107.77	27.04	110.52	23.50
40	40.03	115.54	47.24	118.33	27.00
60	60.06	123.26	67.42	126.08	24.156
80	79.91	130.86	87.39	133.714	24.371
100	99.99	138.51	107.60	141.38	23.14

ตารางที่ 7.3 AMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3

	STD		UUT		AMB
20	19.58	107.61	26.65	110.37	24.40
40	39.92	115.50	47.16	118.30	24.69
60	60.03	123.25	67.41	126.08	24.70
80	80.05	130.92	8.54	133.74	24.8
100	100.10	138.55	107.73	141.41	24.7

ตารางที่ 7.4 AMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4

	STD		UUT		AMB
20	19.95	107.76	27.06	110.534	25.039
40	40.03	115.54	47.27	188.34	25.02
60	60.05	115.54	60.05	123.26	67.43
80	80.09	130.94	87.59	133.79	24.93
100	100.13	138.56	107.76	141.44	24.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 AMB at 25 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5

	STD		UUT		AMB
20	20.02	107.78	2.09	110.54	24.10
40	40.24	115.63	47.29	118.13	24.01
60	60.13	1223.29	126.11	24.08	24.08
80	80.11	130.94	87.58	133.78	23.90
100	100.16	138.57	107.77	141.45	24.02

ตารางที่ 7.6 ค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 25 °C

	STD	UUT	Diff (STD-UUT)
20	19.87	26.96	7.09
40	40.05	47.25	7.20
50	60.06	67.44	7.38
80	80.05	87.53	7.48
100	100.09	107.71	7.62

ตารางที่ 7.7 AMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1

	STD		UUT		AMB
20	20.01	107.78	27.19	110.58	30.35
40	40.04	115.55	47.36	118.58	30.25
60	60.05	1123.26	67.52	26.129	30.08
80	80.07	130.92	87.66	133.82	30.02
100	100.08	138.54	107.79	141.45	30.02

ตารางที่ 7.8 AMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2

	STD		UUT		AMB
20	19.98	107.77	27.17	110.57	30.11
40	40.03	115.54	47.36	118.38	30.08
60	60.05	123.26	67.52	126.12	30.05
80	80.307	130.93	87.67	133.82	30.05
100	100.08	138.55	107.80	141.46	30.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.9 AMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3

	STD		UUT		AMB
20	19.97	107.77	27.15	110.57	30.10
40	40.03	115.55	47.37	1118.38	30.08
60	60.05	123.26	67.52	126.127	30.06
80	80.08	130.93	87.71	133.83	30.05
100	100.08	138.55	107.83	141.47	30.04

ตารางที่ 7.10 AMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4

	STD		UUT		AMB
20	20.00	107.78	27.21	110.59	30.09
40	40.04	115.55	47.40	118.39	30.08
60	60.05	123.26	67.53	126.13	30.07
80	80.07	130.93	87.68	133.82	30.05
100	100.07	138.54	107.79	141.46	30.05

ตารางที่ 7.11 AMB at 30 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5

	STD		UUT		AMB
20	19.97	107.77	27.16	110.57	30.11
40	40.03	115.54	47.37	118.38	30.09
60	60.05	123.26	67.54	126.13	30.11
80	80.07	130.93	87.68	133.82	30.06
100	100.06	138.54	107.80	141.46	30.03

ตารางที่ 7.12 ค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 30 °C

	STD	UUT	Diff (STD-UUT)
20	19.98	27.17	7.19
40	40.03	47.37	7.34
50	60.05	67.52	7.47
80	80.07	87.68	7.61
100	100.07	107.8	7.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.13 AMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1

	STD		UUT		AMB
20	20.02	107.79	27.30	110.63	34.87
40	40.06	115.56	47.50	118.43	34.88
60	60.04	123.26	67.62	126.166	34.89
80	80.06	130.92	87.77	133.85	34.86
100	100.06	138.54	107.88	141.49	34.89

ตารางที่ 7.14 AMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2

	STD		UUT		AMB
20	20.01	107.78	27.30	110.36	34.961
40	40.04	115.55	47.47	118.42	34.95
60	60.05	127.26	67.63	126.16	34.99
80	80.07	130.93	87.78	133.86	34.931
100	100.08	138.54	107.91	141.507	34.95

ตารางที่ 7.15 AMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3

	STD		UUT		AMB
20	19.98	107.77	27.30	110.63	34.94
40	40.03	115.54	47.52	118.44	34.90
60	60.04	123.25	67.66	126.18	34.90
80	80.07	130.93	87.82	133.87	34.88
100	100.05	138.53	107.96	141.52	34.33

ตารางที่ 7.16 AMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4

	STD		UUT		AMB
20	20.00	107.78	27.31	110.63	35.08
40	40.05	115.55	47.48	118.43	35.01
60	60.05	123.26	67.60	126.16	34.91
80	80.05	130.92	87.71	133.83	34.91
100	100.05	138.53	107.82	141.47	34.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.17 AMB at 35 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5

	STD		UUT		AMB
20	20.01	107.78	27.31	110.63	34.98
40	40.04	115.55	47.47	118.42	34.95
60	60.05	123.26	67.61	126.16	34.91
80	80.06	130.92	87.74	133.84	34.89
100	100.07	138.54	107.85	141.48	34.90

ตารางที่ 7.18 ค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 35 °C

	STD	UUT	Diff (STD-UUT)
20	20.00	27.30	7.30
40	40.04	47.48	7.44
50	60.04	67.62	7.58
80	80.06	87.76	7.70
100	100.06	107.88	7.82

ตารางที่ 7.19 AMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1

	STD		UUT		AMB
20	19.96	107.77	27.38	110.66	39.97
40	40.03	115.55	47.60	118.47	39.90
60	60.05	123.26	67.76	126.22	39.84
80	80.07	130.93	87.95	133.92	39.61
100	100.09	138.55	108.08	141.56	39.80

ตารางที่ 7.20 AMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2

	STD		UUT		AMB
20	20.00	107.78	27.43	110.67	39.84
40	40.03	115.55	47.61	118.47	39.83
60	60.05	123.26	67.77	126.22	39.82
80	80.08	130.93	87.93	133.98	39.81
100	100.08	138.54	108.06	141.56	39.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.21 AMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3

	STD		UUT		AMB
20	19.98	107.77	27.41	110.67	39.89
40	40.03	115.55	47.62	118.48	39.84
60	60.06	123.26	67.79	126.22	39.84
80	80.09	130.94	87.95	133.93	39.80
100	100.08	138.55	108.04	141.56	39.78

ตารางที่ 7.22 AMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4

	STD		UUT		AMB
20	20.02	107.79	27.45	110.68	39.88
40	40.05	115.55	47.64	118.49	39.88
60	60.05	123.26	67.77	126.22	39.87
80	80.09	130.94	87.95	133.93	39.86
100	100.10	138.55	108.07	141.56	39.86

ตารางที่ 7.23 AMB at 40 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5

	STD		UUT		AMB
20	19.93	107.75	27.37	110.65	39.93
40	40.03	115.55	47.60	118.48	39.92
60	60.05	123.26	67.77	126.22	39.91
80	80.09	130.94	87.94	133.92	39.90
100	100.08	138.04	108.04	141.55	39.92

ตารางที่ 7.24 ค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 40 °C

	STD	UUT	Diff (STD-UUT)
20	19.97	27.4	7.43
40	40.04	47.61	7.57
50	60.05	67.77	7.72
80	80.08	87.94	7.86
100	100.09	108.06	7.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.25 AMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 1

	STD		UUT		AMB
20	20.01	107.7	27.53	110.71	44.7
40	40.03	155.54	47.68	118.50	44.69
60	60.05	123.26	67.83	126.24	44.64
80	80.08	130.93	87.97	133.93	44.65
100	100.08	138.54	108.07	141.56	44.64

ตารางที่ 7.26 AMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 2

	STD		UUT		AMB
20	20.00	107.78	27.53	110.72	44.71
40	40.03	115.55	47.69	118.51	44.63
60	60.05	123.26	67.54	126.25	44.67
80	80.08	130.93	87.95	133.92	44.19
100	100.09	138.55	108.09	141.57	44.67

ตารางที่ 7.27 AMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 3

	STD		UUT		AMB
20	20.00	107.78	27.53	110.71	44.67
40	40.04	115.55	47.65	118.49	44.83
60	60.05	123.24	67.84	126.21	44.88
80	80.08	130.93	87.98	133.94	44.68
100	10.08	138.54	108.05	141.55	44.66

ตารางที่ 7.28 AMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 4

	STD		UUT		AMB
20	19.98	107.77	27.50	110.70	44.84
40	40.04	115.55	47.70	118.51	44.80
60	60.05	123.26	67.83	126.24	44.75
80	80.08	130.93	87.96	133.93	44.70
100	100.07	138.54	108.06	141.55	44.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.29 AMB at 45 °C ผลการทดลองครั้งที่ 5

	STD		UUT		AMB
20	20.01	107.78	27.55	110.72	44.58
40	40.04	115.55	47.71	118.58	44.55
60	60.06	123.26	67.82	126.24	44.58
80	80.08	130.93	87.96	133.93	44.59
100	100.06	138.54	108.08	141.59	44.61

ตารางที่ 7.30 ค่าผลต่างของ STD กับ UUT ที่ AMB 45 °C

	STD	UUT	Diff (STD-UUT)
20	20.00	27.52	7.5
40	40.03	47.68	7.65
50	60.05	67.82	7.77
80	80.08	87.96	7.88
100	100.07	108.07	8

7.1.2 สรุปผลการเก็บข้อมูล

จากของมูลที่เก็บมาจะสามรถรู้ผลต่างของอุณหภูมิ ณ เวลาใด กับที่ 25 องศาเซลเซียส ได้และนำไปเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการ Compensate ก่อนการ สอบเทียบได้

ตารางที่ 7.31 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้ในการ Comsensate ค่า UUT

data_cp_uut					
temp	25	30	35	40	45
20	7.09	7.19	7.3	7.43	7.5
40	7.2	7.34	7.44	7.57	7.65
60	7.38	7.47	7.58	7.72	7.77
80	7.48	7.61	7.7	7.86	7.88
100	7.62	7.73	7.82	7.97	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.32 ตารางฐานข้อมูลที่ใช้ในการ Comsensate ค่า STD

data_cp_std

temp_cp_std	25
20	3.68
40	3.85
60	3.98
80	4.64
100	4.83

7.1.3 หลักการในการ Compensate And Calibrate

หลังจากที่เราได้ทำการเก็บ ฐานข้อมูลขึ้นมานั้นเป็นการเก็บเพื่อทำไปใช้ในการ ชดเชยค่า Error ของสภาพแวดล้อมก่อน ซึ่งค่าที่จะนำมาชดเชยนั้นคือ ค่าจากตารางที่ 7.1 กับ 7.2 ซึ่งจะเก็บค่าอยู่ใน Access โดยจะดึงค่าจากฐานของมูลนั้นโดยการ ตรวจสอบจากค่าที่ได้รับมาจากการเก็บค่าของตัว Interface ได้แก่

1. ค่าอุณหภูมิของเครื่องมือมาตราฐาน (STD)
2. ค่าอุณหภูมิของเครื่องมือที่ต้องการทราบ (UUT)
3. ค่าอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อม (AMB)

ซึ่งเราจะใช้ ค่าอุณหภูมิของเครื่องมือมาตราฐาน (STD) และ ค่าอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อม (AMB) ทั้ง 2 ตัวเป็นตัวเปิดตารางทำการเลือกค่า

ค่าที่ได้จากการตัว interface 28.2 (STD) , 34.7 (UUT) , 25(AMB)

data_cp_uut

temp	25	30	35	40	45
20	7.09	7.19	7.3	7.43	7.5
40	7.2	7.34	7.44	7.57	7.65
60	7.38	7.47	7.58	7.72	7.77
80	7.48	7.61	7.7	7.86	7.88
100	7.62	7.73	7.82	7.97	8

ค่าที่จะนำมา Compensate

เมื่อได้ค่ามาก็จะทำค่ามาชดเชยให้กับตัว อุณหภูมิของเครื่องมือที่ต้องการทราบ (UUT) 34.7 (UUT) – 7.09 (ค่าที่ได้จากตาราง) = 27.61 (ค่าอุณหภูมิที่ได้ทำการชดเชยค่าแล้ว) หลังจากที่ได้ค่า อุณหภูมิของเครื่องมือที่ต้องการทราบที่ได้ทำการชดเชยแล้วก็จะทำการCalibrate ต่อ โดยใช้ค่าค่าอุณหภูมิของเครื่องมือมาตราฐาน (STD) มาทำการหาค่า Error กับ ค่าอุณหภูมิของเครื่องมือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

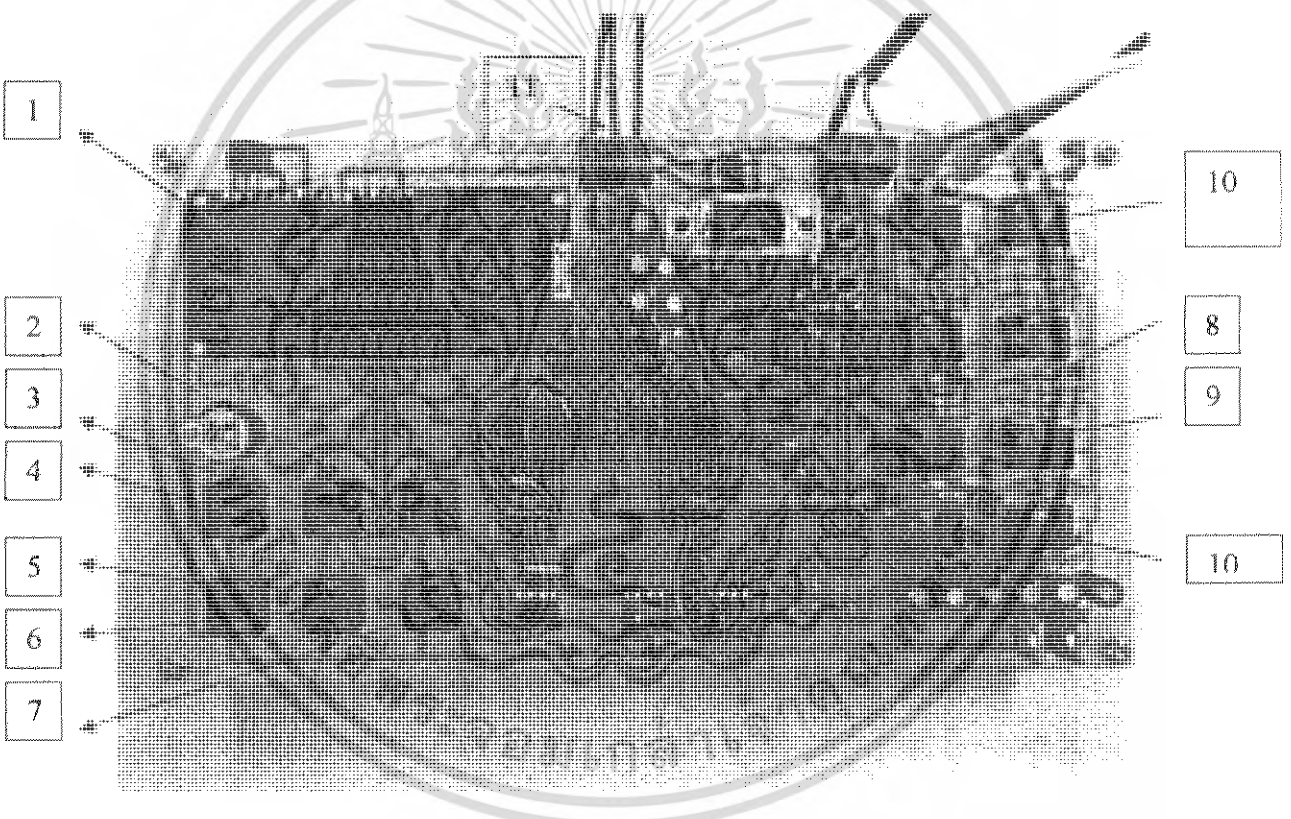
ต้องการทราบที่ได้ทำการชดเชยแล้ว 28.2 (UUT) - 27.61 (ค่าอุณหภูมิที่ได้ทำการชดเชยค่าแล้ว) = 0.6 (Error) แล้วนำไปคำนวนหา % Error ต่อ

(0.6 (Error) × 100)/28.2 (UUT) = 2.1 %

7.2 Interface

เป็นส่วนที่จะนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัด ได้แก่ อุณหภูมิ Amb , อุณหภูมิ STD , อุณหภูมิ UUT ซึ่งเป็นค่าที่จะส่งไปสู่ส่วนแสดงผล เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

7.2.1 ส่วนประกอบของตัว interface



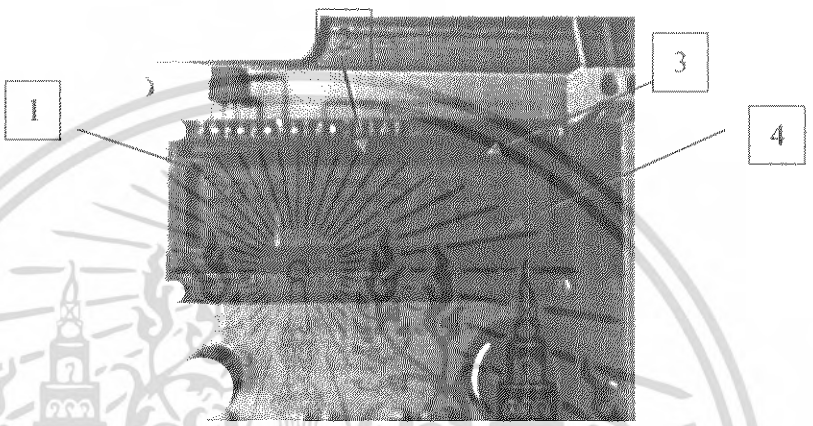
รูปที่ 7.1 อุปกรณ์ interface

1. จอLCD 16x2 ใช้แสดงค่าที่รับมา
2. Start ปุ่มเริ่มเก็บข้อมูล
3. Stop ปุ่มหยุดทำงาน
4. Clear ลบข้อมูลใน Ram
5. Sent ส่งข้อมูลเข้าสู่ VB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

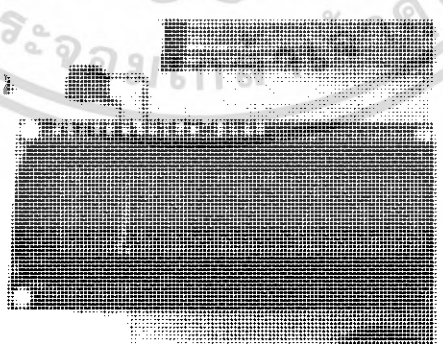
6. ↑ ปุ่มเพิ่มช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง(เก็บข้อมูลทุกกี่ วินาที)
7. ↓ ปุ่มลดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง(เก็บข้อมูลทุกกี่ วินาที)
8. ใช้ในการจูลค่าอุณหภูมิของ STD
9. ใช้ในการจูลค่าอุณหภูมิของ UUT

7.2.2 แสดงผลการ LCD



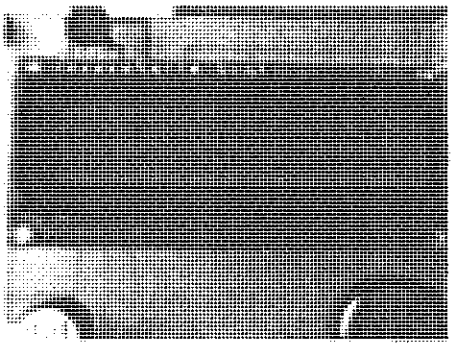
รูปที่ 7.2 แสดงLCD เมื่อเริ่มต้นการทำงาน

1. แสดงอุณหภูมิของตัว STD
2. แสดงอุณหภูมิของตัว UUT
3. แสดงอุณหภูมิของตัว Amb
4. แสดงสถานะการทำงาน

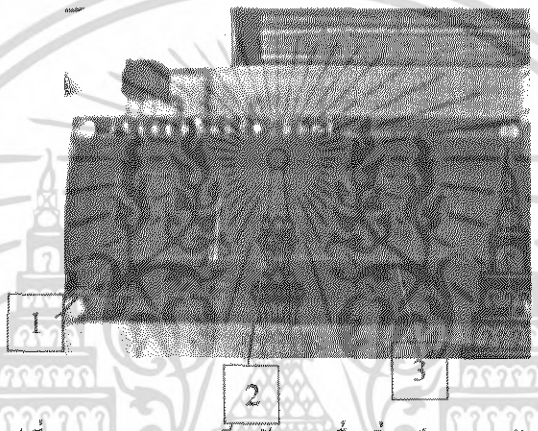


รูปที่ 7.3 แสดง LCD เมื่อมีการกดปุ่ม Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงLCD เมื่อมีการกดปุ่ม Sent



รูปที่ 7.5 แสดงการเก็บข้อมูลเมื่อเริ่ม มีการกดปุ่ม Start

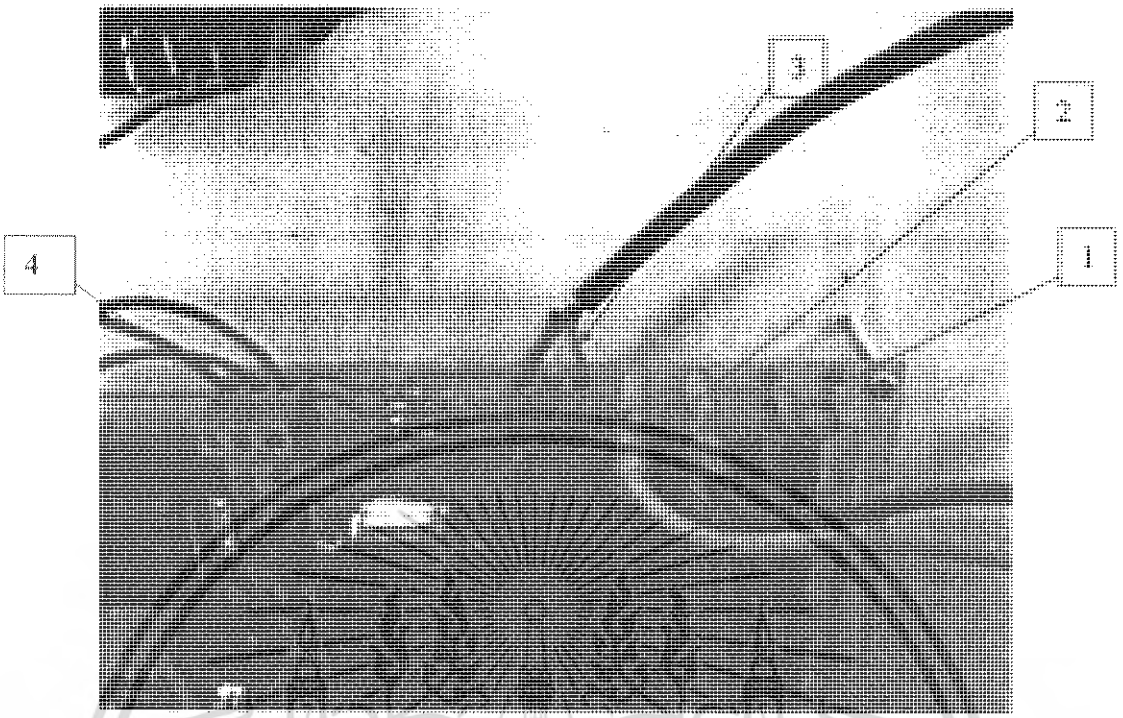
I. ตัวเลขแสดงข้อมูลที่ เก็บได้ เมื่อเก็บได้ครบ 10 จะนำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วเก็บได้ในหน่วยความจำ

2. แสดงตำแหน่งข้อมูล

3. ตัวเลขแสดงเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง (จากรูปเมื่อ 40วินาทีผ่านไปตัวเลขที่ 3 จะเปลี่ยนเป็น 4)

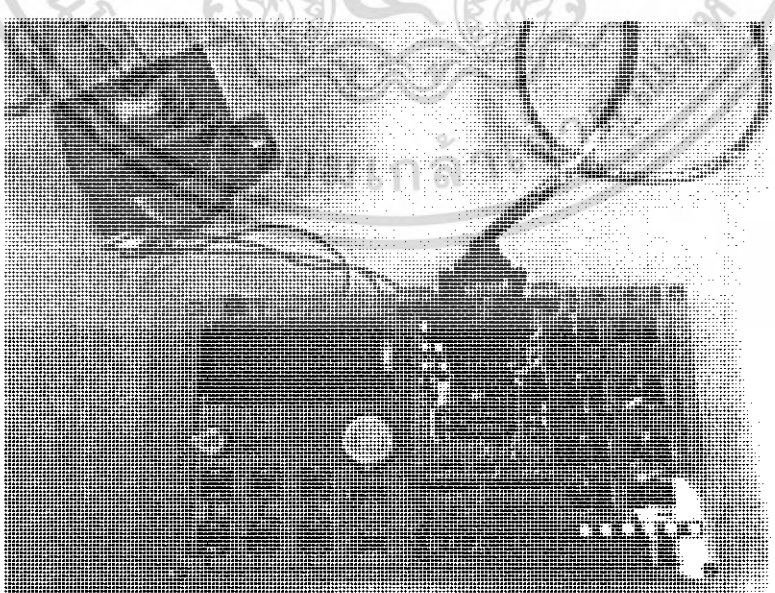
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3 แสดงการต่ออุปกรณ์ Interface กับ ตัว Sensor และหม้อแปลง



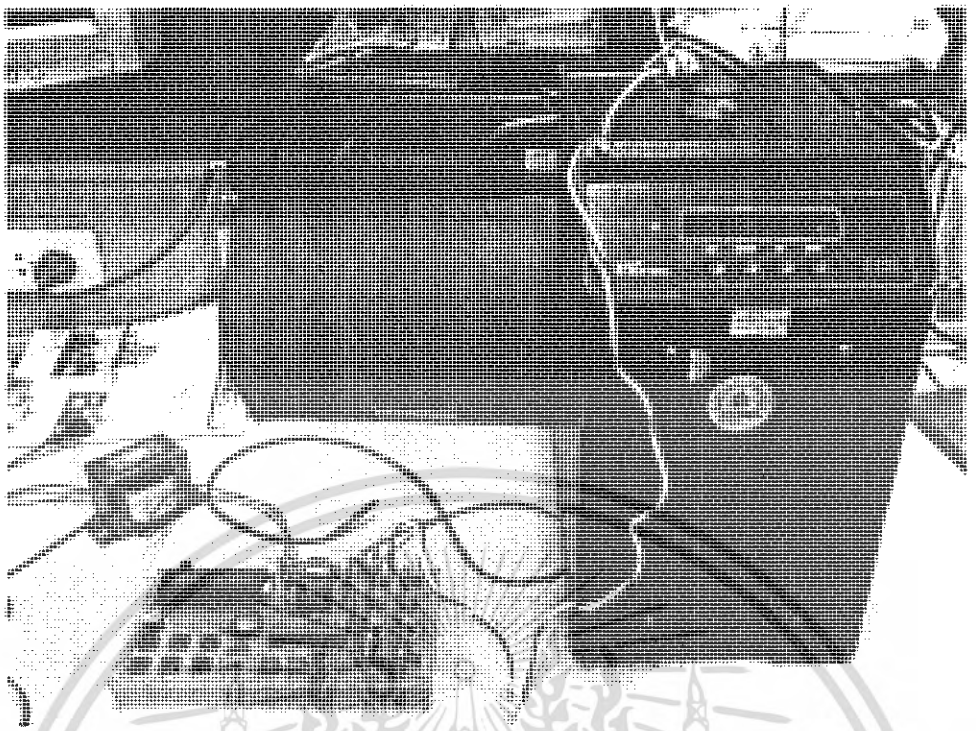
รูปที่ 7.6 แสดงการต่อ Interface กับ Sensor

1. ใช้ต่อ Interface กับ PT100 ตัว UUT
2. ใช้ต่อ Interface กับ PT100 ตัว STD
3. ใช้ต่อ Interface กับ
4. ต่อกับตัวหม้อแปลงไฟ



รูปที่ 7.7 แสดงการต่อRS232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

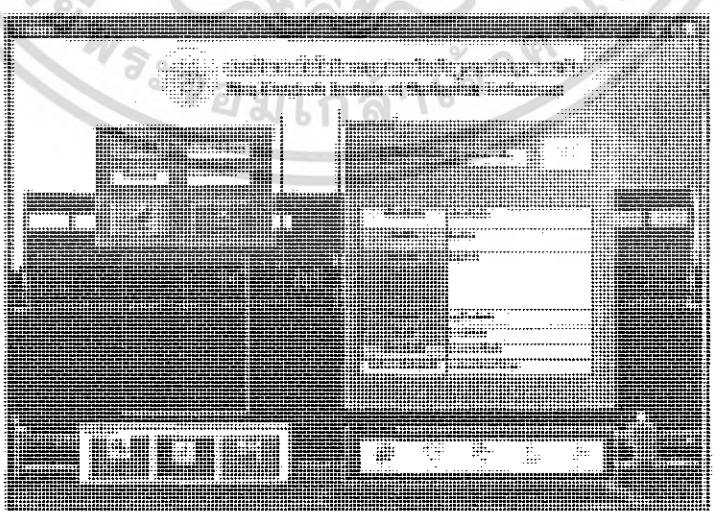


รูปที่ 7.8 รูปแสดงการต่อเพื่อเก็บอุณหภูมิ

7.3 *Display*

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนแสดงผล เก็บขอมูล Compensate , Calibrate และ สรุปผลออกมาก การทำงานของโปรแกรม Calibrate

7.3.1 หน้าหลัก

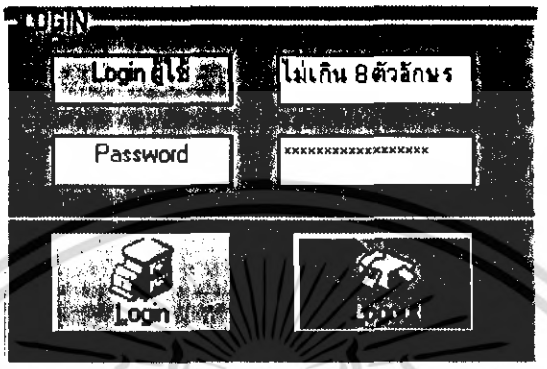


รูปที่ 7.9 หน้าหลัก

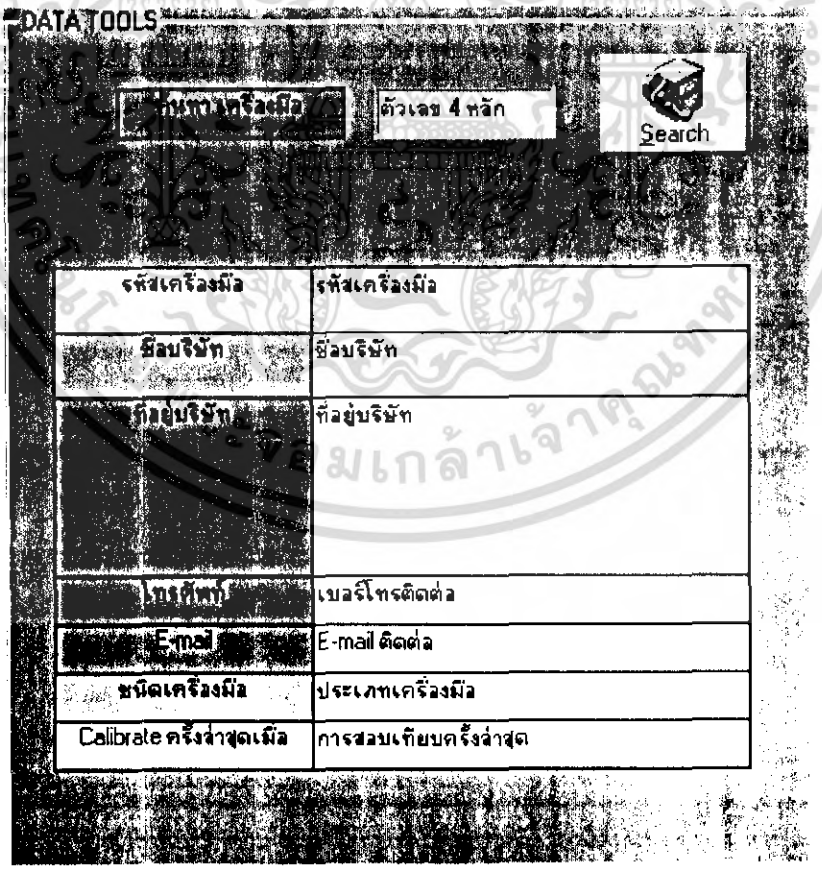
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จะเป็นหน้าจอหลัก ที่เข้ามา จะเป็น 2 ส่วน คือส่วนของการ Login และส่วนที่จะเพิ่มฐานของมูลในส่วนของประวัติเครื่องมือ (Data tool)

- จะต้องมีการ login ก่อน (User , pass ดูได้จาก access) จึงสามารถใช้งานโปรแกรมได้



รูปที่ 7.10 Login



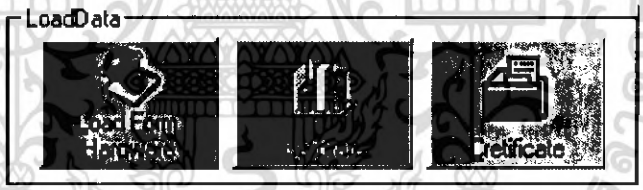
รูปที่ 7.11 Data tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีไว้สำหรับใส่ประวัติเครื่องมือ Sensor ที่จะทำการ Calibrate
- สามารถดูประวัติเครื่องมือที่มีอยู่แล้ว
- ในส่วนนี้หากเป็นเครื่องมือตัวเก่าและไม่ต้องการแก้ไข ให้ข้ามได้เลย

รูปที่ 7.12 Option file

- Add เพิ่มการประวัติเครื่องมือตัวใหม่
- Edit แก้ไขประวัติเครื่องมือเก่า
- Save หลังจาก Add หรือ Edit ใหม่แล้วจะเก็บข้อมูลค่อย Save
- Delete ลบประวัติข้อมูลที่ แสดงอยู่ (จะลบใน Data Base)
- Cancel Clear ข้อมูลที่แก้ไขอยู่หรือเพิ่มอยู่ (Clear แค่หน้าจอ)

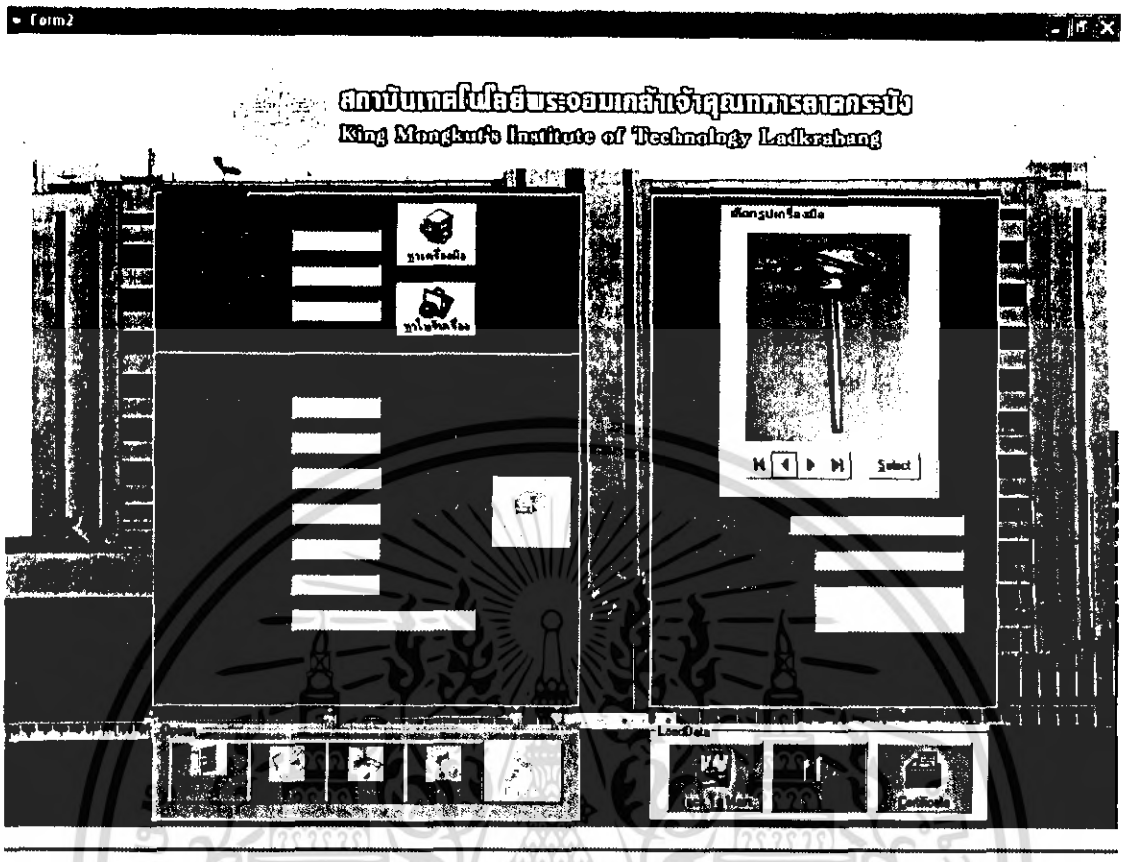


รูปที่ 7.13 แสดงปุ่มการทำงาน

- Load Form Hardware จะไปยังหน้า Load ข้อมูลจาก Hardware
- Calibrate ไปยังหน้า Calibrate สามารถดูผลและวิธีการ Calibrate ได้จากหน้านี้
- Cretificate ไปยังหน้าใบ Cretificate แสดงข้อมูลโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2 หน้า Load Hardware



รูปที่ 7.14 Load Hardware

- ในหน้านี้จะเป็นหน้าที่ Load ข้อมูลจาก Interface เข้าสู่ VB

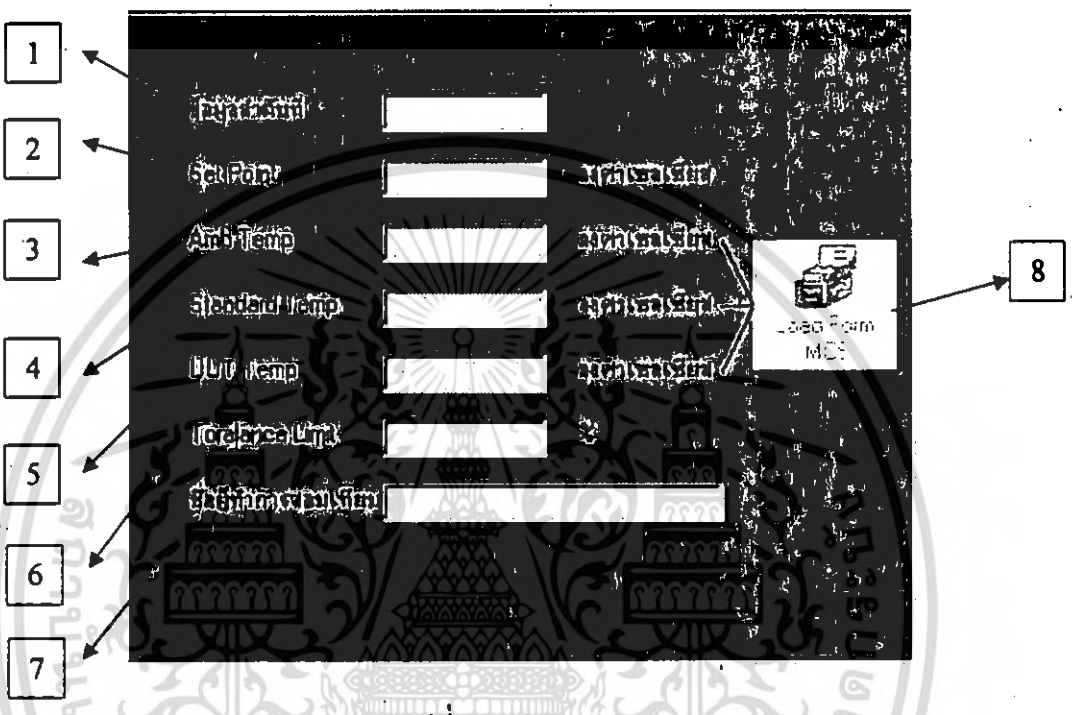
รูปที่ 7.15 Search

- ก่อนที่จะทำการ Load ข้อมูลจากตัว Interface ขึ้นมาจะต้องมีการค้นหารหัสเครื่องมือหรือค้นหาใบรับเรื่องก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จะเป็นการค้นหารหัสเครื่องมือ เพื่อที่จะเป็นการLoad ข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูลนั้น และสร้างใบรับเรื่องขึ้นมา

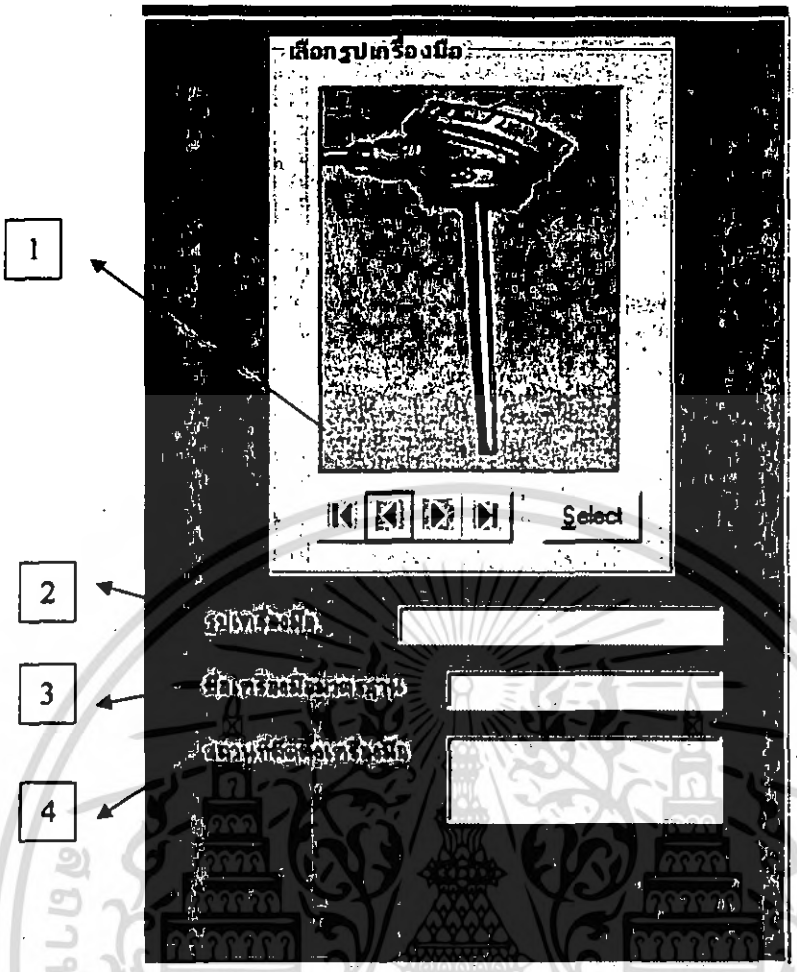
- จะเป็นการค้นหาใบรับเรื่อง เพื่อแก้ไขข้อมูล



รูปที่ 7.16 Load

1. ข้อมูลลำดับที่ จะเป็นตัวบอกว่าเป็นข้อมูลครั้งที่เท่าไรของเครื่องมือ
2. Set Point จุดของอุณหภูมิที่ทำการวัด
3. Amb Temp อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในคณะเก็บข้อมูล
4. Standard Temp อุณหภูมิจาก Sensor ที่เป็นตัวมาตราฐาน
5. UUT Temp อุณหภูมิจาก Sensor ที่เป็นตัวที่ต้องการนำมา Calibrate
6. Toralance Limit ช่วงอุณหภูมิที่ยอมรับได้เป็น %
7. ชื่อผู้ทำการสอบเทียบ
8. ปุ่มLoad ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

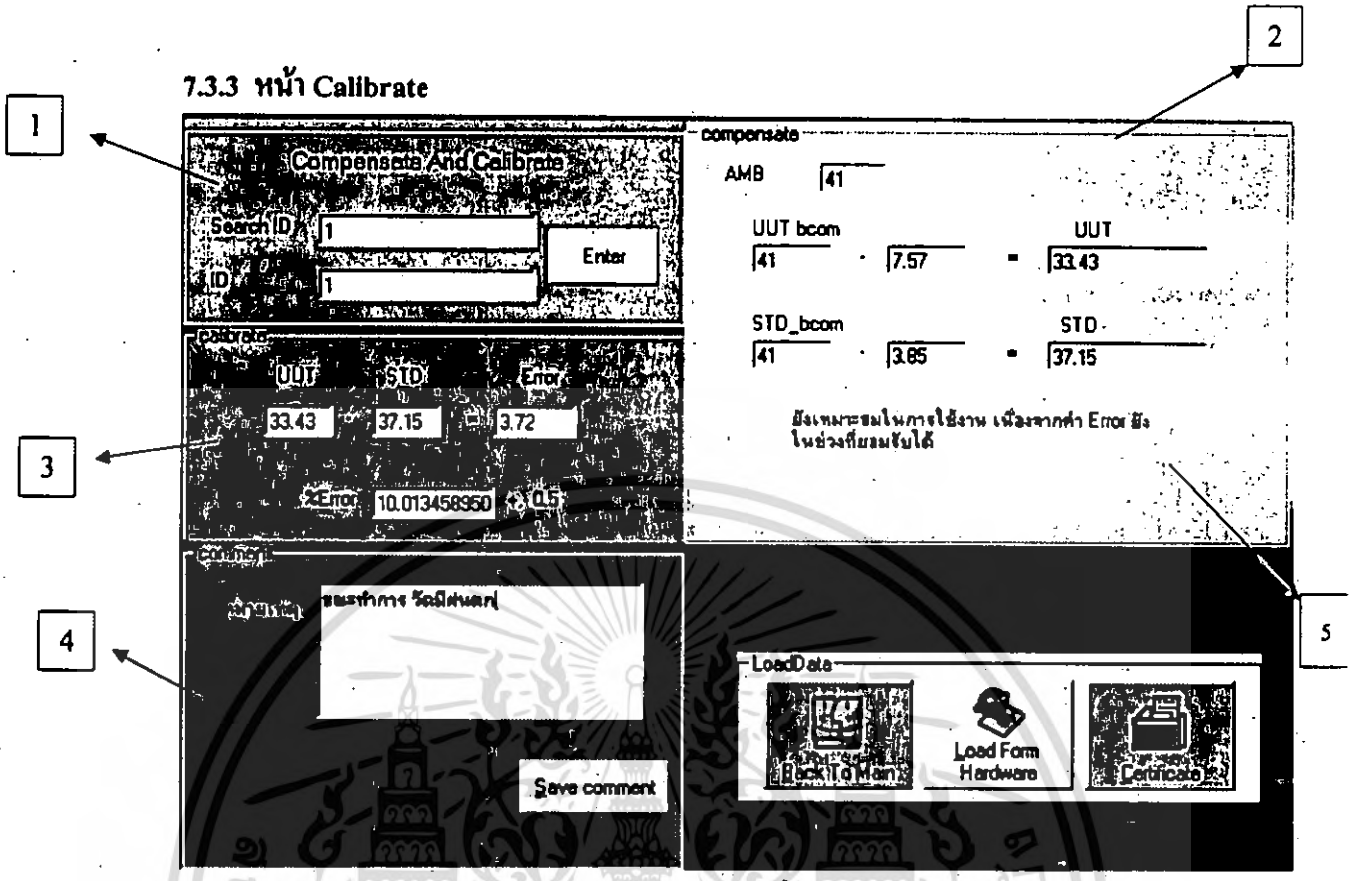


รูปที่ 7.17 Load 2

1. ใช้เลือกรูปเครื่องมือ ที่เราโหลดข้อมูล
2. บอกชื่อรูป
3. ชื่อเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ STD
4. สถานที่ติดตั้งเครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ UUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 หน้า Calibrate



รูปที่ 7.18 หน้า Calibrate

1. หาใบรับเรื่องที่ต้องการทำการ Calibrate
2. แสดงส่วนของการ Compensate
3. แสดงส่วนของการหาค่า Error
4. ส่วนที่ใช้ในการลง Comment เพิ่มเติม
5. ส่วนที่แสดงการสรุปผลว่าเครื่องมือตัวนี้สามารถใช้งานได้ หรือไม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4 ใบ certificate

รูปที่ 7.19 Certificate

- หน้านี้จะแสดงผลสรุปของการ Calibrate ซึ่งสามารถ Search จากใบรับเรื่อง

7.4 สรุปผลการทดลอง

จากการที่กลุ่มข้าพเจ้าได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกว่ามีผลต่อการสอบเทียบ ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด คือ อุณหภูมิภายนอก (Ambient) จึงได้ทำการศึกษาว่า ณ แต่ละอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient) ที่ต่างกัน จะทำให้อุณหภูมิในการวัดมีความคลาดเคลื่อนไปเท่าไหร่ และนำค่าคลาดเคลื่อนมาเขียนตารางเป็นฐานข้อมูล แล้วจึงทำการสร้างเครื่องมือในการสอบเทียบขึ้นมาเป็นตัวคำนวณหักลบค่าที่คลาดเคลื่อนนั้น โดยใช้ฐานข้อมูล และใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นตัวช่วยในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 ปัญหาที่พบ

- เกิดปัญหาเนื่องจาก Hardware ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น
- ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ Interface ไม่ค่อยนิ่ง จึงทำให้การวัดแต่ละครั้งได้ค่าไม่เท่ากัน
- ในการจูนค่าให้ได้ค่าที่อยู่ในช่วงที่ต้องการนั้นทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วรรณี แวววชาญ, สถาบันส่งเสริมศิลปะการแสดง

วิทยานิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,

ปีการศึกษา 2532 - 2533

มนต์ทิพย์ วัฒนะรังสีจร, โรงเรียนศิลปะการขับร้องและการใช้ลีลา

วิทยานิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,

ปีการศึกษา 2535 - 2536

สุรพงษ์ ชีวะถาวร, โครงการสวนศิลปะเพื่อสิ่งแวดล้อม

THE BANGKOK ART PARK

วิทยานิพนธ์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,

ปีการศึกษา 2535 - 2536

ณรุทธ์ สุทธจิตต์, พฤติกรรมการสอนดนตรี

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2536

สุรัตน์ วรางค์รัตน์, สังคีตนิยม

โรงพิมพ์คุรุสภาพลาดพร้าว

พิชัย ปรัชญานุสรณ์, สู่โลกดนตรี

หนึ่งเจ็ดการพิมพ์ กันยายน 2529

ศาสตราจารย์ไชแสง ศุขะวัฒนะ, สังคีตนิยม ว่าด้วยดนตรีตะวันตก

บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด

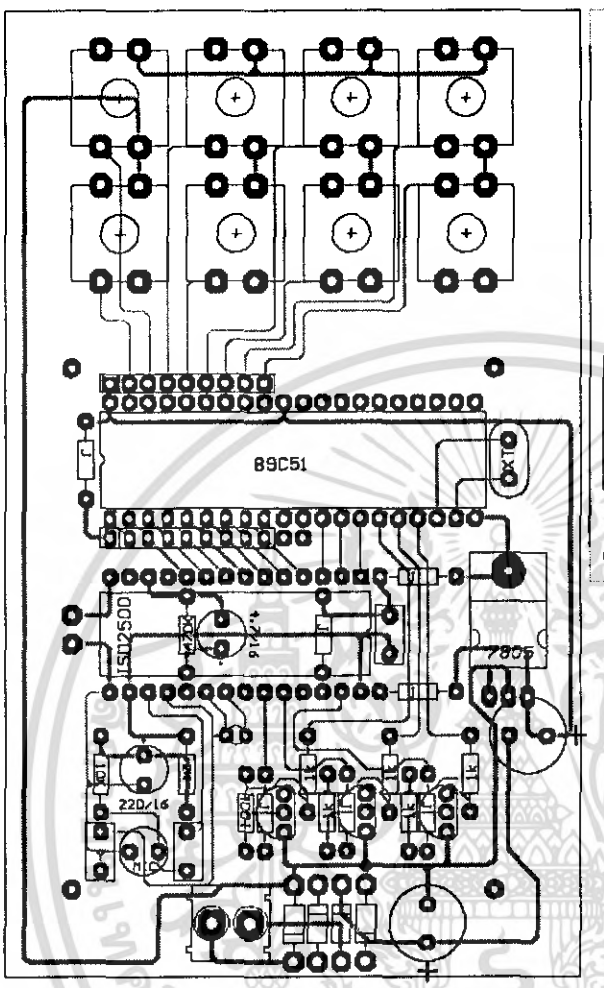
พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2535

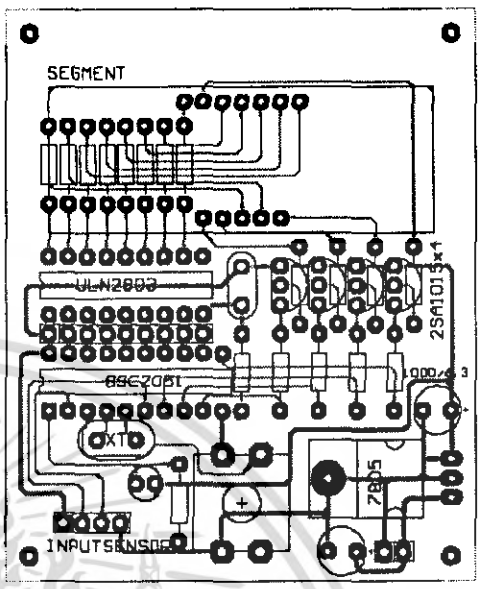
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

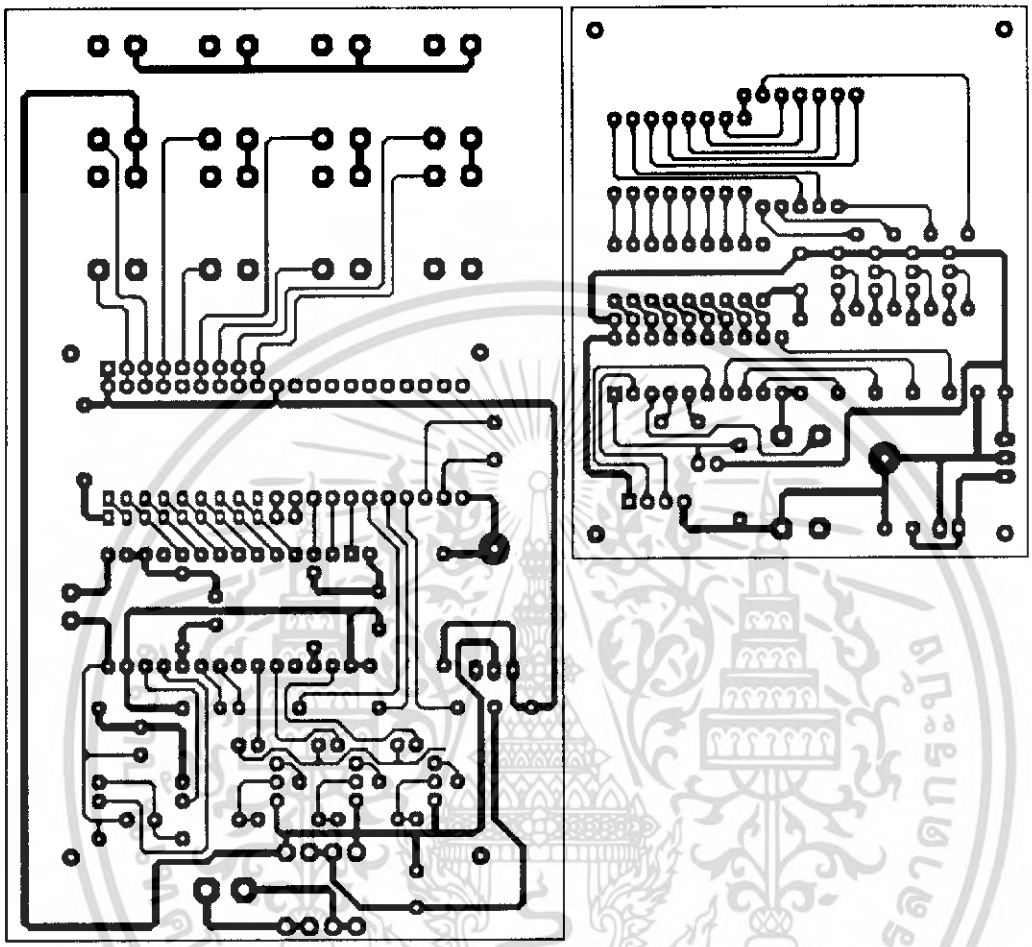
LAY OUT



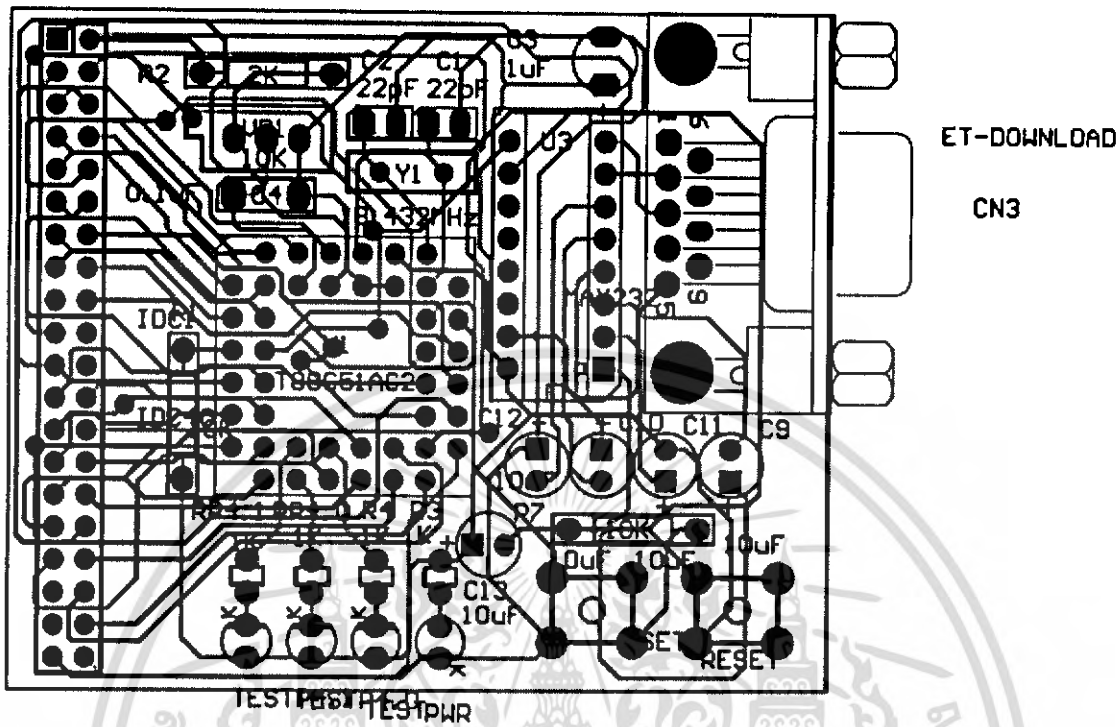


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

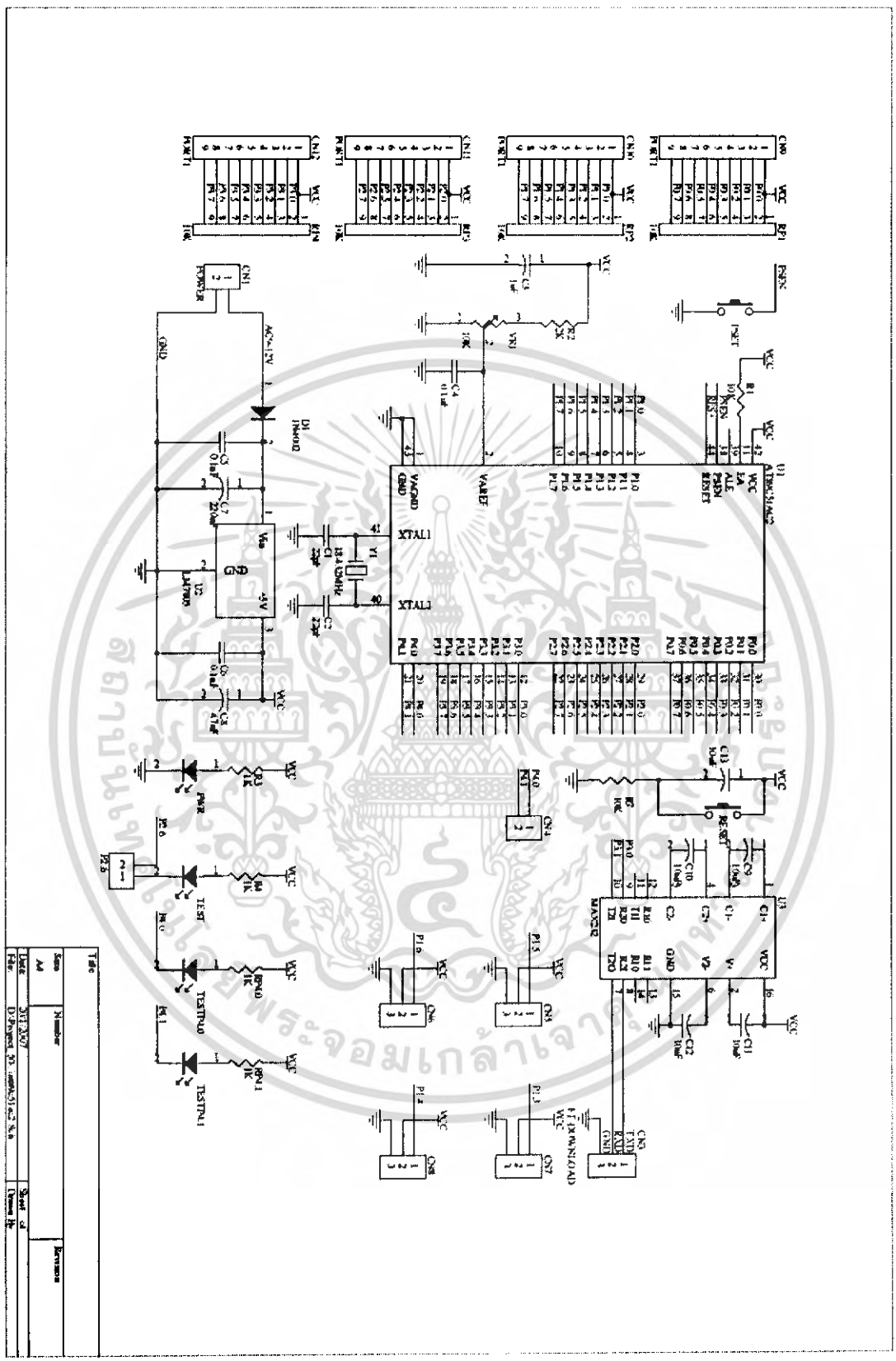
PCB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- 80C51 Core Architecture
- 256 Bytes of On-chip RAM
- 1 KB of On-chip XRAM
- 32 KB of On-chip Flash Memory
  - Data Retention: 10 Years at 85°C
    Read/Write Cycle: 10K
- 2 KB of On-chip Flash for Bootloader
- 2 KB of On-chip EEPROM
  Read/Write Cycle: 100K
- 14-sources 4-level Interrupts
- Three 16-bit Timers/Counters
- Full Duplex UART Compatible 80C51
- Maximum Crystal Frequency 40 MHz, in X2 Mode, 20 MHz (CPU Core, 20 MHz)
- Five Ports: 32 + 2 Digital I/O Lines
- Five-channel 16-bit PCA with:
  - PWM (8-bit)
  - High-speed Output
  - Timer and Edge Capture
- Double Data Pointer
- 21-bit Watchdog Timer (7 Programmable Bits)
- 10-bit Resolution Analog to Digital Converter (ADC) with 8 Multiplexed Inputs
- On-chip Emulation Logic (Enhanced Hook System)
- Power Saving Modes:
  - Idle Mode
  - Power-down Mode
- Power Supply: 3V to 5.5V
- Temperature Range: Industrial (-40° to +85°C)
- Packages: VQFP44, PLCC44

Description

The A/T89C51AC2 is a high performance Flash version of the 80C51 single chip 8-bit microcontrollers. It contains a 32 KB Flash memory block for program and data.

The 32 KB Flash memory can be programmed either in parallel mode or in serial mode with the ISP capability or with software. The programming voltage is internally generated from the standard VCC pin.

The A/T89C51AC2 retains all features of the 80C51 with 256 bytes of internal RAM, a 7-source 4-level interrupt controller and three timer/counters. In addition, the A/T89C51AC2 has a 10-bit A/D converter, a 2 KB Boot Flash memory, 2 KB EEPROM for data, a Programmable Counter Array, an XRAM of 1024 bytes, a Hardware Watch-Dog Timer, and a more versatile serial channel that facilitates multiprocessor communication (EUART). The fully static design of the A/T89C51AC2 reduces system power consumption by bringing the clock frequency down to any value, even DC, without loss of data.

The A/T89C51AC2 has two software-selectable modes of reduced activity and an 8-bit clock prescaler for further reduction in power consumption. In the idle mode the CPU is frozen while the peripherals and the interrupt system are still operating. In the Power-down mode the RAM is saved and all other functions are inoperative.

The added features of the A/T89C51AC2 make it more powerful for applications that need A/D conversion, pulse width modulation, high speed I/O and counting capabilities such as industrial control, consumer goods, alarms, motor control, among others. While remaining fully compatible with the 80C52, the T8C51AC2 offers a superset of this standard microcontroller. In X2 mode, a maximum external clock rate of 20 MHz reaches a 300 ns cycle time.

Enhanced 8-bit Microcontroller with 32 KB Flash Memory

AT89C51AC2
T89C51AC2

Rev. 4127G–8051–05/06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5MHz, BiMOS Operational Amplifier with MOSFET Input/Bipolar Output

The CA3140A and CA3140 are integrated circuit operational amplifiers that combine the advantages of high voltage PMOS transistors with high voltage bipolar transistors on a single monolithic chip.

The CA3140A and CA3140 BiMOS operational amplifiers feature gate protected MOSFET (PMOS) transistors in the input circuit to provide very high input impedance, very low input current, and high speed performance. The CA3140A and CA3140 operate at supply voltage from 4V to 36V (either single or dual supply). These operational amplifiers are internally phase compensated to achieve stable operation in unity gain follower operation, and additionally, have access terminal for a supplementary external capacitor if additional frequency roll-off is desired. Terminals are also provided for use in applications requiring input offset voltage nulling. The use of PMOS field effect transistors in the input stage results in common mode input voltage capability down to 0.5V below the negative supply terminal, an important attribute for single supply applications. The output stage uses bipolar transistors and includes built-in protection against damage from load terminal short circuiting to either supply rail or to ground.

The CA3140A and CA3140 are intended for operation at supply voltages up to 36V (±18V)

Ordering Information

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3140AE	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140AM (3140A)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA3140M (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC	M8.15
CA3140M96 (3140)	-55 to 125	8 Ld SOIC Tape and Reel	

Features

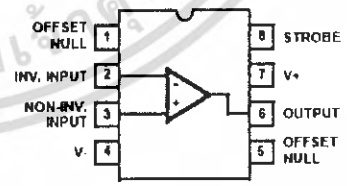
- MOSFET Input Stage
  - Very High Input Impedance (Z_{IN}) -1.5TΩ (Typ)
  - Very Low Input Current (I_I) -10pA (Typ) at ±15V
  - Wide Common Mode Input Voltage Range (V_{ICR}) - Can be Swung 0.5V Below Negative Supply Voltage Rail
  - Output Swing Complements Input Common Mode Range
- Directly Replaces Industry Type 741 in Most
- Applications

Applications

- Ground-Referenced Single Supply Amplifiers in Automobile and Portable Instrumentation
- Sample and Hold Amplifiers
- Long Duration Timers/Multivibrators (μseconds-Minutes-Hours)
- Photocurrent Instrumentation
- Peak Detectors
- Active Filters
- Comparators
- Interface in 5V TTL Systems and Other Low Supply Voltage Systems
- All Standard Operational Amplifier Applications
- Function Generators
- Tone Controls
- Power Supplies
- Portable Instruments
- Intrusion Alarm Systems

Pinout

CA3140 (PDIP, SOIC)
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Follow proper IC Handling Procedures.
1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Intersil (and design) is a registered trademark of Intersil Americas Inc.
Copyright © Intersil Americas Inc. 2002. All Rights Reserved
All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DALLAS SEMICONDUCTOR

DS1307
64 x 8 Serial Real-Time Clock

www.maxim-ic.com

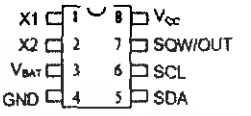
FEATURES

- Real-time clock (RTC) counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap-year compensation valid up to 2100
- 56-byte, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

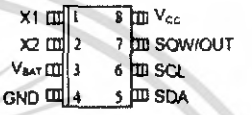
ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)



DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

PIN DESCRIPTION

V_{CC}	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Connection
V_{BAT}	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF151
LF251 - LF351

WIDE BANDWIDTH SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/µs (typ)

N
DIP8
(Plastic Package)

D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

These circuits are high speed J-FET input single-operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

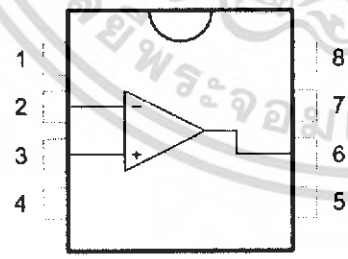
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	-40°C, +105°C	•	•
LF151	-55°C, +125°C	•	•

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Offset null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Offset null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^+
8 - N.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19-4323; Rev 9; 4/00

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where ±12V is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5µW. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers

Low-Power Modems

Interface Translation

Battery-Powered RS-232 Systems

Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- **Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)**
- **Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)**
- **Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications**
- **Multiple Drivers and Receivers**
- **3-State Driver and Receiver Outputs**
- **Open-Line Detection (MAX243)**

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

**Contact factory for dice specifications.*

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (µF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	4.7/10	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✔	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✔	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✔	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✔	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✔	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✔	120	Available in quad flatpack package

For free samples & the latest literature: http://www.maxim-ic.com, or phone 1-800-998-8800.
For small orders, phone 1-800-835-8769.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP320X 12-Bit Analog-to-Digital Converters

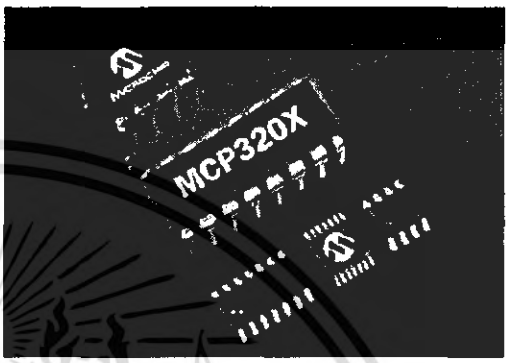
Product Information

The Microchip MCP320X family of 12-bit analog-to-digital converters (ADCs) combines high performance and low power consumption in a small package – making it ideal for embedded control applications.

Consisting of the MCP3201, MCP3202, MCP3204 and MCP3208, the MCP320X family features a successive approximation register (SAR) architecture and an industry-standard SPI™ serial interface. Devices are available with 1, 2, 4 or 8 input channels and in PDIP, SOIC and TSSOP packages.

The MCP320X family offers existing Microchip customers added flexibility when incorporating analog inputs into their designs. The industry standard SPI interface allows 12-bit ADC capability to be added to any PICmicro® microcontroller. In addition, new customers will find the performance and price of the MCP320X family very attractive.

Applications for the MCP320X family include data acquisition, instrumentation and measurement, multi-channel data loggers, industrial PCs, motor control, robotics, industrial automation, smart sensors, portable instrumentation and home medical appliances.



Features:

- 100k samples/second
- 1, 2, 4 or 8 channels
- Low Power: 500 nA typical standby, 400 µA typical active
- ±1 LSB INL, ±1 LSB DNL (B grade)
- No missing codes
- Industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Single supply operation: 2.7V to 5.5V
- SPI serial interface
- PDIP and SOIC packages

Related Application Notes:

- AN679 Temperature Sensing Technologies
- AN684 Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples
- AN685 Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits
- AN687 Precision Temperature Sensing with RTD Circuits
- AN688 Layout Tips for 12-bit Applications
- AN699 Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems
- AN702 Interfacing the MCP3201 ADC to an 8051-based Microcontroller
- AN704 Interfacing the MCP3201 ADC to an MC68HC11E9-based Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้