

เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ  
AUTOMATIC WEATHER STATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

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

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 49927

วันเดือนปี 2 ๒๕๔๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ  
AUTOMATIC WEATHER STATION

โดย

นายบุญถึง

บุญแทน

นายปิยะพงษ์

เจริญคุปต์

นางสาวปิยะวรรณ

หาทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ปรีชานันท์

ศรีแก้ว

อาจารย์วุฒ

อุดมแพทยกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นายบุญถึง บุญแทน
2. นายปิยะพงษ์ เจริญคุปต์
3. นางสาวปิยะวรรณ หาททรัพย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ

บุญถึง	บุญแทน	
ปิยะพงษ์	เจริญคุปต์	
ปิยะวรรณ	หาทรัพย์	
ปรีชานันท์	ศรีแก้ว	อาจารย์ที่ปรึกษา
วสุ	อุดมเพทายกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545		

### บทคัดย่อ

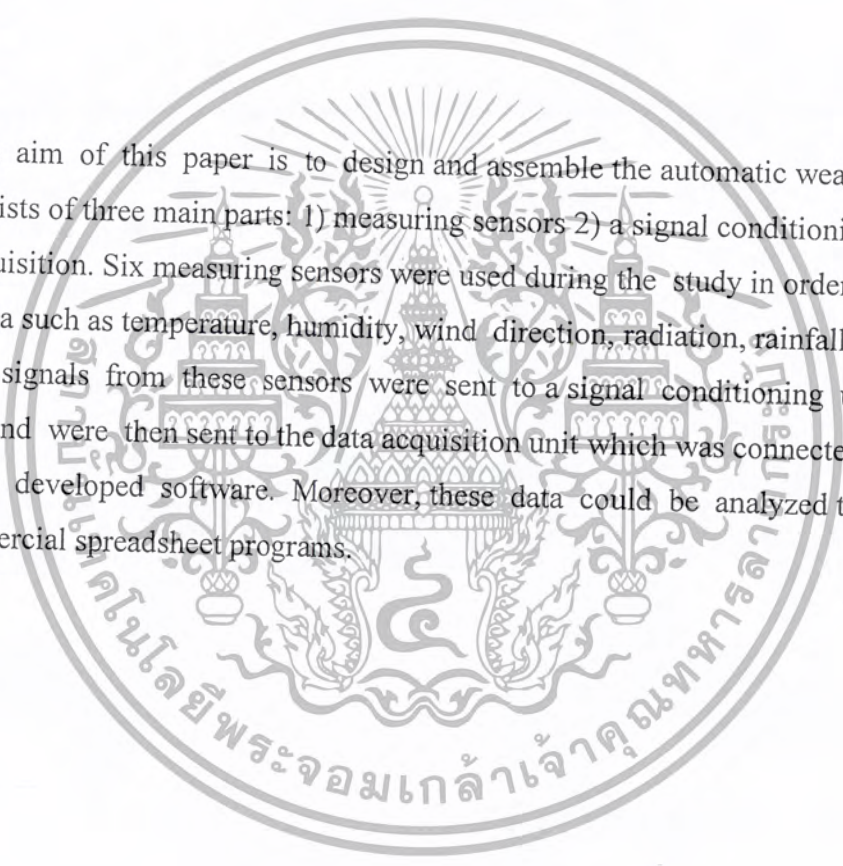
ชุดเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ Sensor ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ชุด Signal Conditioning และชุด Data Logger ส่วนที่เป็น Sensor ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศประกอบด้วย Sensor สำหรับวัดอุณหภูมิ ความชื้น ทิศทางลม ความเข้มแสง ปริมาณน้ำฝนและความเร็วลม ซึ่งจะส่งสัญญาณข้อมูลเข้าสู่วงจร Signal Conditioning เพื่อปรับแต่งสัญญาณแล้วจึงส่งข้อมูลเข้าสู่ชุด Data Logger เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดย Software ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น ส่วนการนำข้อมูลไปวิเคราะห์และใช้งานสามารถนำไปใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปได้ เช่น Microsoft Excel เป็นต้น

## AUTOMATIC WEATHER STATION

Boontung	Boontan	
Piyapong	Chalernkup	
Piyawan	Hasub	
Preechanan	Srikaew	Advisor
Wasu	Udompataikul	Advisor
2002		

### Abstract

The aim of this paper is to design and assemble the automatic weather station, which consists of three main parts: 1) measuring sensors 2) a signal conditioning unit and 3) data acquisition. Six measuring sensors were used during the study in order to collect climatic data such as temperature, humidity, wind direction, radiation, rainfall, and wind speed. All signals from these sensors were sent to a signal conditioning unit to be modified, and were then sent to the data acquisition unit which was connected to the PC through the developed software. Moreover, these data could be analyzed through any other commercial spreadsheet programs.



## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญรูปภาพ	(ข)
สารบัญตาราง	(ค)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประเภทการตรวจอากาศ	2
2.2 องค์ประกอบอุตุนิยมวิทยา	2
2.3 ประโยชน์ของข้อมูลและสถิติภูมิอากาศ	4
2.4 วงจรขยายสัญญาณ Op-Amp	6
2.5 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์	10
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.7 พอร์ตอนุกรม	21
2.8 Data Logger	25
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การศึกษาคุณสมบัติของ Sensor	28
3.2 การออกแบบวงจร Signal Conditioning	33
3.3 การออกแบบและสร้างโปรแกรม	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor และการออกแบบ วงจร Signal conditioning	38
4.2 ผลการทดสอบใช้งาน	43
4.3 การทดลองเก็บข้อมูลโดยชุดเก็บข้อมูล	45
บทที่ 5 สรุปผล	
5.1 สรุปผล	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	56
ภาคผนวก ค	77
กิตติกรรมประกาศ	(ง)
บรรณานุกรม	(จ)



สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างภายในของ Op-Amp	7
2.2 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ Op-Amp	7
2.3 วงจรขยายกลับเฟส	8
2.4 แสดง Non Inverting Amplifier	9
2.5 แสดงหลักการของ Virtual short	9
2.6 (ก) แสดงชื่อขาสัญญาณต่างๆของ Op-Amp	10
(ข) แสดงตำแหน่งขาของ IC โดยเริ่มต้นขาที่ 1 จาก “จุด” หรือ “บาก”	10
(ค) แสดงรูปของ IC	10
2.7 (ก) แสดง primary sensor สำหรับวัดแรง	12
(ข) แสดง primary sensor สำหรับวัดความดัน	12
(ค) แสดง primary sensor สำหรับวัดอุณหภูมิ	12
2.8 ทรานซิสเตอร์ค่าความจุชนิดร่องว่างเปลี่ยนแปลง	13
2.9 ทรานซิสเตอร์ค่าความจุชนิดพื้นที่เปลี่ยนแปลง	13
2.10 ทรานซิสเตอร์ค่าความจุชนิดพื้นที่เปลี่ยนแปลง(สำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน)	13
2.11 โฟโตมิสซีสทรานซิสเตอร์	14
2.12 วัสดุโฟโตคอนดักทีฟ	14
2.13 โฟโตโวลทาอิกทรานซิสเตอร์	15
2.14 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx	16
2.15 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel	17
2.16 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5X, AT89CX051	18
2.17 แสดงวงจรมภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	20
2.18 แสดงรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	22
2.19 แสดงรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	23
2.20 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	25
2.21 แสดงโครงสร้างและลักษณะการทำงานของ Data Logger	27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Sensor วัดอุณหภูมิ	38
4.2 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดอุณหภูมิ	38
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับ Sensor วัดความชื้น	39
4.4 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดความชื้น	39
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลมกับ Sensor วัดทิศทางลม	40
4.6 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดทิศทางลม	40
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับ Sensor วัดความเข้มแสง	41
4.8 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดความเข้มแสง	41
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับจำนวนครั้งการกระดกของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน	42
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับอุณหภูมิ	43
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับทิศทางลม	43
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับความชื้น	44
4.13 กราฟแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลา 7.00 – 18.00 น.	45
4.14 กราฟแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลความชื้นระหว่างเวลา 7.00 – 19.00 น.	45
4.15 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลอุณหภูมิตั้งกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	46
4.16 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	46
<b>ภาพผนวกที่</b>	
ข. 1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ	58
ข. 2 แสดงส่วนประกอบของชุด Signal Conditioning	59
ข. 3 แสดงส่วนประกอบของชุด ADC Board	59
ข. 4 แสดงส่วนประกอบของชุด CPU Board	60
ข. 5 แสดงการติดตั้ง Sensor เข้ากับชุด Signal Conditioning	60
ข. 6 แสดงการติดตั้งชุด ADC Board กับชุด Signal Conditioning	61
ข. 7 แสดงการติดตั้งชุด ADC Board กับชุด CPU Board	62
ข. 8 แสดงส่วนในการควบคุมและปรับค่าการทำงานของ Data Logger	63
ค. 1 แสดงการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดอุณหภูมิ	77
ค. 2 แสดงการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดอุณหภูมิ	77

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

ก. 3 แสดงการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดทิศทางลม

หน้า

81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างของทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปในทางปฏิบัติ	11
4.1 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.2	38
4.2 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.4	39
4.3 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.6	40
4.4 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.8	41
<b>ตารางผนวกที่</b>	
ก.1 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดอุณหภูมิ	48
ก.2 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดความชื้น	48
ก.3 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดทิศทางลม	49
ก.4 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดความเข้มแสง	49
ก.5 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน	49
ก.6 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดอุณหภูมิ กับชุด Data Logger	50
ก.7 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดทิศทางลม กับชุด Data Logger	50
ก.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดความชื้น กับชุด Data Logger	51
ก.9 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูล	52
ก.10 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูลที่เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน	54

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำ

ภูมิอากาศมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์มาโดยตลอด ในประวัติศาสตร์ที่ผ่านมามนุษย์มักเฝ้าดูและเรียนรู้ลักษณะอากาศ เรียนรู้ถึงวิถีทางที่สภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ เรียนรู้ที่จะใช้ประโยชน์จากสภาพภูมิอากาศแบบหนึ่ง และหลีกเลี่ยงจากสภาพอากาศอีกแบบหนึ่งที่ไม่เอื้ออำนวยให้เกิดประโยชน์ เพื่อที่จะสามารถจัดการกับชีวิตความเป็นอยู่ได้อย่างเหมาะสมในแต่ละสภาพอากาศ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องอาหาร การออกแบบที่อยู่อาศัย การทำเกษตรกรรม หรือ การเดินทาง

ปัจจุบันแม้ว่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่างๆ จะมีเพิ่มมากขึ้น แต่ความสำคัญของภูมิอากาศไม่ได้ลดน้อยลงกลับยังมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะประชากรได้ทวีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ทำให้มีการวางแผนเพื่อรองรับสถานการณ์ดังกล่าว ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศนอกจากจะมีประโยชน์ต่อชีวิตความเป็นอยู่ และความสุขสบายของมนุษย์โดยตรง แล้วยังมีประโยชน์ต่อการศึกษาในเรื่องต่างๆ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาเรื่องอื่นๆ

คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญเกี่ยวกับข้อมูลทางภูมิอากาศ จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบสร้าง และพัฒนาสถานีตรวจวัด และบันทึกสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น เนื่องจากมีการบันทึกข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่มีประสิทธิภาพ และความแม่นยำสูงต่อไป

#### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ใช้ Sensor จากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หมายเลขครุภัณฑ์ 39 วศ. 6660-1-1-1 ส่วนชุดเก็บข้อมูลจะดำเนินการออกแบบ และสร้างใหม่โดยมีความละเอียดของข้อมูลขนาด 12 bit เนื่องจากชุดเก็บข้อมูลเดิมชำรุด อีกทั้งยังไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ประเภทการตรวจอากาศ

อุตุนิยมวิทยาในประเทศไทยแบ่งแยกออกเป็นหลายสาขาตามความเหมาะสม และมีการตรวจวัดสภาพอากาศตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. การตรวจอากาศผิวพื้นและอากาศตอนบน (*Surface and Upper Air Observation*) เป็นการตรวจวัดองค์ประกอบอุตุนิยมวิทยา เพื่อให้ได้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้งภาคพื้นดิน (Ground segment) และภาคอวกาศ (Space segment) นำไปใช้ในการพยากรณ์อากาศ เตือนภัย สถิติ และแลกเปลี่ยนระหว่างประเทศ
2. การตรวจอากาศทะเล (*Marine Observation*) เพื่อนำไปรวบรวมทำฐานข้อมูล วิเคราะห์ และศึกษาวิจัยปรากฏการณ์ทางทะเล ศึกษาพฤติกรรมคลื่น พยากรณ์คลื่น และการเตือนภัย
3. การตรวจมลภาวะและรังสีไอโอโซน (*Air Turbidity, Solar Radiation and Atmospheric Ozone Observation*) เป็นการตรวจรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณก๊าซไอโอโซน ฝุ่นละออง ความขุ่นมัวของบรรยากาศ การเก็บตัวอย่างน้ำฝน การหาระยะทางเดินของแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศ ทำการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์
4. การตรวจอากาศเกษตร (*Agricultural Observation*) โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจอากาศจะนำไปวิเคราะห์ และพยากรณ์อากาศเพื่อการเกษตร ออกคำเตือนเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศที่เป็นภัยต่อการเกษตร ให้บริการข้อมูล และสถิติทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำไปดำเนินการทางด้านการเกษตรให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับสภาพลมฟ้าอากาศ
5. การตรวจอุตุนิยมวิทยาอุทก (*Hydro Meteorological Observation*) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม คมนาคม การพัฒนาแหล่งน้ำ รวมทั้งการพยากรณ์น้ำ และออกข่าวเตือนภัยน้ำท่วม
6. การตรวจอากาศการบิน (*Aeronautical Observation*) เป็นการตรวจเพื่อการบินตรวจพิเศษเมื่อมีลักษณะอากาศร้าย และเมื่อได้รับการร้องขอ ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ และพยากรณ์อากาศการบิน ออกคำเตือนลักษณะอากาศที่จะเป็นอันตรายต่อเครื่องบินทั้งใน และระหว่างประเทศ รวมทั้งคำแนะนำเกี่ยวกับงานอากาศการบินแก่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาค

### 2.2 องค์ประกอบอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Element)

การตรวจอากาศ หมายถึง การตรวจวัดปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของลมฟ้าอากาศ เรียกปัจจัยเหล่านี้ว่า องค์ประกอบอุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ในการตรวจวัดแบ่งออกเป็น 9 ปัจจัยหลักๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความกดอากาศ (Atmospheric Pressure) หมายถึง แรงกดอากาศซึ่งเกิดจากมวลอากาศและแรงดึงดูดศูนย์กลางของโลกกดลงบนพื้นผิวโลก กล่าวคือ บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกซึ่งมีน้ำหนักมากถูกแรงดึงดูดของโลกดึงลงสู่ศูนย์กลางของโลก จึงมีผลให้เกิดแรงกดกระจายลงบนพื้นผิวโลก แต่ค่าความกดอากาศจะไม่เท่ากันทั่วทุกจุดของพื้นโลก ด้วยสาเหตุ 2 ประการ คือ รูปร่างของโลกซึ่งมีผิวขรุขระสูงต่ำไม่เหมือนกัน และอุณหภูมิอากาศทั่วโลกไม่เท่ากัน หน่วยความกดอากาศที่ใช้กันอยู่ คือนิวตัน มิลลิเมตร มิลลิบาร์ และเฮกโตปาสกาล

2. อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง ระดับหรือสถานะความร้อนหรือความเย็นของวัตถุหรือสสาร การที่วัตถุมีความร้อนหรือเย็นแตกต่างกันนั้น มีสาเหตุเนื่องจากวัตถุนั้นมีพลังงานที่ได้มาจากการเคลื่อนที่ของอนุที่ประกอบขึ้นเป็นวัตถุนั้นแตกต่างกัน หน่วยที่ใช้วัดอุณหภูมิ คือ องศาเซลเซียส และองศาฟาเรนไฮต์

3. ความชื้นอากาศ (Humidity) หมายถึง ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเหนือพื้นผิวโลก ตามปกติอากาศในธรรมชาติจะมีไอน้ำปนอยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไอน้ำในอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในบรรยากาศ เนื่องจากไอน้ำในอากาศเป็นปัจจัยที่ควบคุมการระเหย และการคายน้ำของพืช ความชื้นอากาศมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และสามารถหาค่าของจำนวนของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศได้หลายวิธีด้วยกันดังนี้ คือ ความกดไอน้ำ (Vapor Pressure) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) อุณหภูมิตุ้มเปียก (Wet Bulb Temperature) ความชื้นแท้ (Absolute Humidity) จุดน้ำค้าง (Dew Point) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) และ Mixing Ratio

4. การระเหยของน้ำ (Evaporation) เป็นการเพิ่มไอน้ำให้แก่อากาศ อาจระเหยไปได้โดยตรงจากผิวน้ำหรือมาจากผิวดินที่ยังมีปริมาณน้ำที่สามารถระเหยได้ หน่วยวัดการระเหยของน้ำ ได้แก่ เซนติเมตร มิลลิเมตร และนิ้ว การระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าขึ้นกับปัจจัยหลัก คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์อุณหภูมิผิวน้ำหรือผิวดิน ความแตกต่างของแรงดันไอน้ำในอากาศกับผิวน้ำ และลม

5. ลม (Wind) หมายถึง อากาศที่เคลื่อนไหลวถวมแนวนอน ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความสมดุลทางธรรมชาติของอากาศ คือ อากาศได้รับพลังงานเข้าไปในระบบไม่เท่ากัน เป็นผลให้อากาศร้อนขึ้นและขยายตัวไม่เท่ากัน อากาศบริเวณที่ร้อนกว่าจะขยายตัว และลอยสูงขึ้นทำให้บริเวณนั้นมีอากาศบาง ความกดอากาศต่ำ อากาศบริเวณข้างเคียงซึ่งได้รับพลังงานน้อยกว่า เย็นกว่า และมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลมพัด ตรวจวัดได้ 3 ค่า คือ

- ความเร็วลม (Wind Speed or Force) มีหน่วยวัด คือ นีอิต เมตรต่อวินาที กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ต่อชั่วโมง และฟุตต่อวินาที
- ทิศทางลม (Wind Direction) เรียกตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจริง (ทิศเหนือตามภูมิศาสตร์) ตามปกติบันทึกเป็น 8 ทิศ หรือ 16 ทิศ
- ระยะทางลม (Wind Run) มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมฆ (Cloud) หมายถึง กลุ่มละอองน้ำที่รวมตัวกันเป็นปริมาณมาก ลอยอยู่ในอากาศเหนือพื้นดิน และสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเป็นปัจจัยหนึ่งของอากาศที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของบรรยากาศอย่างชัดเจน ความถูกต้องในการตรวจลักษณะ (ชนิด) และจำนวนเมฆ จะช่วยวิเคราะห์ลมฟ้าอากาศ ตลอดจนพยากรณ์อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพการตรวจเมฆจะได้ 3 ค่า คือ ชนิดเมฆ ความสูงเมฆ และจำนวนเมฆในท้องฟ้า

7. น้ำฟ้า (Precipitation) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เม็ดน้ำในอากาศตกลงสู่พื้นดินด้วย รูปร่างและสถานะแตกต่างกัน เช่น ของเหลวหรือของแข็ง การตรวจวัดน้ำฟ้ามีลักษณะต่างๆ กัน คือ ฝน น้ำค้าง น้ำค้างแข็ง ลูกเห็บ และหิมอก

8. พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) โดยปกติแล้วพลังงานที่มีในโลกมากกว่า 99% เป็นพลังงานที่ได้มาจากแสงอาทิตย์มีเพียงส่วนน้อย (น้อยกว่า 1%) เป็นพลังงานที่ได้จากภายในโลก และจากสารกัมมันตภาพรังสี พลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่โลกได้รับมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ 99% เป็นคลื่นสั้นที่สามารถให้พลังงาน และนำเอาไปใช้ในขบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสง การเพิ่มอุณหภูมิดิน การเพิ่มอุณหภูมิอากาศ และการระเหยของน้ำ

การตรวจวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) และรังสีจากพื้นโลก (Terrestrial Radiation) ในด้านที่เกี่ยวข้องกับงานอุตุนิยมวิทยามีวัตถุประสงค์ 4 ประการ ได้แก่ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานระหว่างโลกกับบรรยากาศ และการผันแปรของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับเวลาและระยะทาง เพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับความสลับของบรรยากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละอองและไอน้ำ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการแผ่กระจาย และการผันแปรของปริมาณรังสีที่ตกสู่พื้นโลก รังสีที่แผ่จากพื้นผิวโลกรวมทั้งปริมาณรังสีรวม เพื่อศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติ และประโยชน์ของรังสีในด้านที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาอื่น คือ ชีววิทยา การแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม หน่วยของความเข้มของรังสีใช้หน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) และหน่วยของค่ารังสีรวม จะเป็นมิลลิวัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{mW}\cdot\text{hr}/\text{cm}^2$ )

9. ททัศนวิสัย (Visibility) หมายถึง ความสามารถในการมองเห็นระยะไกลได้ด้วยตาเปล่า ถ้ามีหมอกหรือฝนตกหนัก ก็จะทำให้ทัศนวิสัยไม่ดี

### 2.3 ประโยชน์ของข้อมูลและสถิติภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศในปัจจุบันมีประโยชน์ต่อมนุษย์ในหลายๆ ด้าน ซึ่งอาจแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ เมื่อมีการพัฒนาทางด้านต่างๆ มากขึ้น ประเทศใดมีการวางแผนการผลิตเพื่อให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ และต้นทุนต่ำจะมีเศรษฐกิจดี ประชากรในประเทศ อยู่ดีกินดีทำให้สามารถพัฒนาประเทศไปได้อย่างรวดเร็ว การวางแผนเพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่ง คือ ข้อมูลภูมิอากาศ ประโยชน์ของข้อมูลภูมิอากาศ ทางด้านเศรษฐกิจอาจแบ่งย่อยได้ดังนี้ คือ

- ด้านการเกษตร ข้อมูลภูมิอากาศมีประโยชน์อย่างมากทางด้านการเกษตร เช่น การวางแผน การเพาะปลูก การคัดเลือกพันธุ์ การวางแผนปราบศัตรูพืช และการใช้ที่ดิน
- ด้านอุตสาหกรรม ข้อมูลภูมิอากาศนับว่ามีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมแบบครบวงจร ตั้งแต่ การเลือกทำเลสถานที่ตั้งโรงงาน การออกแบบโรงงาน การผลิตสินค้าบางประเภทที่จำเป็นต้องทราบข้อมูลภูมิอากาศ เพื่อประโยชน์ในการผลิต
- ด้านธุรกิจ สามารถรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ และนำมาใช้ในการวางแผนด้านการตลาด ให้สามารถจำหน่ายสินค้าได้มากที่สุด และใช้เป็นตัวกำหนดเป้าหมายการขายในธุรกิจ บางประเภท
- ด้านการคมนาคมและขนส่ง เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งช่วยให้การคมนาคม และการขนส่งเป็นไปได้ ด้วยความปลอดภัย และประหยัด รวมถึงการออกแบบก่อสร้างถนนเพื่อให้สามารถใช้ในการ การคมนาคมได้สะดวก
- ด้านการวางแผน การวางแผนในบางเรื่องมีส่วนสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจาก งบประมาณ หรือระบบเศรษฐกิจโดยรวม เพื่อให้มีความสูญเสียทางเศรษฐกิจน้อยที่สุด ซึ่งการวางแผนดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศเป็นพื้นฐาน

2. **ประโยชน์ทางด้านสังคม** กิจกรรมบางประเภทที่ก่อให้เกิดความสะดวกสบาย และ เหมาะสมในการดำรงชีวิตอยู่ในสังคม โดยประโยชน์ของข้อมูลภูมิอากาศทางด้านสังคมอาจแบ่งย่อยได้ ดังนี้

- ด้านการศึกษา มีประโยชน์ต่อการเรียนการสอน และมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นข้อมูล ประกอบการทำรายงานหรือวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณา วางแผนเกี่ยวกับการศึกษาอีกด้วย
- ด้านการแพทย์และสาธารณสุข สุขภาพอนามัยของมนุษย์มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ อยู่มาก ซึ่งต้องมีการศึกษา ค้นคว้า และวิจัยอยู่ตลอดเวลา ข้อมูลภูมิอากาศมีประโยชน์ โดยตรง คือ ใช้ในการวางแผนเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การทราบทิศทางความเร็วลม ก่อนการฉีดพ่นสารเคมีต่างๆ
- ด้านกฎหมาย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในหลายแง่มุม ใช้เป็นหลักฐานในการฟ้องร้อง หรือการประกันภัยเกี่ยวกับความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพลมฟ้าอากาศได้
- ด้านความมั่นคงของประเทศ กิจกรรมทางทหารต้องพึ่งพาข้อมูลภูมิอากาศ โดยเฉพาะ การวางแผนการรบทั้งทางบก เรือ และอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

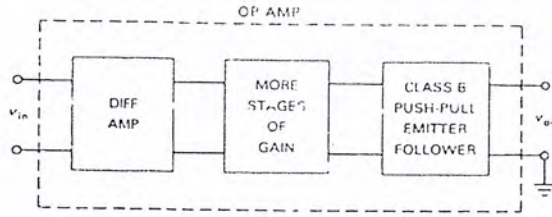
- ด้านสถาปัตยกรรม มีประโยชน์ต่อการออกแบบที่อยู่อาศัย โดยออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศได้
  - ด้านการท่องเที่ยว การทราบข้อมูลภูมิอากาศของแหล่งท่องเที่ยวในแต่ละฤดูกาลเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้การเดินทางท่องเที่ยวเป็นไปอย่างปลอดภัย รวมทั้งยังมีส่วนช่วยในการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ในการเดินทางท่องเที่ยวแต่ละครั้งให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ
  - ด้านการกีฬาและงานกลางแจ้ง การวางแผน และตัดสินใจเลือกช่วงเวลาในการจัดกิจกรรมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศเพื่อให้เหมาะสมกับฤดูกาล
  - ด้านการเผยแพร่ข่าวและข้อมูล การนำเสนอสารคดี หรือข่าวเกี่ยวกับเรื่องลมฟ้าอากาศหรือภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีสาเหตุ เนื่องจากลมฟ้าอากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ เช่น อุทกภัย และฝนแล้ง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่แล้วเป็นพื้นฐาน
3. **ประโยชน์ทางด้านวิทยาศาสตร์** กิจกรรมทางด้านวิทยาศาสตร์ถือเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งจะนำไปสู่ความรู้ใหม่ๆ เพื่อให้สอดคล้องและสนองตอบต่อการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงของโลกที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง ข้อมูลภูมิอากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีประโยชน์ต่องานทางด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งสรุปได้ดังนี้
- ด้านการวิจัย เนื่องจากข้อมูลภูมิอากาศมีประโยชน์อย่างกว้างขวางต่อการวิจัย โดยเฉพาะการวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องอุตุนิยมวิทยาโดยตรง หรือการวิจัยเรื่องอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศ เพื่อช่วยนำประเทศไปสู่การพัฒนา
  - ด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะวิศวกรรมโยธา รวมทั้งการออกแบบประดิษฐ์ ติดตั้ง หรือทดสอบเครื่องมือเทคนิค เครื่องจักร และอุปกรณ์บางประเภทก็จำเป็นต้องทราบข้อมูลภูมิอากาศ เช่น การออกแบบหรือติดตั้งอุปกรณ์ทางด้านคมนาคม การวางสายเคเบิล
  - ด้านสิ่งแวดล้อม การปฏิบัติงาน การสำรวจ การวิจัย หรือการวางแผน เกี่ยวกับเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญมากในปัจจุบัน โดยข้อมูลและสถิติภูมิอากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีส่วนช่วยให้งานดังกล่าวประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

#### 2.4 วงจรขยายสัญญาณ Operational Amplifier (Op-Amp)

Op-Amp เป็นอุปกรณ์แบบ Active ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน เช่น การสร้างวงจรขยายสัญญาณด้วย Op-Amp ซึ่งทำได้โดยการต่อวงจรร่วมกับตัวต้านทานสองตัว ก็จะได้วงจรขยายสัญญาณที่มีค่าอัตราขยายตามต้องการได้และนอกจากนี้การต่อวงจรของ Op-Amp ร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ ก็จะได้ วงจรที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นสัญญาณแบบ Active (Active Filter) และวงจรอื่นๆ

### 2.4.1 คุณสมบัติของ Op-Amp

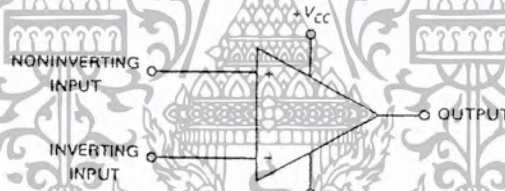
โครงสร้างภายในของ Op-Amp จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของ Op-Amp

เริ่มจากภาครับสัญญาณอินพุตซึ่งเป็น Differential Voltage ตามด้วยภาคขยายสัญญาณ แล้วจ่ายออกมาเป็นเอาต์พุต ด้วยภาคขยาย Class B Push Emitter Follow คุณสมบัติทางด้าน อินพุตของ Op-Amp จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาค Diff Amp นี้ และสำหรับบางจรในภาค เอาต์พุตของ Op-Amp ซึ่งโดยมากแล้วจะเป็นแบบ Single-ended เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงลบให้กับ Op-Amp แล้วเอาต์พุตที่ได้จาก Op-Amp จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่ออินพุตที่เข้ามาเป็นศูนย์

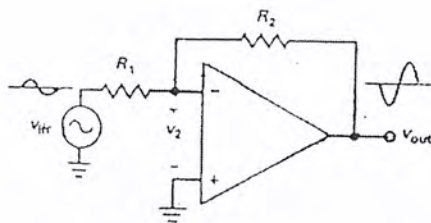
สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ Op-Amp จะแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะประกอบด้วยขาสัญญาณที่สำคัญ คือ Non Inverting Single-ended Output ขาไฟเลี้ยงบวก และไฟเลี้ยงลบ



รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของ Op-Amp

### 2.4.3 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายกลับเฟสเป็นวงจร Op-Amp พื้นฐาน โดยการใช้การป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) ในการทำให้อัตราขยายของวงจรโดยรวมมีค่าคงที่ ความจำเป็นที่ต้องทำให้อัตราขยายรวมคงที่ก็เนื่องจากค่า  $A_{OL}$  ของ Op-Amp มีค่ามากเกินไปที่จะนำมาใช้งานได้และที่สำคัญค่าของ  $A_{OL}$  นี้มีค่าเปลี่ยนไปมากสำหรับ Op-Amp แต่ละตัว เช่น LM741C มีค่าของ  $A_{OL}$  ต่ำสุดคือ 20,000 เท่า และมีค่าสูงสุดที่เป็นไปได้คือ 200,000 เท่า



รูปที่ 2.3 วงจรขยายกลับเฟส

วงจรถ่ายกลับเฟสในรูปที่ 2.3 นี้ได้แสดงเฉพาะส่วนของสัญญาณ (AC signal) เท่านั้น โดยไม่ได้แสดงการจ่ายไฟเลี้ยงของ Op-Amp สัญญาณอินพุต  $V_{in}$  จะถูกป้อนเข้าที่ขา Inverting Input ผ่าน  $R_1$  ซึ่งทำให้เกิดแรงดัน  $v_2$  เป็นอินพุตของ Op-Amp แล้วมันจะถูกขยายด้วย Open-loop gain ได้เป็นแรงดันเอาต์พุตที่มีเฟสกลับกันออกมา แรงดันเอาต์พุตนี้จะถูกป้อนกลับไปยัง อินพุตโดยผ่านทาง Feedback Resistor,  $R_2$  ซึ่งจะเป็นการป้อนกลับแบบลบเพราะสัญญาณที่ เอาต์พุตนี้มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณที่อินพุต

การต่อ Negative feedback นี้จะทำให้ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่าคงที่ไม่ว่า ค่า  $A_{OL}$  ของ Op-Amp จะเปลี่ยนไปก็ตาม ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ค่าของ  $A_{OL}$  มีค่าเพิ่มขึ้นขนาดของสัญญาณที่เอาต์พุตก็จะใหญ่ขึ้นทำให้มีสัญญาณป้อนกลับมากขึ้น ขนาดของ  $v_2$  ก็จะลดลง จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า  $A_{OL}$  มีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว  $v_2$  ก็จะลดลงได้เอง เป็นผลให้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

#### 2.4.4 Virtual Ground

เมื่อใช้สายไฟต่อเชื่อมจุดใดของวงจรเข้ากับกราวด์ ค่าแรงดันที่จุดนั้นๆ ก็จะมีค่าเป็นศูนย์ และกระแสก็สามารถไหลจากจุดนั้นผ่านลงสู่กราวด์ได้

สำหรับหลักการของ Virtual Ground หรือกราวด์เสมือนนั้นจะต่างออกไปจะเป็นวิธีคิดในการวิเคราะห์วงจรถ่ายกลับเฟส หลักการของ Virtual ground จะอาศัยคุณสมบัติของ Op-Amp ที่เป็นอุดมคติสองข้อด้วยกันคือ

1. จากค่า  $R_{in}$  ที่เป็น Infinite ทำให้กระแส  $i_2 = 0$
2. จากค่าของ  $A_{OL}$  ที่เป็น Infinite ทำให้แรงดันของ  $v_2$  ต้องเท่ากับศูนย์

เมื่อค่ากระแสของ  $i_2 = 0$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_2$  จึงต้องเท่ากับกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$  และเมื่อค่าของ  $v_2$  มีค่าเป็นศูนย์มันจึงเปรียบเสมือนเป็นกราวด์ แต่กระแสไม่สามารถจะไหลได้ จึงถูกแสดงโดยใช้เส้นประ

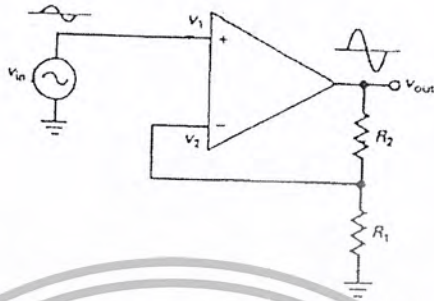
#### 2.4.5 Input Impedance

ในบางครั้งของการออกแบบวงจรขยายมีความต้องการที่จะให้ได้ Input Impedance มีค่าตามที่กำหนดไว้ การออกแบบวงจรขยายด้วย Inverting Amplifier ก็จะทำได้กำหนด Input Impedance ได้โดยง่าย เมื่อมองเข้ามาจากฝั่งของสัญญาณอินพุตก็จะพบ  $R_1$  ที่ต่ออยู่กับ Virtual Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

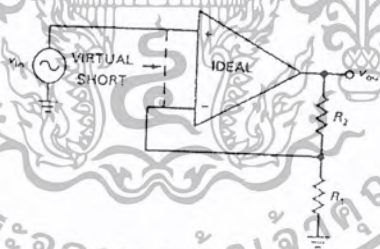
### 2.4.6 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier)

วงจรขยายไม่กลับเฟสก็เป็นอีกหนึ่งของวงจรพื้นฐานของการใช้งาน Op-Amp โดยอาศัย Negative feedback ในการรักษาค่าอัตราขยายแรงดันให้คงที่



รูปที่ 2.4 แสดง Non Inverting Amplifier

ในรูปที่ 2.4 จะแสดงวงจรเสมือน AC ของวงจรขยายแบบ Non Inverting Amplifier สัญญาณอินพุต  $V_{in}$  จะป้อนเข้าสู่วงจรที่ขา Non Inverting Input ของ Op-Amp สัญญาณนี้จะถูกขยายโดย Op-Amp ให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาซึ่งจะมีเฟสตรงกับสัญญาณอินพุต ส่วนของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกป้อนกลับโดยผ่านทาง Voltage divider จากรูปที่ 2.4 ค่าของแรงดันที่  $R_1$  จะเป็นแรงดันที่ป้อนกลับไปยังขา Inverting Input ของ Op-Amp ค่าแรงดันที่ป้อนกลับนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่เป็นอินพุตจากการที่  $A_{OL}$  มีค่ามาก ค่าของ  $V_1, V_2$  จึงต้องมีค่าน้อย



รูปที่ 2.5 แสดงหลักการของ Virtual short

เมื่อเราใช้สายไฟเชื่อมต่อกันในวงจร ค่าแรงดันที่จุดทั้งสองนั้นๆ ก็จะมีค่าเท่ากันและกระแสสามารถไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้

สำหรับหลักการของ Virtual short นั้นจะใช้เป็นวิธีคิดในการวิเคราะห์ห้วงจรขยายไม่กลับเฟส หลักการของ Virtual short จะอาศัยคุณสมบัติของ Op-Amp ที่เป็นอุดมคติสองข้อด้วยกันคือ

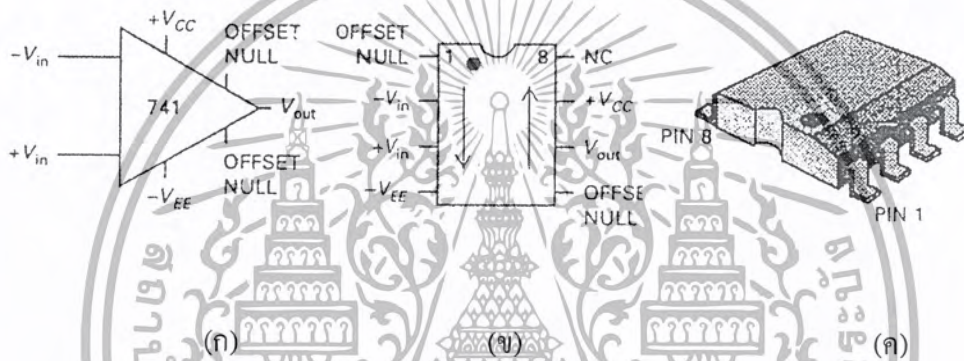
1. จากค่า  $R_{in}$  ที่เป็น Infinite ทำให้กระแสที่อินพุตทั้งสองของ Op-Amp เป็นศูนย์
2. จากค่าของ  $A_{OL}$  ที่เป็น Infinite ทำให้แรงดันของ  $v_1 - v_2$  ต้องเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะได้ Virtual short ระหว่างขาอินพุตทั้งสองของ Op-Amp ได้นั้น เราจะต้องพิจารณาว่า Op-Amp นี้ทำงานอยู่ในช่วงของการเป็นเชิงเส้น (Linear region: เอาท์พุทของ Op-Amp นั้นไม่ Saturated ทางด้านบวกหรือด้านลบ) และค่าอัตราขยาย  $A_{OL}$  มีค่ามากพอ

### 2.4.7 การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับ Op-Amp

Op-Amp เป็นอุปกรณ์แบบ Active ซึ่งในการทำงานจะต้องใช้แหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอกทำได้โดยการต่อแหล่งจ่ายไฟให้เข้ากับขาเลี้ยงของ Op-Amp การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับ Op-Amp นี้สามารถทำได้หลายแบบด้วยกันขึ้นอยู่กับการใช้งานของ Op-Amp สำหรับการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟให้กับ Op-Amp ในแบบของ Dual Supply โดยการต่อไฟบวกเข้าที่  $V_{CC}$  และไฟลบเข้าที่  $V_{EE}$  ทั้งนี้ก็เพื่อให้ Op-Amp สามารถที่จะขยายสัญญาณได้ทั้งซีกบวกและลบ



รูปที่ 2.6 (ก) แสดงชื่อขาสัญญาณต่างๆของออปแอมป์

(ข) แสดงตำแหน่งขาของ IC โดยเริ่มต้นขาที่ 1 จาก “จุด” หรือ “บาก”

(ค) แสดงรูปของ IC

### 2.5 อุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์

โดยทั่วไปแล้วทรานส์ดิวเซอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ จากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง เช่น อินพุทของทรานส์ดิวเซอร์อาจเป็น ความดัน ความเร่ง หรืออุณหภูมิ และเอาท์พุทของทรานส์ดิวเซอร์อาจเป็น การเคลื่อนที่ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของทรานส์ดิวเซอร์ และบางครั้งหน่วยของสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทอาจเป็นหน่วยเดียวกัน

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในทางปฏิบัติ

อินพุท	เอาต์พุท	หลักการทำงาน	ชนิดของอุปกรณ์
อุณหภูมิ	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	emf ถูกกำเนิดขึ้นคร่อมขั้วต่อโลหะหรือสารกึ่งตัวนำสองอันที่ไม่เหมือนกันเมื่อขั้วต่อถูกทำให้ร้อน	เทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมไพล์
อุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน	ค่าความต้านทานของลวดโลหะบริสุทธิ์ที่มีการเปลี่ยนแปลง positive temperature coefficient ต่ออุณหภูมิ	
อุณหภูมิ	การเคลื่อนที่	มีการขยายตัวทางความร้อนในรูปของปริมาตรเมื่ออุณหภูมิของของเหลวหรือ liquid metals ถูกทำให้สูงขึ้น ซึ่งการขยายตัวนี้สามารถแสดงได้เหมือนกับการเคลื่อนที่ของแคพิแลรี	ของเหลวใน glass thermometer
อุณหภูมิ	ความดัน	การเปลี่ยนแปลงความดันของแก๊สหรือไอต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	Pressure thermometer
แสง	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้าถูกกำเนิดขึ้นที่ขั้วต่อของสารกึ่งตัวนำเมื่อ Radiant energy กระตุ้น photoelectric cell	Light / meter / solar cell
Light radiations	กระแส	Secondary electron จะปล่อยออกมาเนื่องจากรังสีตกกระทบบน photo-sensitive cathode ทำให้เกิด electronic current	Photo-multiple tube
ความชื้น	ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง	ค่าความต้านทานของ Conductive strip เปลี่ยนแปลงตามความชื้น	Resistance hygrometer

อย่างไรก็ตาม เอาต์พุทของทรานส์ดิวเซอร์มักจะอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าข้อดีเมื่อเอาต์พุทเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า คือ

1. ไม่มีผลของความเฉื่อยและแรงเสียดทาน ซึ่งมักจะพบในทรานส์ดิวเซอร์ที่ให้เอาต์พุททางกล
2. การขยายตัวทำได้ง่าย
3. การแสดงผลหรือการบันทึกผลทำได้ง่าย

ทรานส์ดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ อนุภาคทรานส์ดิวเซอร์ และ ดิจิตอลทรานส์ดิวเซอร์ ในอนุภาคทรานส์ดิวเซอร์ การเปลี่ยนแปลงของอินพุทจะมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

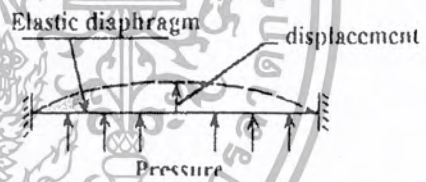
เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องที่เอาท์พุท ขณะที่ดิจิตอลทรานส์ดิวเซอร์ เอาท์พุทจะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลหรือความถี่

### 2.5.1 อนุภาคทรานส์ดิวเซอร์

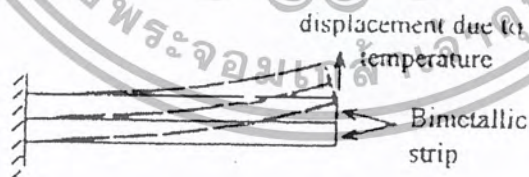
ชนิดไฟฟ้าเชิงกล (*Electro-mechanical Type*) ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าถูกกำเนิดขึ้นเนื่องจากอินพุทเป็นการเคลื่อนที่ทางกล หรือความเครียดและอินพุทที่เป็นการเคลื่อนที่ทางกลหรือความเครียด อาจถูกสร้างขึ้นโดย Primary Sensor ที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนทางกายภาพ เช่น ความดัน การไหล เป็นต้น Primary Sensor บางชนิดถูกนำมาใช้เพื่อการวัดแรง ความดันและอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในแต่ละกรณีการแปรเปลี่ยนทางกายภาพจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนยืดหยุ่น (Elastic Member) ในรูปที่ 2.7 (ก) แรงมีผลต่อการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนยืดหยุ่น (ข) โดอะแฟรมยืดหยุ่นจะแปรเปลี่ยนความดันเป็นการเบี่ยงเบนหรือการเคลื่อนที่ (ค) ในทำนองเดียวกัน แท่งโลหะสองชั้น (Bimetallic Strip) ที่ทำด้วยทองแดงและคอนสแตนแตน จะมีการเบี่ยงเบนที่ปลายอิสระ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพราะว่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของวัสดุทั้งสองต่างกัน ทั้งสามกรณีทรานส์ดิวเซอร์ไฟฟ้าเชิงกล อาจจะถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่ให้ความสัมพันธ์กับแรง ความดัน หรืออุณหภูมิที่ต้องการวัด



(ก) primary sensor สำหรับวัดแรง



(ข) primary sensor สำหรับวัดความดัน



(ค) primary sensor สำหรับวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 2.7 แสดง Primary Sensor แบบต่างๆ

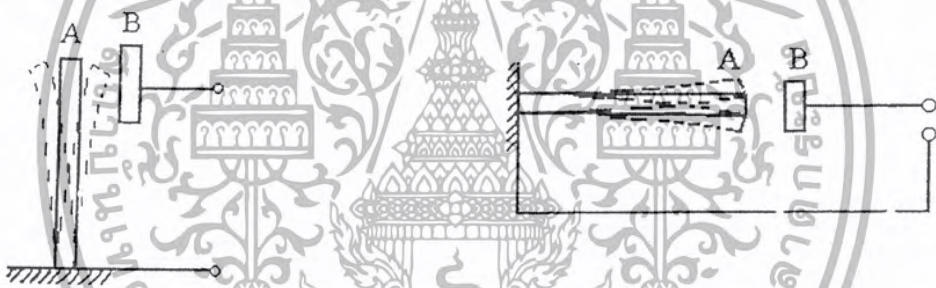
เนื่องจากการเคลื่อนที่ และการหมุนจัดเป็นอินพุทอันหนึ่งของทรานส์ดิวเซอร์ไฟฟ้าเชิงกล ดังนั้นการเคลื่อนที่ และการหมุนอาจถือปฏิบัติเหมือนกับเป็นการแปรเปลี่ยนทางกายภาพด้วยเช่นกัน สำหรับการเลือกทรานส์ดิวเซอร์เคลื่อนที่เพื่อการใช้งาน แพลตฟอร์มต่างๆ ดังต่อไปนี้ต้องนำมาพิจารณา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาดของการเคลื่อนที่
2. ความสัมพันธ์ของอินพุท-เอาต์พุท
3. คุณสมบัติทางสถิติและไดนามิก
4. เป็นชนิด Attachment หรือชนิด Proximity
5. ชนิดของแหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอกหรือกำเนิดขึ้นเอง
6. ชนิดของวงจรประกอบรวมเป็นชนิดจ่าย หรือซับซ้อน

ชนิดค่าความจุ (*Capacitive Type Transducer*) โดยที่ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้มีความไวต่อการเคลื่อนที่ เพราะว่าการเคลื่อนที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุระหว่างเพลทสองเพลท วงจรที่เหมาะสมจะถูกนำมาใช้เพื่อกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ

ค่าความจุ  $C$  ระหว่างเพลท  $A$  และ  $B$  อาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 หรือการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของเพลท  $A$  รูปที่ 2.11 แสดงด้านบนของทรานส์ดิวเซอร์ค่าความจุชนิดพื้นที่เปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถนำไปใช้วัดการเคลื่อนที่แบบหมุน



รูปที่ 2.8 ทรานส์ดิวเซอร์ค่าความจุชนิดช่องว่างเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 2.9 ทรานส์ดิวเซอร์ค่าความจุชนิดพื้นที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.10 ทรานส์ดิวเซอร์ค่าความจุชนิดพื้นที่เปลี่ยนแปลง (สำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน)

ชนิดออปโตทางไฟฟ้า (*Opto-electrical Transducer*) ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้จะเปลี่ยนลำแสง (Light beam) ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า การปิดบังสัญญาณแสงอย่างเหมาะสมเนื่องจากการเคลื่อนที่จะให้สัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่โฟโตอิเล็กทริก ทรานส์ดิวเซอร์

### 2.5.2 โฟโตอิมิตซีสทรานส์ดิวเซอร์ (Photoimmiscise Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ แสดงในรูปที่ 2.11 ลำแสงจะตกกระทบบนแคโทดของ โฟโตอิมิตซีสซึ่งแคโทดจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกดึงดูดเข้าสู่แอโนด ทำให้เกิดกระแส I ในวงจรแคโทด เมื่อแอโนดถูกปิดล้อมอยู่ในเครื่องห่อหุ้ม ซึ่งข้างในถูกทำให้ว่างเปล่าหรือบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย เราพบว่ากระแส I เป็นสัดส่วนกับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบบนแคโทดและความไวขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นรังสี แคโทดมักทำด้วยเงินออกไซด์ และถูกปิดทับอีกชั้นด้วยโลหะที่เป็นด่างจำพวกซีเซียม หรือโลหะที่เป็นด่างผสมกับพลวง

ทรานส์ดิวเซอร์มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ โฟโตอิมิตซีส โฟโตคอนดักทิฟ และโฟโตโวลทาอิก



รูปที่ 2.11 โฟโตอิมิตซีสทรานส์ดิวเซอร์

### 2.5.3 โฟโตคอนดักทิฟทรานส์ดิวเซอร์ (Photoconductive Transducer)

วัสดุจำพวก Pbs (Lead Sulphide) หรือ Insb (Indium Antimonide) จะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของมัน เมื่อความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบนมันมีการเปลี่ยนแปลง ชนิดของวงจรโฟโตคอนดักทิฟ แสดงดังรูปที่ 2.12 กระแสในวงจรจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบนมันมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงทำได้โดยการเคลื่อนที่ที่ที่ต้องการวัด

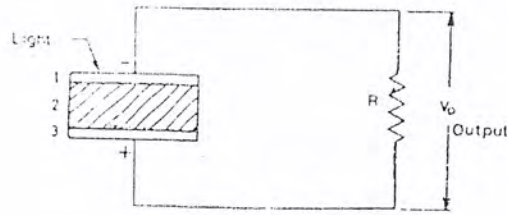


รูปที่ 2.12 วัสดุโฟโตคอนดักทิฟ

### 2.5.4 โฟโตโวลทาอิกทรานส์ดิวเซอร์ (Photovoltaic Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ มีโครงสร้างคล้ายๆกับแซนนิท ที่ประกอบด้วยเพลาทรานโลหะ(3) หนึ่งแผ่นชั้นวัสดุสารกึ่งตัวนำหรือซิลิเนียม(2) และชั้นโลหะโปร่งใสแผ่นบาง (1)

ดังแสดงในรูปที่ 2.13 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตถูกกำเนิดขึ้นเนื่องจากแสงที่มาตกกระทบและแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้สามารถวัดได้



รูปที่ 2.13 โฟโตโวลตาอิกทรานส์ดีวเซอร์

## 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.6.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (micro controller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผลหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรจับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์ และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

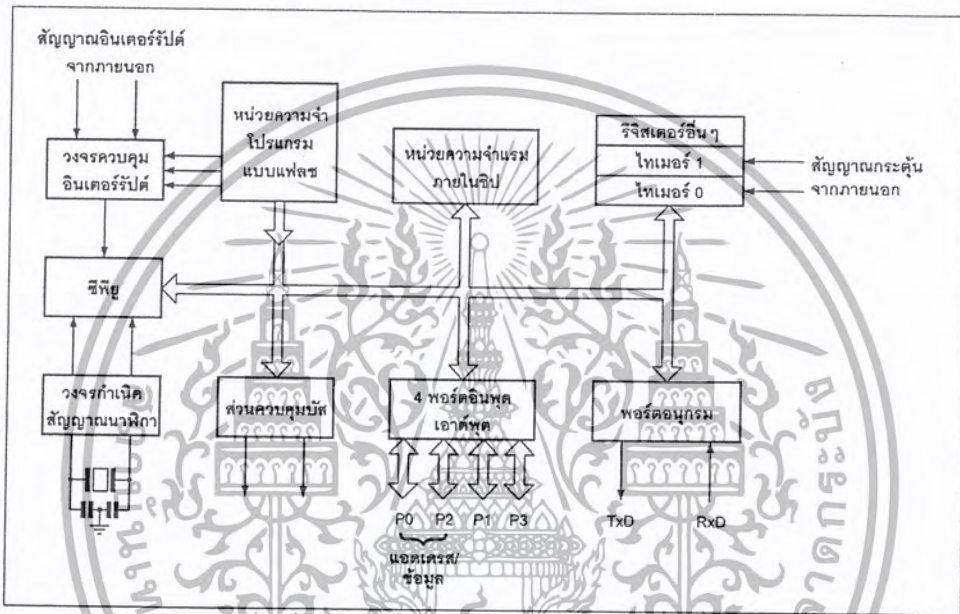
ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ “ไมโคร” (micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” (controller) หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

### 2.6.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้ พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว

- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ในภายในชิป

ในรูปที่ 2.14 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว



รูปที่ 2.14 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx

### 2.6.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

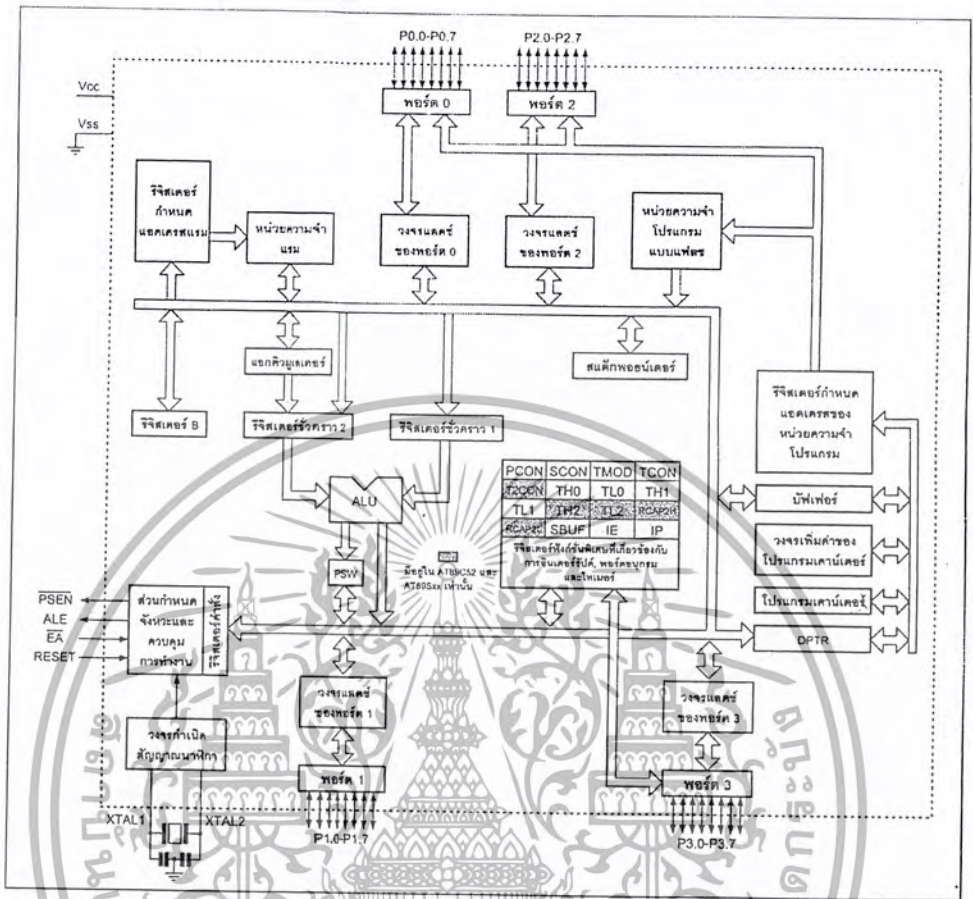
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และ 2.16 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

- ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- ขา GND เป็นขากราวด์สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ
- ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย  
แอดเดรสและขาข้อมูล

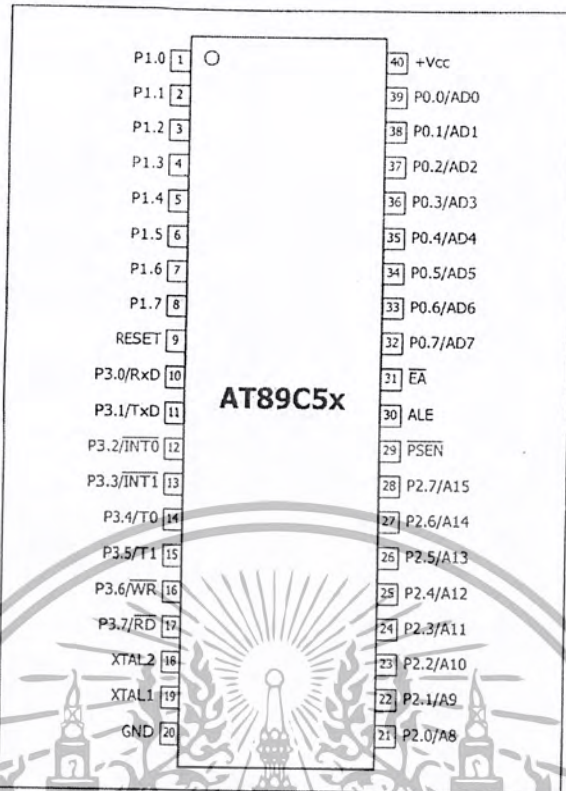
เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาดติดต่อ



รูปที่ 2.15 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของAtmel

- ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และ เอาท์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของ ไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ
- ขาพอร์ต 2 (P2.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และ เอาท์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (noat) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็น ขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรส ไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5X

- ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุต และ เอาท์พุทสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วยส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษดังมีรายละเอียดขั้นคั่นต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD  
 P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD  
 P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INT0  
 P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา IN-T1  
 P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณ ไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0  
 P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1  
 P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ W-R ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก  
 P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ R-D ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขาที่ีต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 เมกซ์ซินไซเกิล โดยที่วงจรถูกกำหนดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ
- ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขาขี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรม สำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม
- ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละเมกซ์ซินไซเกิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกขานี้จะ ไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา
- ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอก หรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับ หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุท สำหรับรับแรงดันไฟสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V
- ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัล เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา ในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 2.6.4 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือสามารถเป็นได้ทั้งอินพุทสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุทสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออกทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงแลตช์และวงจรถับตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุท ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2.17

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุทและเอาต์พุทสำหรับงานทั่วไป และ

ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจาก

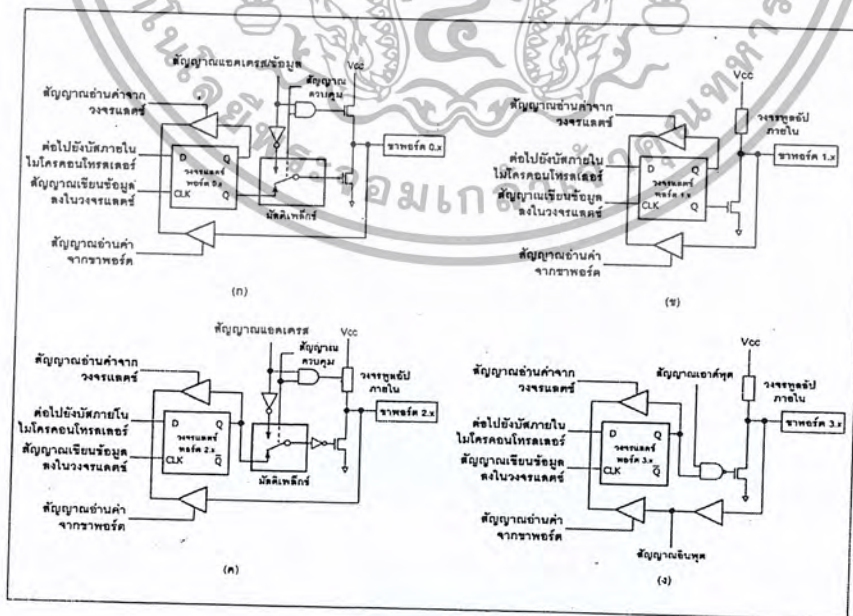
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช เบอร์ใด

ในรูปที่ 2.17 แสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยในรูปที่ 2.17 (ก) เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟล็อปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตช์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรแลตช์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังของ CLK ของดีฟลิปฟล็อปในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมายังขาบัลข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟล็อปที่พอร์ตนี้ มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุทเอาต์พุทปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัพภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ต อินพุท จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

ในรูปที่ 2.17 (ข) เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรพูลอัพภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน

ในรูปที่ 2.17 (ค) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัพเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในรูปที่ 2.17 (ง) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุทเอาต์พุทเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 พอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอก หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มี 2 รูปแบบ คือ รับส่งข้อมูลแบบขนาน และรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

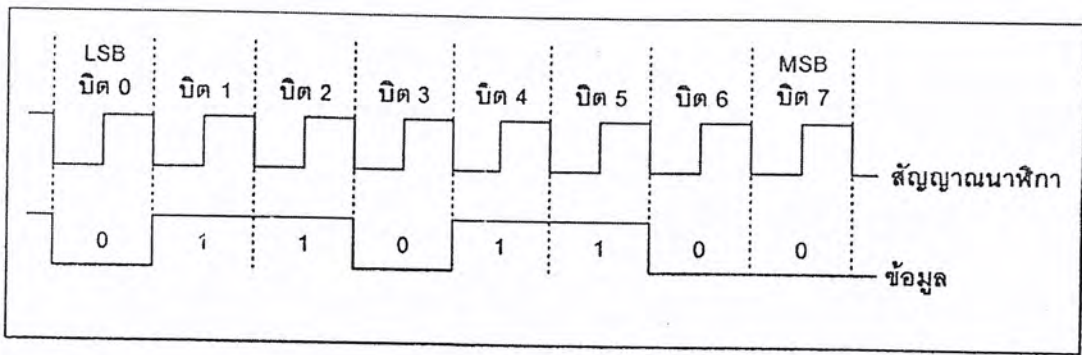
การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง ทว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำกรถ่ายทอดด้วย นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุม และตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ส่งผลให้ราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพงอีกข้อจำกัดหนึ่งของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานคือ ระยะทางในการถ่ายทอดข้อมูล โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10-15 ฟุต

ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับส่งที่เป็นมาตรฐานต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่ง และตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึงวงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

### 2.7.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับ และส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ก็คือ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อม ต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือสัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวนด์ รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงไคอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.18 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

### 2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับ และส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือบอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที ( bit per second : bps )

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

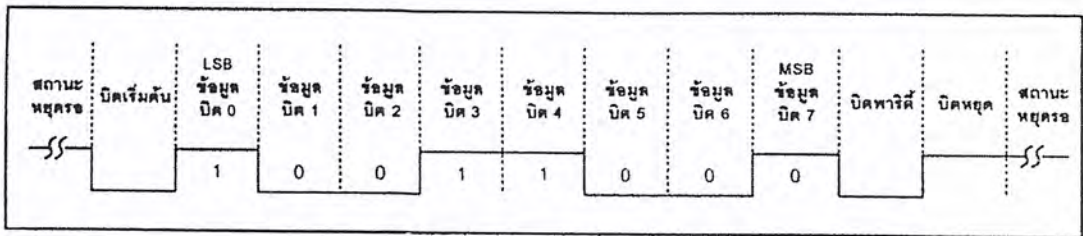
1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit 1) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

รูปที่ 2.20 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่ม จากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือ บิต LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิตจากนั้นตามด้วย บิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้าย หรือ บิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรืออัตราบอด หรือบอดเรตที่ใช้ สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอด คือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตีมีบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะมีความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 10 บิตถ้าใช้บิตเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที



รูปที่ 2.19 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิก เป็น “0” แต่ถ้ากำหนดพาริตีเป็นคี่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter* : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มี การตรวจสอบพาริตี

### 2.7.3 มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ( Electronic Industries Association : EIA ) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล ( mark ) และ +3V ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง ( space )

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล ( Data Terminal Equipment : DTE ) กับวงจรข้อมูลปลายทาง ( Data Circuit Terminating : DCE ) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่ไม่เต็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับโมเด็ม เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

#### 2.7.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

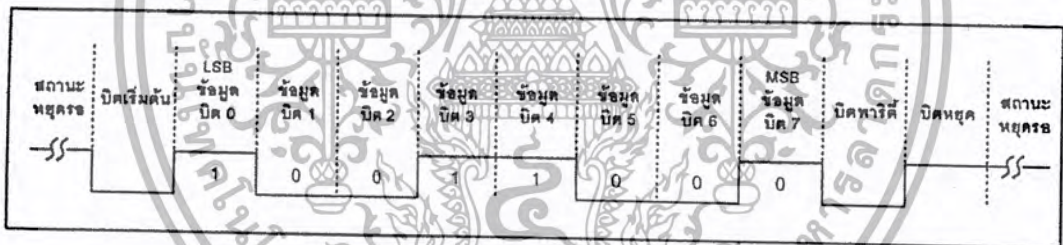
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยมีการใช้งานมาในอดีตไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.20

- ขา Data Carrier Detect : DLD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- ขา Receive Data: RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- ขา Transmitted Data: TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์โดยการข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับ ข้อมูลส่งออกไป
- ขา Data Terminal Ready: DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์ เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้ จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ 3 สาย ต้องเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกัน และจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับ  
ขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรม สื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

- ขา Signal Ground: GND เป็นขาราวนค์ของสัญญาณ
- ขา Data Ready: DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกัน  
ระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูล  
จากภายนอก
- ขา Request To Send: RTS เป็นขาเอาท์พุทสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์  
ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์โดยที่สัญญาณ RTS ก็คือ CTS ซึ่งในกรณีที่ม  
ีการเชื่อมต่อแบบ 3 สายจะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับ  
และส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- ขา Clear To Send: CTS เป็นขาอินพุททำหน้าที่รองรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการ  
ส่งสัญญาณเข้ามาที่ขา TXD จะถูกส่งออกไป ขานี้จะใช้เพื่อตรวจสอบ  
อุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง
- ขา Ring Indicator: RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการ  
สื่อสารโดยทั่วไป สายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มแล้ว  
ยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์



รูปที่ 2.20 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

## 2.8 DATA LOGGER

การศึกษาและการเก็บข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นจากการเก็บข้อมูลต่างๆไป หรือในการทดลอง  
ต่างๆ รวมถึงการเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า  
ดาต้าลอจเจอร์ ( Data Logger ) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะสามารถทำงานเก็บข้อมูลร่วมกับอุปกรณ์  
ต่อพ่วงจำพวกเซ็นเซอร์ต่างๆได้หลายชนิด เช่นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม และ  
เซ็นเซอร์อื่นๆ โดยที่ Data logger ที่มีขายทั่วไปก็จะมีคุณสมบัติ ขนาด และลักษณะการเชื่อมต่อ  
แตกต่างกันออกโดยที่คุณสมบัติจะแตกต่างกันตามเซ็นเซอร์ที่มาเชื่อมต่อเช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ  
แบบเทอร์โมคัปเปิ้ล จะให้สัญญาณที่ออกมาเป็นโอห์ม เซ็นเซอร์วัดความดันของโมโตโรล่าจะให้  
สัญญาณออกมาเป็นค่าความต่างศักย์ ขนาดของ Data logger จะมีตั้งแต่ขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

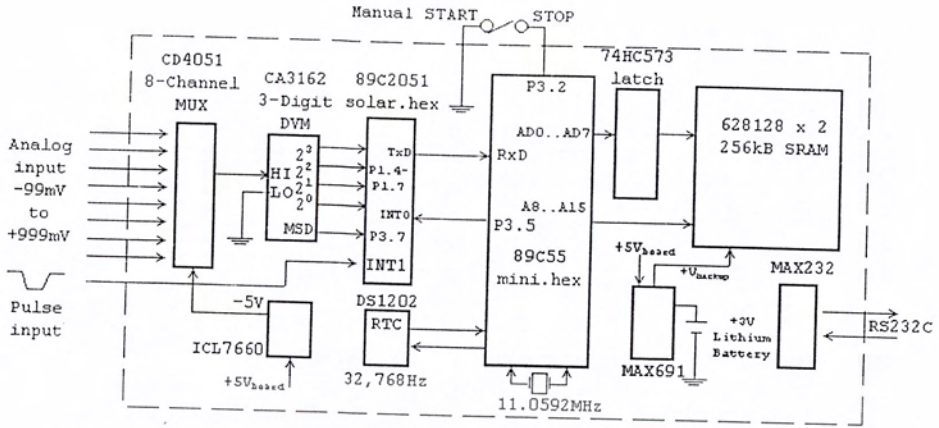
ขนาดฝ่ามือ และเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม ผ่านอินฟราเรด ผ่านสัญญาณวิทยุ หรือเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เรียกว่า แฮนด์ดีเทอร์มินอล (Handy Terminal) จะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กใช้สำหรับโหลดข้อมูล และปรับตั้งค่าใช้งานให้กับ Data logger ซึ่งหลังจากการโหลดข้อมูลจาก Data logger ข้อมูลที่ได้จำเป็นจะต้องมีซอฟต์แวร์ที่มาประยุกต์ข้อมูลที่โหลดขึ้นมา ค่าความละเอียดของข้อมูลที่ Data Logger สามารถวัดได้ จะมีค่าตั้งแต่ประมาณ 4 ถึง 32 บิต แต่ที่ใช้ทั่วไปนิยมใช้ตั้งแต่ 4 ถึง 16 บิต เพราะถ้าค่าความละเอียดมากจะทำให้ Data Logger มีราคาสูงมาก

วงจรของ Mini logger ที่ได้นำมาใช้เป็นของ อ.วิจิต ศิริโชติ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็น Data Logger ที่สามารถรับสัญญาณได้ 8 ช่องสัญญาณ ช่วงของการวัดคือ -99 ถึง +999 มิลลิโวลต์ ค่า ความละเอียด 12 บิต สามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 256 กิโลไบต์ และช่วงการวัด 10 ถึง 600 วินาที

### โครงสร้างและลักษณะการทำงานของ Mini Logger

โครงสร้างการทำงานของ Mini logger จะเป็นดังรูปที่ 2.21 ตัวควบคุม และประมวลผลกลางจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างที่มาเชื่อมต่อ ได้แก่ ส่วนรับและแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) ส่วนหน่วยความจำข้อมูล ส่วนสร้างฐานเวลาจริง และส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยจะสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ตามลักษณะการทำงาน

1. หน่วยประมวลผลส่วนรับและแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) หน่วยประมวลผลนี้ จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุทที่เป็นอนาลอกจากภายนอก มาแปลงสัญญาณให้เป็นในรูปแบบของดิจิตอล และจัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ก่อนที่จะส่งข้อมูลให้หน่วยประมวลผลต่อไป
2. หน่วยประมวลผลส่วนติดต่อผู้ใช้และเก็บข้อมูล หน่วยประมวลผลนี้จะมีตัวสร้างฐานเวลาจริงเชื่อมต่ออยู่ เมื่อหน่วยประมวลผลส่วนติดต่อผู้ใช้และเก็บข้อมูลรับสัญญาณในรูปแบบของดิจิตอล ที่ส่งมาจากหน่วยประมวลผลส่วนรับ และแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นดิจิตอล จะถูกนำไปรวมกับเวลาที่มาจากตัวสร้างฐานเวลาจริง จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกส่งเข้าไปเก็บยังส่วนเก็บข้อมูล เพื่อรอการเรียกใช้ข้อมูลจากผู้ใช้งาน โดยการเรียกใช้ข้อมูลนั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการสร้างฐานเวลาจริง และการเก็บข้อมูลจะมีการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ไว้เพื่อสำรองไฟไว้ในขณะที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ จ่ายไฟให้กับทั้งวงจร



รูปที่ 2.21 แสดง โครงสร้างและลักษณะการทำงานของ Data Logger



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การศึกษาคุณสมบัติของ Sensor

##### 3.1.1 การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดอุณหภูมิ

###### จุดประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ Sensor และอุณหภูมิ

###### อุปกรณ์

1. Sensor วัดอุณหภูมิ
2. มิเตอร์วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. ขวดโหลแก้วมีฝาปิด เจาะรู 2 รูบนฝา
5. น้ำแข็ง
6. กระจกน้ำแข็ง

###### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมิเตอร์กับ Sensor อุณหภูมิ
2. ปรับย่านการวัดไปที่โอห์มมิเตอร์
3. นำ Sensor และเทอร์โมมิเตอร์ใส่ในขวดแก้วที่เจาะฝาไว้ด้านบน
4. นำขวดโหลแก้วใส่ลงในกระจกน้ำแข็ง
5. ใส่น้ำแข็งลงในกระจกน้ำแข็งที่มีขวดแก้ววางอยู่จนเต็มรอบบริเวณขวดโหลแก้ว
6. เริ่มอ่านค่าอุณหภูมิและค่าความต้านทานของ Sensor
7. บันทึกผลการทดลอง
8. เมื่ออุณหภูมิลดถึงจุดต่ำสุด(ประมาณ 8 °C) เริ่มเอาน้ำแข็งออก
9. สังเกตดูการเปลี่ยนแปลง จดบันทึกผล
10. ทำซ้ำในข้อ 5-9 จำนวน 3 ครั้ง
11. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Resistance ( $k\Omega$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดความชื้น

#### จุดประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ Sensor และความชื้น

#### อุปกรณ์

1. Sensor วัดความชื้น
2. ห้องปรับอุณหภูมิ
3. มิเตอร์วัดไฟฟ้า
4. เครื่องมือวัดความชื้น

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อ Sensor เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5 V
2. ต่อ โวลต์มิเตอร์เข้ากับ Output ของ Sensor
3. เปิดเครื่องมือวัดความชื้น
4. ปรับอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้ต่ำที่สุด
5. เริ่มอ่านค่า Output ของ Sensor และค่าความชื้นจากเครื่อง
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ปรับอุณหภูมิให้ค่อยๆ สูงขึ้น สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล
8. ทำซ้ำในข้อ 4-7 จำนวน 3 ครั้ง
9. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (%RH) กับ Voltage

### 3.1.3 การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดทิศทางลม

#### จุดประสงค์

1. เพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Sensor และทิศทางลม (องศา)

#### อุปกรณ์

1. Sensor วัดทิศทางลม
2. มิเตอร์วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
3. เครื่องวงกลม 2 อัน
4. ดินน้ำมัน

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ Sensor ต่อเข้ากับมิเตอร์
2. ปรับย่านการวัดไปที่โอห์มมิเตอร์
3. ประกอบชุดเครื่องวงกลมกับเครื่องวัดทิศทางลม
4. ปรับสเกลไปตามทิศต่างๆ เริ่มจาก 0-360 องศา ตามเข็มนาฬิกา ครั้งละ 30 องศา
5. บันทึกผลการทดลอง
6. ทำซ้ำในข้อ 4-5 จำนวน 3 ครั้ง
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลม(องศา)กับ Resistance ( $\Omega$ )

### 3.1.4 การทดลองหาคคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดความเข้มแสง

#### จุดประสงค์

1. เพื่อหาคคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความเข้มแสง  $W/m^2$

#### อุปกรณ์

1. Sensor วัดความเข้มแสง
2. มิเตอร์วัดไฟฟ้า
3. เครื่องวัดความเข้มแสง
4. นาฬิกา

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ Sensor ต่อเข้ากับแอมมิเตอร์
2. เปิดเครื่องมือวัดความเข้มแสง
3. นำ Sensor ทิ้งไว้กลางแจ้งสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
4. เริ่มอ่านค่ากระแส A จากมิเตอร์และค่าความเข้มแสงจากเครื่องมือ
5. บันทึกผลการทดลอง
6. อ่านค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง
7. เขียนกราฟความเข้มแสงทั้งวันของ Sensor และเครื่องมือกับเวลา
8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง ( $W/m^2$ ) กับ Current (I)

### 3.1.5 การทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน จุดประสงค์

1. เพื่อหาคุณสมบัติของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน

#### อุปกรณ์

1. Sensor วัดปริมาณน้ำฝน
2. นาฬิกา
3. บีกเกอร์
4. เครื่องนับจำนวนครั้ง
5. ฝักบัว

#### วิธีการทดลอง

##### ขั้นตอนที่ 1.

1. เปิดน้ำจากฝักบัวในอัตราที่คงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง
2. นำ Sensor มาติดตั้งกับบีกเกอร์เพื่อรับน้ำที่ไหลออกมาจาก Sensor
3. นำ Sensor วัดปริมาณน้ำฝนมารองไว้ใต้ฝักบัวให้อยู่ตรงกลางพอดี
4. ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1, 2, 3 และ 5 นาที
5. วัดปริมาตรของน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ทำซ้ำในข้อที่ 3-6 เป็นจำนวน 3 ครั้ง

##### ขั้นตอนที่ 2.

8. นำ Sensor วัดปริมาณน้ำฝนมารองไว้ใต้ฝักบัว
9. ทำการนับจำนวนครั้งของการกระดกของ Sensor
10. ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1, 2, 3 และ 5 นาที
11. บันทึกผลการทดลอง
12. ทำซ้ำในข้อที่ 1-4 เป็นจำนวน 3 ครั้ง
13. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับจำนวนครั้งของ  
การกระดกของ Sensor

### 3.2 การออกแบบวงจร Signal Conditioning

#### 3.2.1 แนวทางการออกแบบ Signal Conditioning ที่ใช้กับ Sensor

1. นำคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor มาเป็นส่วนประกอบของวงจรและต่อเข้ากับวงจร Signal Conditioning
2. ค่า Output ที่ได้จาก Signal Conditioning ต้องอยู่ในช่วง  $-99 \text{ mV}$  ถึง  $+999 \text{ mV}$
3. มีการขยายสัญญาณที่ได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้าของ Sensor เช่น V เปลี่ยนกรณี RH, I เปลี่ยนกรณีความเข้มแสง เป็นต้น
4. สามารถปรับเทียบค่าให้ถูกต้องได้
5. ใช้แรงดันไฟฟ้าในวงจร  $5 \text{ V}$
6. Output ของ Signal Conditioning จะต่อเข้ากับตัว Data Logger



### 3.2.2 การทดลองทดสอบ Signal Conditioning กับ Sensor วัดอุณหภูมิ จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบชุด Signal Conditioning ที่ออกแบบ
2. หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal และ อุณหภูมิ ( °C)

#### อุปกรณ์

1. ชุด Signal conditioning
2. Sensor อุณหภูมิ
3. ขวดโหลแก้วค้ำบนเจาะรู 2 รู
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. น้ำแข็ง
6. กระจกน้ำแข็ง
7. มิเตอร์วัดไฟ

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำชุด Signal conditioning กับ Sensor มาต่อเข้าด้วยกัน
2. ต่อ โวลต์มิเตอร์กับ Output Signal Conditioning
3. นำ Sensor และ เทอร์โมมิเตอร์ใส่ในขวดโหลแก้ว
4. ใส่ขวดโหลแก้วลงในกระจกน้ำแข็ง
5. ใส่น้ำแข็งลงในกระติกรอบๆ ขวดโหลแก้ว
6. รอจนอุณหภูมิกำลังที่ เริ่มอ่านค่า Output Signal และ อุณหภูมิ
7. บันทึกผลการทดลอง
8. เริ่มเอาน้ำแข็งออกเพื่อให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
9. บันทึกผลการทดลองไปเรื่อยๆ
10. ทำข้อ 5-9 ซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง
11. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal Conditioning และอุณหภูมิ ( °C)

### 3.2.3 การทดลองทดสอบ Signal Conditioning กับ Sensor วัดความชื้น จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบชุด Signal Conditioning
2. หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal กับความชื้น (%RH)

#### อุปกรณ์

1. ชุด Signal Conditioning
2. Sensor ความชื้น
3. ห้องปรับอากาศ
4. มิเตอร์ไฟฟ้า
5. เครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐาน

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อ Sensor เข้ากับชุด Signal Conditioning
2. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับ Output Signal
3. เปิดเครื่องมือวัดความชื้น
4. ปรับอุณหภูมิในห้องปรับอากาศให้ต่ำสุด
5. เริ่มอ่านค่า Output Signal และ %RH
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อย สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล
8. ทำซ้ำในข้อ 4-7 จำนวน 3 ครั้ง
9. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal กับความชื้น (%RH)

### 3.2.4 การทดลองทดสอบ Signal Conditioning กับ Sensor วัดทิศทางลม จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบชุด Signal Conditioning
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal กับทิศทางลม (องศา)

#### อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Signal Conditioning
2. Sensor วัดทิศทางลม
3. ชุดเครื่องวงกลม 2 อัน
4. มิเตอร์วัดไฟ

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อ Sensor เข้ากับชุด Signal Conditioning
2. ต่อชุดเครื่องวงกลมเข้ากับครวัดทิศทางลม
3. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับ Output Signal
4. ปรับสเกลไปตำแหน่งเริ่มต้น 0 องศา
5. เริ่มปรับสเกลตามเข็มนาฬิกา ครั้งละ 30 องศา จนครบ 360 องศา
6. อ่านค่า Output จาก Signal Conditioning แล้วบันทึกผลการทดลอง
7. ทำซ้ำในข้อ 4-6 จำนวน 3 ครั้ง
8. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal และทิศทางลม (องศา)

### 3.2.5 การทดสอบทดลอง Signal Conditioning กับ Sensor วัดความเข้มแสง จุดประสงค์

1. เพื่อทดลองชุด Signal Conditioning
2. หาความสัมพันธ์ Output Signal และความเข้มแสง ( $W/m^2$ )

#### อุปกรณ์

1. ชุด Signal Conditioning
2. Sensor วัดความเข้มแสง
3. มิเตอร์วัดไฟ
4. เครื่องวัดความเข้มแสง
5. นาฬิกา

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ Sensor ต่อเข้ากับชุด Signal Conditioning
2. นำโวลต์มิเตอร์ต่อเข้ากับ Output Signal
3. เปิดเครื่องวัดความเข้มแสง
4. เริ่มอ่านค่า Output Signal และค่าความเข้มแสง
5. บันทึกผล
6. อ่านค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Signal และความเข้มแสง ( $W/m^2$ )

### 3.3 การออกแบบและสร้างโปรแกรม

Software ของระบบเขียนด้วยภาษาปาสคาลโดยใช้โปรแกรม Borland Delphi 6 ซึ่งภาษาปาสคาลเป็นภาษาที่ง่ายต่อการใช้งาน และเป็นมาตรฐานสำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังมีความเหมาะสมกับงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ รวมถึงในส่วนที่มีการคำนวณมาก

หลักการออกแบบ ต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. การปรับแต่งปัจจัยขั้นพื้นฐานของ Data Logger เช่น การตั้งเวลา และวันที่ ช่วงการเก็บข้อมูล
2. การเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นได้
3. การแปลงข้อมูล

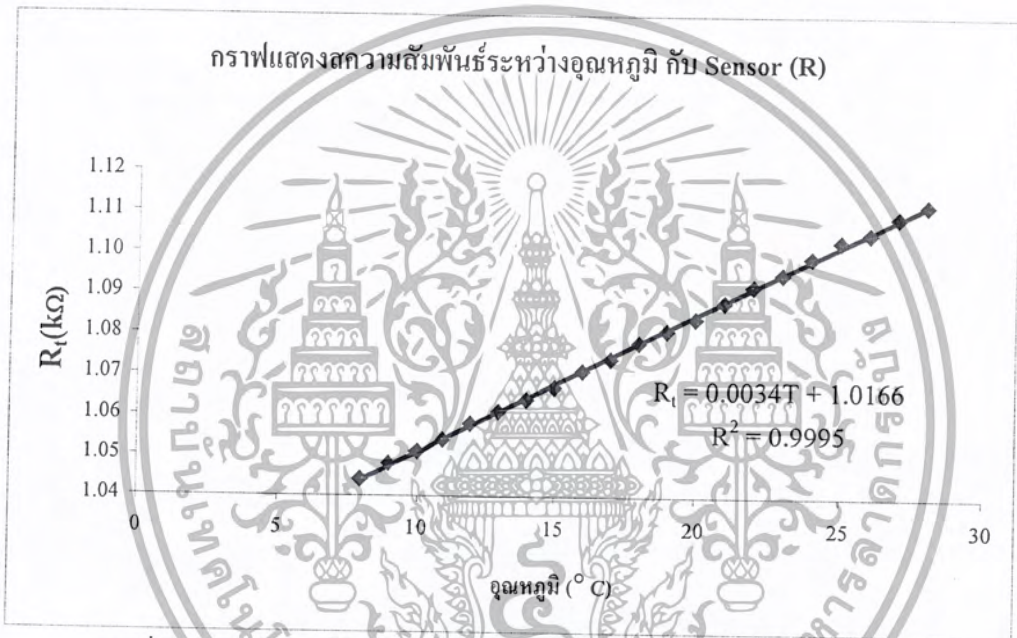
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

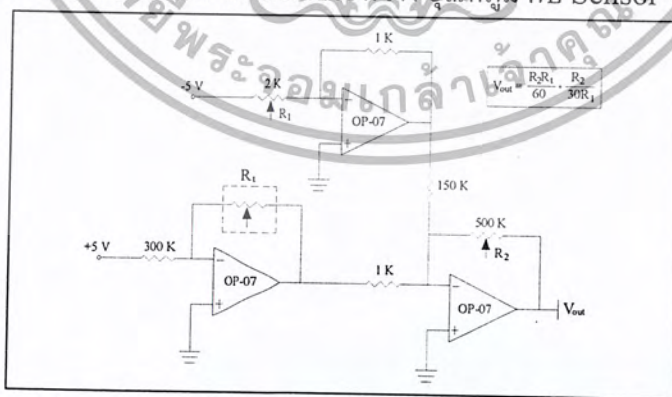
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor และการออกแบบวงจร Signal Conditioning

4.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor วัดอุณหภูมิ

จากการทดลองที่ 3.1.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.1 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานทางไฟฟ้าของ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบและสร้างวงจร Signal Conditioning ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ Sensor วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดอุณหภูมิ

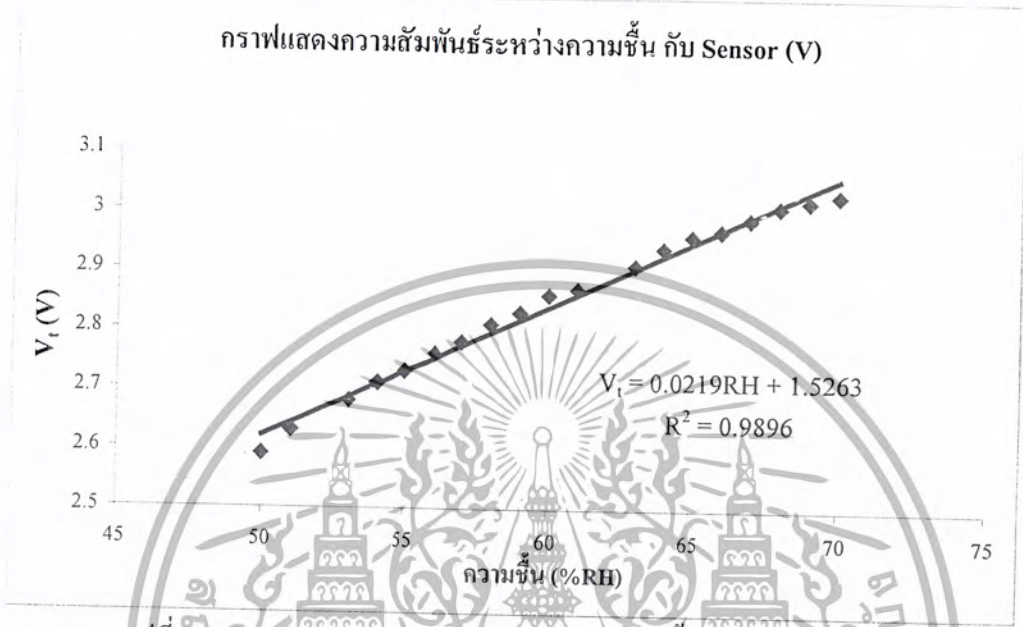
จากรูปเมื่อนำ Sensor ไปต่อในวงจรรูปที่ 4.2 และนำไปทดลองตาม 3.2.2 จะได้ข้อมูลต่างๆดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.2

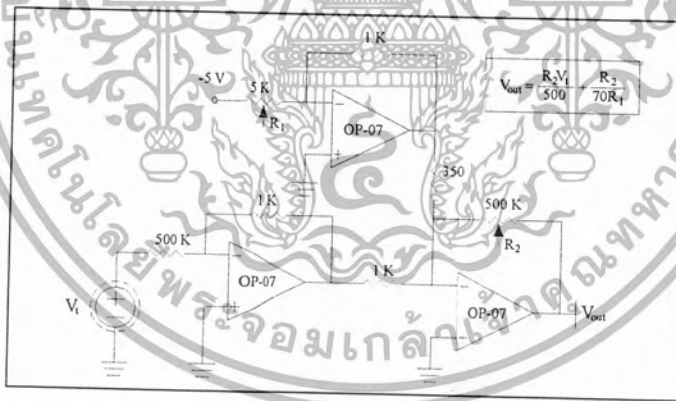
ผลการทดลอง			
	อุณหภูมิ (°C)	R <sub>t</sub> (kΩ)	V <sub>out</sub> (mV)
MIN	10	0.991	36.62
MAX	85	1.283	1078.39

4.1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor วัดความชื้น

จากการทดลองที่ 3.1.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.2 และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความต่างศักย์ไฟฟ้าของ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบและสร้างวงจร Signal Conditioning ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้น กับ Sensor วัดความชื้น



รูปที่ 4.4 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดความชื้น

จากรูปเมื่อนำ Sensor ไปต่อในวงจรรูปที่ 4.4และนำไปทดลองตาม 3.2.3 จะได้ข้อมูลต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

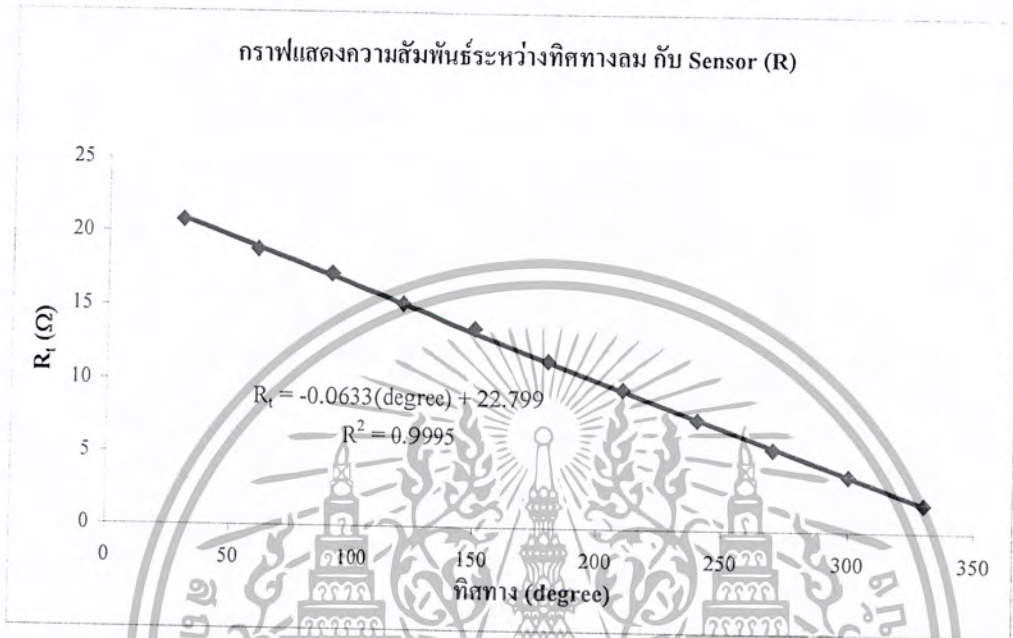
ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.4

ผลการทดลอง			
	ความชื้น (%RH)	$V_t$	$V_{out}$ (mV)
MIN	0	1.60	0.60
MAX	100	3.63	1200.40

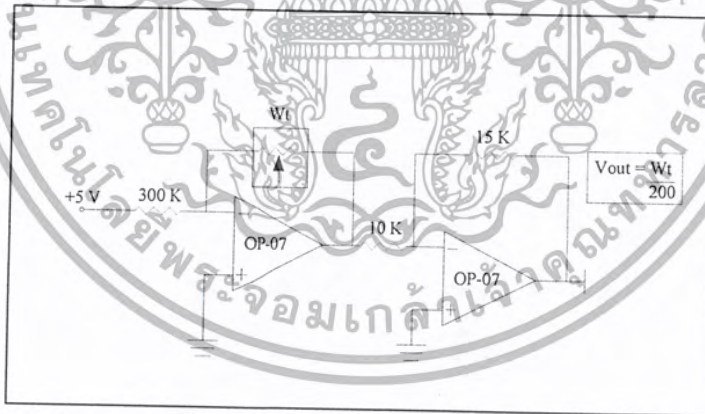
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor วัดทิศทางลม

จากการทดลองที่ 3.1.3 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.3 และความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลมกับความต้านทานทางไฟฟ้าของ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบและสร้างวงจร Signal Conditioning ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ทิศทางลม กับ Sensor วัดทิศทางลม



รูปที่ 4.6 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดทิศทางลม

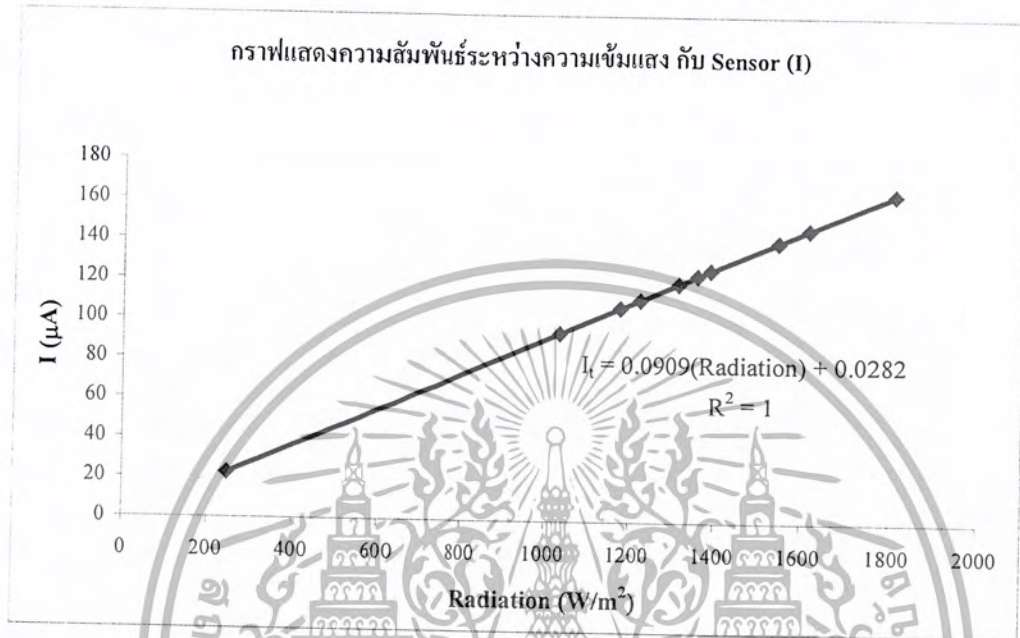
จากรูปเมื่อนำ Sensor ไปต่อในวงจรรูปที่ 4.6 และนำไปทดลองตาม 3.2.4 จะได้ข้อมูลต่างๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.6

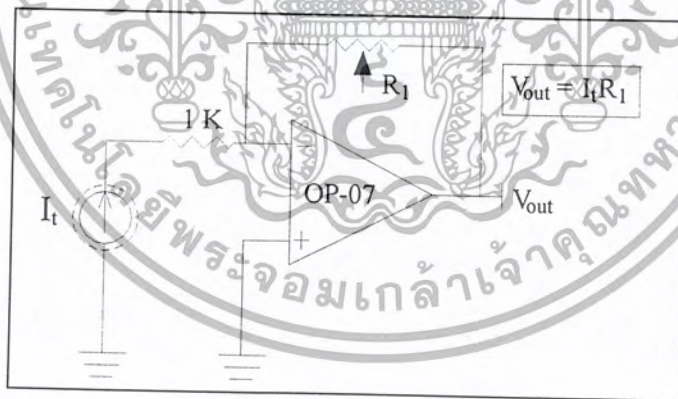
ผลการทดลอง			
	ทิศทางลม(องศา)	$R_t$ ( $k\Omega$ )	$V_{out}$ (mV)
MIN	0	0	524
MAX	360	20	46.33

#### 4.1.4 ผลการศึกษาคคุณสมบัติของ Sensor วัดความเข้มแสง

จากการทดลองที่ 3.1.4 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.4 และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกระแสไฟฟ้าของ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และจากความสัมพันธ์ ดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบและสร้างวงจร Signal Conditioning ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสง กับ Sensor วัดความเข้มแสง



รูปที่ 4.8 วงจร Signal Conditioning ของ Sensor วัดความเข้มแสง

จากรูปเมื่อนำ Sensor ไปต่อในวงจรรูปที่ 4.8 และนำไปทดลองตาม 3.2.5 จะได้ข้อมูลต่างๆ ดัง ตารางที่ 4.4

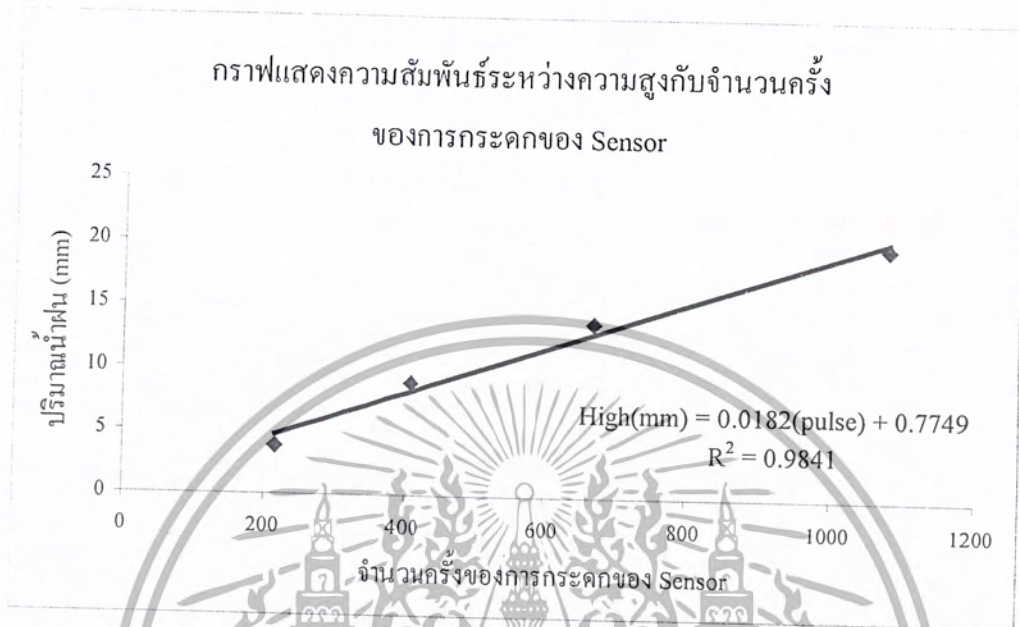
ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบวงจรรูปที่ 4.8

ผลการทดลอง			
	ความเข้มแสง ( $\text{W/m}^2$ )	$I_t$ ( $\mu\text{A}$ )	$V_{out}$ (mV)
MIN	0	0	110.4
MAX	3000	-252	820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน

จากการทดลองที่ 3.1.6 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.5 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับจำนวนครั้งการกระดกของ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4.9

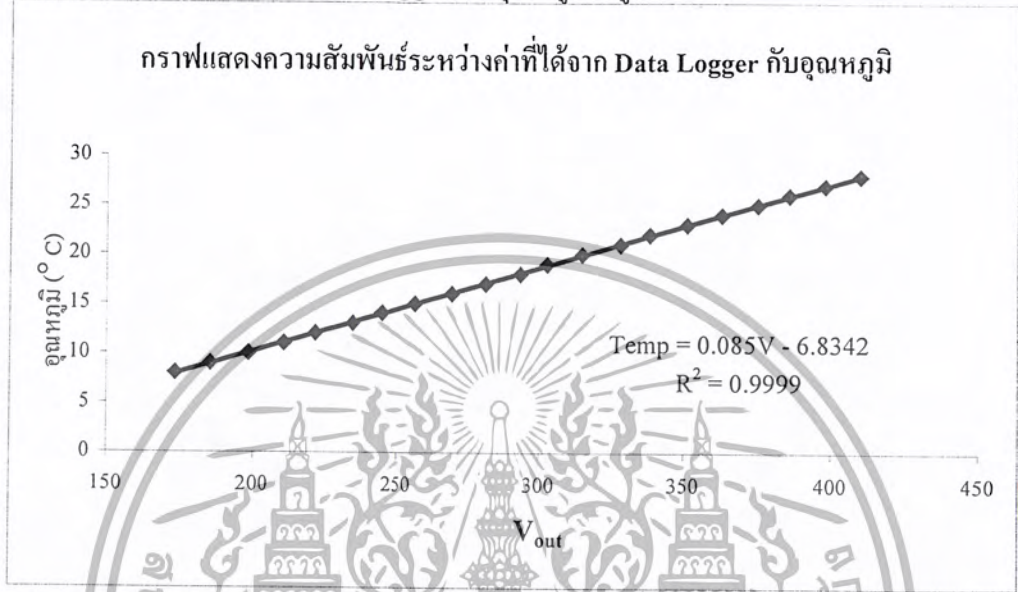


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับจำนวนครั้งการกระดกของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน

## 4.2 ผลการทดสอบใช้งาน

### 4.2.1 ผลการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดอุณหภูมิกับ Data Logger

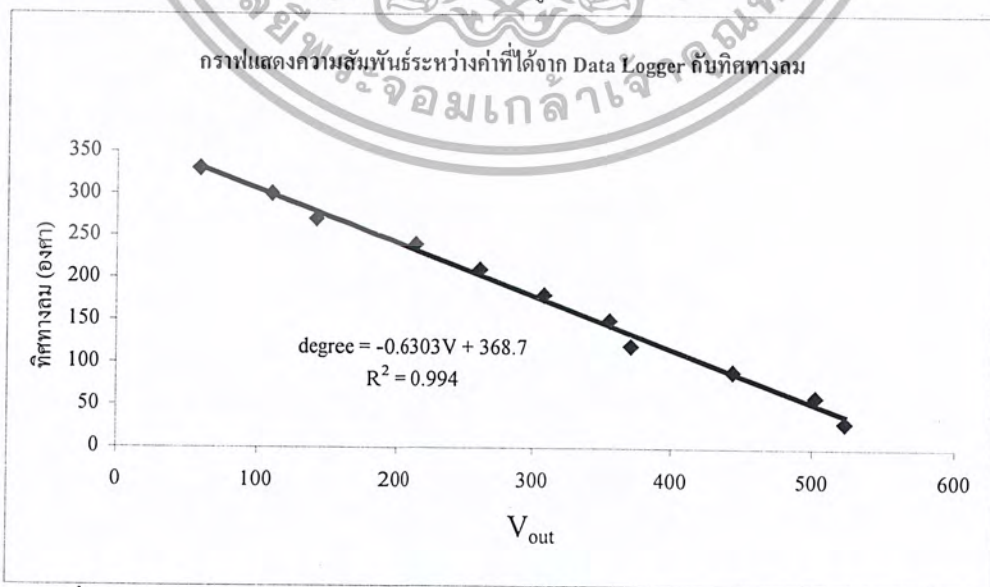
จากการทดลองได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.6 และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับอุณหภูมิดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับอุณหภูมิ

### 4.2.2 ผลการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดทิศทางลมกับ Data Logger

จากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.7 และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับความชื้นดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดความชื้นกับ Data Logger

จากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.8 และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก Data Logger กับความชื้นดังรูปที่ 4.11

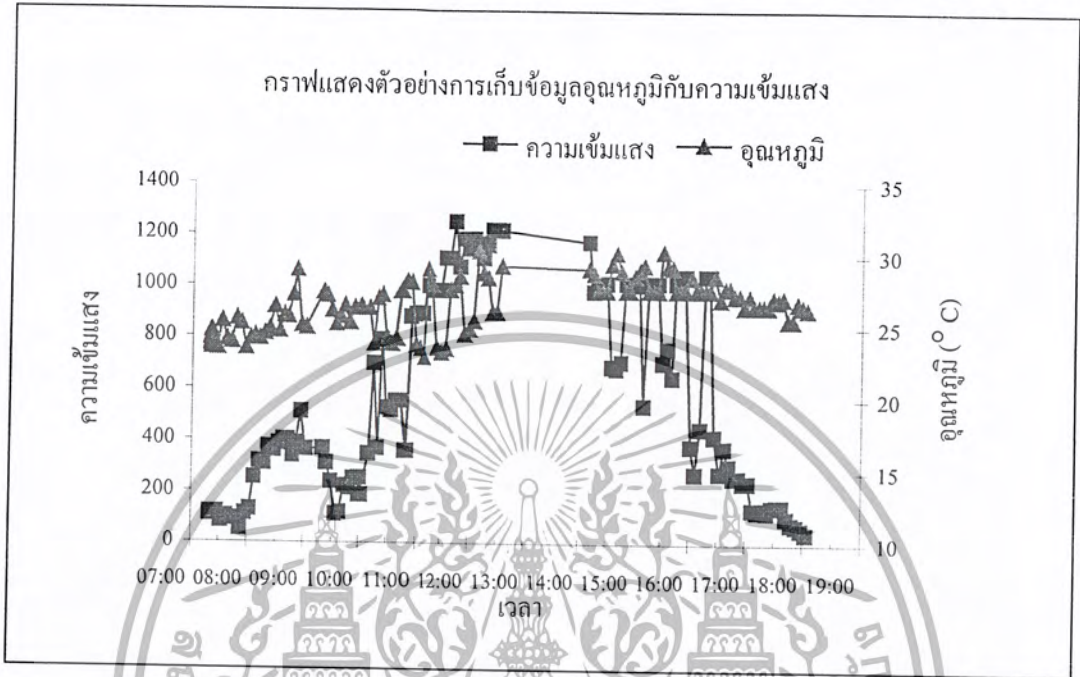


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จาก Data Logger กับความชื้น

### 4.3 การทดลองเก็บข้อมูลโดยชุดเก็บข้อมูล

#### 4.3.1 การทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสง

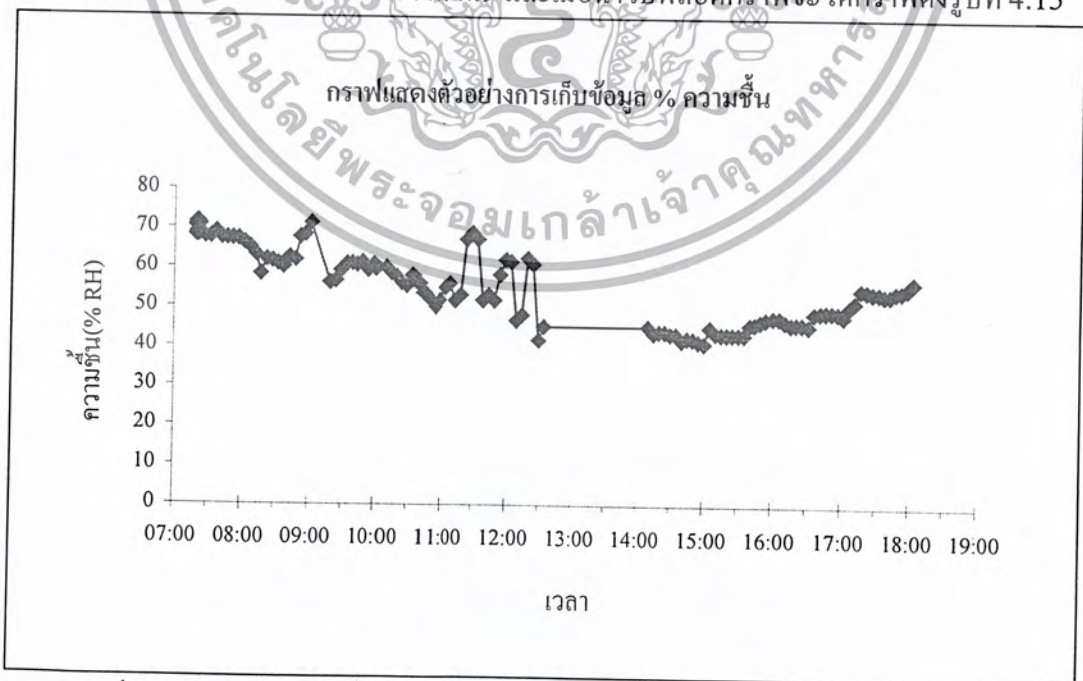
จากการทดลองจะได้ค่าดังตารางที่ ก.9 และเมื่อนำไปพลอตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลา 7.00-18.00 น.

#### 4.3.2 การทดลองเก็บข้อมูลความชื้น

จากการทดลองจะได้ค่าดังตารางที่ ก.9 และเมื่อนำไปพลอตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.15

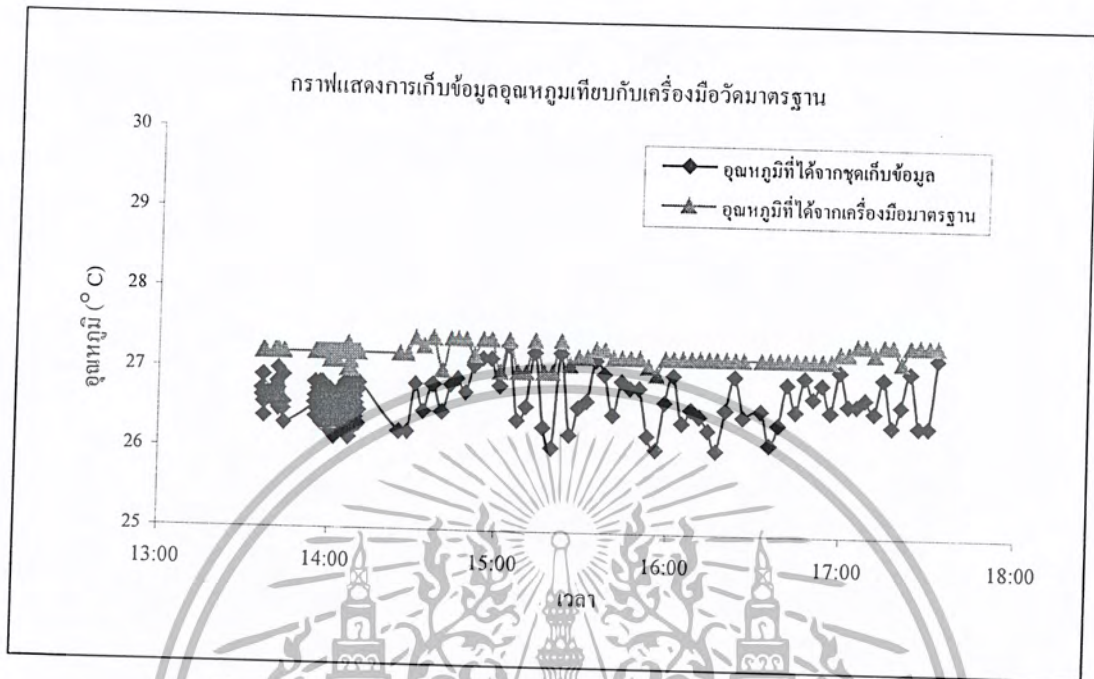


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลความชื้นระหว่างเวลา 7.00-19.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 การทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

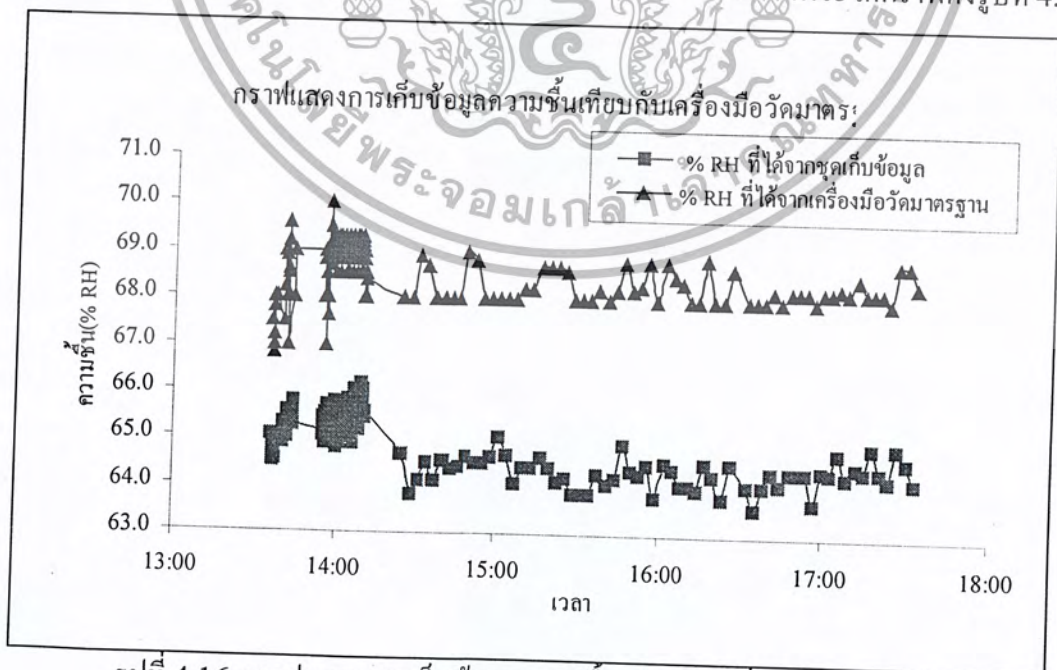
จากการทดลองจะได้ค่าดังตารางที่ ก.10 และเมื่อนำไปพลอตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลอุณหภูมิเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

#### 4.3.4 การทดลองเก็บข้อมูลความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

จากการทดลองจะได้ค่าดังตารางที่ ก.10 และเมื่อนำไปพลอตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผล

## 5.1 สรุปผล

1. จากการศึกษาคณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor สามารถสรุปคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor ชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- Temperature Sensor มีลักษณะทางไฟฟ้า คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า  
( $R_t = 0.0034(T) + 1.0166$ )
- Relative Humidity Sensor มีลักษณะทางไฟฟ้า คือ แรงดันไฟฟ้า  
( $V_t = 0.0219(RH) + 1.5263$ )
- Radiation Sensor มีลักษณะทางไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้า  
( $I_t = 0.0909(\text{Radiation}) + 0.0282$ )
- Wind Direction Sensor มีลักษณะทางไฟฟ้า คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า  
( $R_t = (-0.0633)(\text{degree}) + 22.779$ )
- Wind Speed Sensor มีสัญญาณทางไฟฟ้าลักษณะเป็น Pulse Signal (รอบ/Pulse)
- Rain Collector Sensor มีสัญญาณทางไฟฟ้าลักษณะเป็น Pulse Signal (0.2 mm./Pulse)

2. วงจร Signal Conditioning ใช้สำหรับปรับแต่งสัญญาณจาก Sensor เพื่อส่งให้กับ Data Logger

3. Data Logger เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูล โดยมี Software ที่พัฒนาขึ้นช่วยในการจัดการ และเชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับคอมพิวเตอร์

4. ข้อมูลที่ได้จาก Software สามารถนำไปศึกษาวิเคราะห์ และนำไปใช้งานโดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่เหมาะสมต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. Date Logger ชุดนี้ยังต้องใช้ไฟฟ้าตามอาคาร ในระหว่างการทดลอง เมื่อเกิดไฟฟ้าดับจึงทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ ดังนั้นควรมีการต่อแบตเตอรี่เพื่อทำการจ่ายไฟแทนการใช้ไฟฟ้าตามอาคาร
2. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำควรมีการ Calibrate ชุดเก็บข้อมูลกับสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของทางกรมอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับที่ได้ทำการทดลอง
3. ควรมีการเก็บข้อมูลระยะยาวเพื่อทดสอบ และหาปัญหาที่เกิดขึ้นของชุดเก็บข้อมูล เพื่อนำมาแก้ไขและปรับปรุงให้ถูกต้อง



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน (k $\Omega$ )				
	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
8	1.044	1.044	1.045	1.044	0.00058
9	1.049	1.049	1.047	1.048	0.00115
10	1.052	1.052	1.050	1.051	0.00115
11	1.055	1.055	1.053	1.054	0.00115
12	1.058	1.059	1.056	1.058	0.00153
13	1.060	1.063	1.059	1.061	0.00208
14	1.063	1.065	1.063	1.064	0.00115
15	1.067	1.069	1.066	1.067	0.00153
16	1.070	1.072	1.070	1.071	0.00115
17	1.073	1.076	1.073	1.074	0.00173
18	1.077	1.079	1.077	1.078	0.00115
19	1.081	1.083	1.080	1.081	0.00153
20	1.084	1.085	1.083	1.084	0.00100
21	1.088	1.089	1.087	1.088	0.00100
22	1.092	1.092	1.091	1.092	0.00058
23	1.095	1.096	1.095	1.095	0.00058
24	1.098	1.100	1.098	1.099	0.00115
25	1.103	1.104	1.102	1.103	0.00100
26	1.105	1.106	1.105	1.105	0.00058
27	1.108	1.109	1.109	1.109	0.00058
28	1.112	1.113	1.112	1.112	0.00058

ตารางที่ ก.2 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดความชื้น

ความชื้น	ค่าความต่างศักย์ (V)				
	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
50	2.59	2.58	2.59	2.59	0.0058
51	2.63	2.62	2.64	2.63	0.0100
52	2.65	2.65	2.65	2.65	0.0000
53	2.69	2.68	2.68	2.68	0.0058
54	2.71	2.71	2.70	2.71	0.0058
55	2.73	2.72	2.74	2.73	0.0100
56	2.76	2.75	2.76	2.76	0.0058
57	2.79	2.78	2.78	2.78	0.0058
58	2.81	2.81	2.80	2.81	0.0058
59	2.84	2.83	2.83	2.83	0.0058
60	2.86	2.85	2.86	2.86	0.0058
61	2.88	2.87	2.87	2.87	0.0058
62	2.90	2.89	2.89	2.89	0.0058
63	2.92	2.91	2.91	2.91	0.0058
64	2.94	2.93	2.94	2.94	0.0058
65	2.96	2.96	2.96	2.96	0.0000
66	2.98	2.97	2.97	2.97	0.0058
67	3.00	2.99	2.98	2.99	0.0100
68	3.01	3.01	3.00	3.01	0.0058
69	3.01	3.03	3.02	3.02	0.0100
70	3.03	3.04	3.03	3.03	0.0058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดทิศทางลม

ทิศทางลม	ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )				
	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000
30	20.7	20.8	20.8	20.77	0.058
60	18.9	18.8	18.8	18.83	0.058
90	17.2	17.2	17.2	17.20	0.000
120	15.2	15.3	15.2	15.23	0.058
150	13.6	13.6	13.6	13.60	0.000
180	11.6	11.3	11.5	11.47	0.153
210	9.5	9.6	9.6	9.57	0.058
240	7.5	7.5	7.6	7.53	0.058
270	5.6	5.5	5.6	5.57	0.058
300	3.8	3.7	3.8	3.77	0.058
330	1.8	1.9	2.0	1.90	0.100
360	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000

ตารางที่ ก.4 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดความเข้มแสง

เวลา	I ( $\mu\text{A}$ ) Sensor					$\text{W/m}^2$	ความเข้มแสง ( $\text{W/m}^2$ ) ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความเข้มแสง				
	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD		ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3				1	2	3		
8.00	90.2	94.6	97.6	94.13	3.72	1035.47	386	388	396	228.62	5.29
9.00	110.7	111.3	111.9	111.30	0.60	1224.30	479	481	484	277.89	2.52
10.00	127.0	125.3	126.8	126.37	0.93	1390.03	783	777	778	402.82	3.21
11.00	149.2	146.2	145.2	146.87	2.08	1615.53	990	999	988	500.63	5.86
12.00	165.5	164.8	163.3	164.53	1.12	1809.87	1075	1067	1053	543.34	11.14
13.00	138.9	141.5	141.2	140.53	1.42	1545.87	985	996	988	494.09	5.69
14.00	123.6	123.7	123.4	123.57	0.15	1359.23	862	868	859	431.75	4.58
15.00	118.8	120.4	119.3	119.50	0.82	1314.50	726	728	716	375.81	6.43
16.00	107.6	106.2	107.4	107.07	0.76	1177.73	536	533	532	293.81	2.08
17.00	22.6	22.0	22.5	22.37	0.32	246.03	128	122	126	66.57	3.06

ตารางที่ ก.5 ค่าที่ได้จากการทดลองหาคุณสมบัติของ Sensor วัดปริมาณน้ำฝน

เวลา (นาท)	จำนวนครั้งการกระตของ Sensor					ความสูงของน้ำ ( $V=\pi r^2 \times h$ )				
	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD	ครั้งที่			เฉลี่ย	SD
	1	2	3			1	2	3		
1	212	220	214	215.33	3.40	3.04	3.65	4.68	3.79	0.68
2	404	394	426	408.00	13.37	9.12	7.95	9.59	8.89	0.69
3	668	656	684	669.33	11.47	15.9	11.13	14.26	13.76	1.98
5	1062	1054	1124	1080.00	31.28	20.58	18.94	20.11	19.88	0.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดอุณหภูมิกับ ชุด

อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่ได้จาก Data Logger (mV)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่				
	1	2	3		
8	174.6	173.8	172.0	173.5	1.10
9	186.4	184.5	185.2	185.4	0.78
10	198.1	199.5	197.6	198.4	0.80
11	209.9	211.2	211.5	210.9	0.71
12	221.6	221.2	222.5	221.8	0.54
13	233.3	235.1	235.6	234.7	0.97
14	245.1	244.5	244.0	244.5	0.44
15	256.8	256.3	257.4	256.8	0.45
16	268.5	269.8	270.2	269.5	0.71
17	280.3	281.3	282.4	281.3	0.87
18	292.0	294.8	293.3	293.4	1.14
19	303.8	302.1	302.8	302.9	0.68
20	315.5	314.8	315.2	315.2	0.28
21	327.2	328.6	329.2	328.3	0.83
22	339.0	338.9	337.6	338.5	0.63
23	350.7	350.2	352.6	351.2	1.03
24	362.4	363.8	362.9	363.0	0.57
25	374.2	375.4	375.8	375.1	0.69
26	385.9	386.2	385.6	385.9	0.25
27	397.6	397.9	398.8	398.1	0.49
28	409.4	409.8	410.4	409.9	0.42

ตารางที่ ก.7 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดทิศทางลมกับ ชุด

องศา	ค่าที่ได้จาก Data Logger			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่				
	1	2	3		
30	532.6	520.6	516.8	523.33	6.73
60	504.2	514.6	488.4	502.40	10.77
90	482.4	438.0	411.6	444.00	29.21
120	357.2	337.0	419.6	371.27	35.16
150	375.2	341.0	351.2	355.80	14.34
180	308.4	310.6	306.4	308.47	1.72
210	278.6	256.0	250.2	261.60	12.25
240	227.8	215.8	201.6	215.07	10.71
270	157.0	141.0	129.0	142.33	11.47
300	115.0	112.8	102.6	110.13	5.40
330	62.0	56.0	58.0	58.67	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าที่ได้จากการทดสอบชุด Signal Conditioning ของ Sensor วัดความชื้นกับ ชุด

Data Logger

%RH	ค่าที่ได้จาก Data Logger (mV)			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่				
	1	2	3		
40	480.6	481.2	480.3	480.70	0.37
41	492.6	493.3	491.5	492.47	0.74
42	504.6	505.3	505.8	505.23	0.49
43	516.5	517.2	516.8	516.83	0.29
44	528.5	528.7	529.4	528.87	0.39
45	540.5	541.6	541.1	541.07	0.45
46	552.5	552.8	553.2	552.83	0.29
47	564.5	564.1	565.2	564.60	0.45
48	576.5	576.3	576.4	576.40	0.08
49	588.5	589.5	589.2	589.07	0.42
50	600.5	601.3	600.8	600.87	0.33
51	612.5	612.3	613.3	612.70	0.43
52	624.5	624.8	624.7	624.67	0.12
53	636.5	637.4	637.1	637.00	0.37
54	648.5	649.1	647.8	648.47	0.53
55	660.5	661.2	660.8	660.83	0.29
56	672.5	672.4	673.3	672.73	0.40
57	684.5	684.9	685.4	684.93	0.37
58	696.5	696.2	695.1	695.93	0.60
59	708.5	707.1	707.4	707.67	0.60
60	720.5	720.9	721.5	720.97	0.41
61	732.5	732.1	733.6	732.73	0.63
62	744.5	745.4	745.8	745.23	0.54
63	756.5	757.1	756.4	756.67	0.31
64	768.5	769.1	769.5	769.03	0.41
65	780.5	781.2	782.4	781.37	0.78
66	792.5	792.1	793.6	792.73	0.63
67	804.5	805.2	804.2	804.63	0.42
68	816.5	815.6	814.7	815.60	0.73
69	828.5	827.4	826.5	827.47	0.82
70	840.5	841.2	840.8	840.83	0.29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูล

Date	Time	ความเข้มแสง		อุณหภูมิ		ความชื้น	
		(mV)	W/m <sup>2</sup>	(mV)	°C	(mV)	%RH
3/16/2003	07:19:37	42	108.42	360	23.83	592	70.44
3/16/2003	07:19:44	42	108.42	365	24.26	556	68.14
3/16/2003	07:19:51	43	111.00	364	24.18	595	70.63
3/16/2003	07:19:58	45	116.16	370	24.69	596	70.69
3/16/2003	07:20:04	44	113.58	362	24.00	604	71.21
3/16/2003	07:20:11	43	111.00	359	23.75	568	68.91
3/16/2003	07:20:18	43	111.00	357	23.58	603	71.14
3/16/2003	07:20:25	43	111.00	362	24.00	562	68.52
3/16/2003	07:20:31	43	111.00	367	24.43	609	71.53
3/16/2003	07:20:36	44	113.58	367	24.43	605	71.27
3/16/2003	07:20:41	45	116.16	365	24.26	563	68.59
3/16/2003	07:20:51	44	113.58	360	23.83	595	70.63
3/16/2003	07:20:58	44	113.58	360	23.83	563	68.59
3/16/2003	07:21:06	44	113.58	366	24.35	598	70.82
3/16/2003	07:21:13	44	113.58	370	24.69	556	68.14
3/16/2003	07:21:20	44	113.58	360	23.83	560	68.39
3/16/2003	07:21:26	45	116.16	364	24.18	568	68.91
3/16/2003	07:21:33	45	116.16	358	23.66	597	70.76
3/16/2003	07:21:40	44	113.58	358	23.66	560	68.39
3/16/2003	07:21:48	44	113.58	363	24.09	602	71.08
3/16/2003	07:21:55	45	116.16	359	23.75	595	70.63
3/16/2003	07:27:05	45	116.16	356	23.49	550	67.76
3/16/2003	07:32:04	32	82.60	378	25.37	550	67.76
3/16/2003	07:37:08	39	100.67	363	24.09	567	68.84
3/16/2003	07:42:11	35	90.35	361	23.92	546	67.50
3/16/2003	07:47:15	36	92.93	380	25.54	543	67.31
3/16/2003	07:52:19	20	51.63	376	25.20	543	67.31
3/16/2003	07:57:21	43	111.00	356	23.49	542	67.24
3/16/2003	08:02:25	50	129.07	364	24.18	526	66.22
3/16/2003	08:07:26	98	252.97	366	24.35	509	65.14
3/16/2003	08:12:28	122	314.92	364	24.18	478	63.15
3/16/2003	08:17:32	119	307.18	368	24.52	402	58.30
3/16/2003	08:22:37	144	371.71	372	24.86	461	62.07
3/16/2003	08:27:37	139	358.81	390	26.39	455	61.68
3/16/2003	08:32:43	149	384.62	370	24.69	444	60.98
3/16/2003	08:37:44	155	400.11	383	25.79	430	60.09
3/16/2003	08:42:46	155	400.11	382	25.71	468	62.52
3/16/2003	08:47:58	131	338.16	400	27.24	460	62.00
3/16/2003	08:52:02	150	387.20	420	28.95	550	67.76
3/16/2003	08:57:02	197	508.52	375	25.11	561	68.46
3/16/2003	09:02:03	141	363.97	373	24.94	605	71.27
3/16/2003	09:19:37	142	366.55	402	27.41	371	56.32
3/16/2003	09:24:00	120	309.76	399	27.16	377	56.70
3/16/2003	09:29:01	92	237.48	387	26.13	418	59.32
3/16/2003	09:34:01	43	111.00	376	25.20	444	60.98
3/16/2003	09:39:05	46	118.74	382	25.71	447	61.17
3/16/2003	09:44:06	86	222.00	391	26.48	440	60.73
3/16/2003	09:49:08	83	214.25	377	25.28	452	61.49
3/16/2003	09:54:10	97	250.39	389	26.31	420	59.45
3/16/2003	09:59:11	98	252.97	389	26.31	440	60.73
3/16/2003	10:00:33	72	185.86	390	26.39	424	59.70
3/16/2003	10:09:15	134	345.90	389	26.31	430	60.09
3/16/2003	10:14:16	270	696.96	360	23.83	409	58.75
3/16/2003	10:19:18	143	369.13	397	26.99	393	57.72
3/16/2003	10:24:20	306	789.89	400	27.24	368	56.13
3/16/2003	10:29:21	204	526.59	365	24.26	358	55.49
3/16/2003	10:34:21	200	516.27	360	23.83	399	58.11
3/16/2003	10:39:26	214	552.41	364	24.18	368	56.13
3/16/2003	10:44:26	214	552.41	403	27.50	328	53.57
3/16/2003	10:49:28	139	358.81	411	28.18	305	52.10
3/16/2003	10:54:30	341	880.24	410	28.09	274	50.12
3/16/2003	10:59:30	345	890.56	359	23.75	300	51.78
3/16/2003	11:04:32	346	893.15	356	23.49	350	54.98
3/16/2003	11:09:34	346	893.15	349	22.90	367	56.06
3/16/2003	11:14:36	388	1001.56	421	29.03	298	51.65
3/16/2003	11:19:38	381	983.49	408	27.92	321	53.12
3/16/2003	11:24:40	381	983.49	357	23.58	543	67.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูล (ต่อ)

Date	Time	ความเข้มแสง		อุณหภูมิ		ความชื้น	
		(mV)	W/m <sup>2</sup>	(mV)	°C	(mV)	%RH
3/16/2003	11:29:42	381	983.49	353	23.24	568	68.91
3/16/2003	11:34:42	430	1109.98	356	23.49	542	67.24
3/16/2003	11:39:40	430	1109.98	404	27.58	302	51.91
3/16/2003	11:44:47	485	1251.95	408	27.92	321	53.12
3/16/2003	11:49:48	417	1076.42	415	28.52	300	51.78
3/16/2003	11:54:47	459	1184.84	368	24.52	402	58.30
3/16/2003	11:59:56	444	1146.12	372	24.86	461	62.07
3/16/2003	12:04:50	459	1184.84	379	25.45	455	61.68
3/16/2003	12:09:55	453	1169.35	436	30.31	220	46.67
3/16/2003	12:14:57	430	1109.98	418	28.78	242	48.07
3/16/2003	12:19:58	450	1161.61	414	28.44	468	62.52
3/16/2003	12:24:57	473	1220.98	386	26.05	446	61.11
3/16/2003	12:29:52	473	1220.98	386	26.05	143	41.75
3/16/2003	12:34:53	472	1218.39	424	29.29	198	45.26
3/16/2003	14:10:11	455	1174.51	422	29.12	198	45.26
3/16/2003	14:15:13	380	980.91	418	28.78	171	43.54
3/16/2003	14:20:15	383	988.66	404	27.58	178	43.98
3/16/2003	14:25:16	383	988.66	404	27.58	178	43.98
3/16/2003	14:30:15	393	1014.47	404	27.58	170	43.47
3/16/2003	14:35:34	267	689.22	426	29.46	168	43.35
3/16/2003	14:40:35	264	681.48	435	30.22	145	41.88
3/16/2003	14:45:37	274	707.29	420	28.95	153	42.39
3/16/2003	14:50:36	393	1014.47	404	27.58	150	42.20
3/16/2003	14:55:37	393	1014.47	404	27.58	140	41.56
3/16/2003	15:00:35	393	1014.47	416	28.61	133	41.11
3/16/2003	15:05:52	391	1009.31	421	29.03	196	45.13
3/16/2003	15:10:53	208	536.92	425	29.37	175	43.79
3/16/2003	15:15:57	393	1014.47	404	27.58	170	43.47
3/16/2003	15:20:57	383	988.66	404	27.58	168	43.35
3/16/2003	15:25:56	393	1014.47	404	27.58	169	43.41
3/16/2003	15:31:09	273	704.71	436	30.31	169	43.41
3/16/2003	15:36:15	294	758.92	424	29.29	169	43.41
3/16/2003	15:41:17	251	647.92	423	29.20	206	45.77
3/16/2003	15:45:17	393	1014.47	404	27.58	210	46.03
3/16/2003	15:50:18	393	1014.47	404	27.58	220	46.67
3/16/2003	15:55:19	404	1042.86	404	27.58	230	47.31
3/16/2003	16:01:37	147	379.46	415	28.52	236	47.69
3/16/2003	16:06:39	106	273.62	404	27.58	236	47.69
3/16/2003	16:11:46	174	449.15	404	27.58	221	46.73
3/16/2003	16:16:47	404	1042.86	404	27.58	210	46.03
3/16/2003	16:21:30	404	1042.86	404	27.58	211	46.09
3/16/2003	16:26:40	162	418.18	416	28.61	211	46.09
3/16/2003	16:32:19	107	276.20	397	26.99	204	45.65
3/16/2003	16:37:20	145	374.30	406	27.75	253	48.78
3/16/2003	16:42:21	118	304.60	406	27.75	257	49.03
3/16/2003	16:47:21	100	258.13	400	27.24	260	49.22
3/16/2003	16:52:22	100	258.13	400	27.24	260	49.22
3/16/2003	16:57:38	93	240.07	391	26.48	258	49.10
3/16/2003	17:02:40	93	240.07	399	27.16	244	48.20
3/16/2003	17:07:42	53	136.81	391	26.48	280	50.50
3/16/2003	17:12:42	50	129.07	391	26.48	300	51.78
3/16/2003	17:17:41	53	136.81	391	26.48	350	54.98
3/16/2003	17:22:50	49	126.49	391	26.48	345	54.66
3/16/2003	17:27:48	56	144.56	398	27.07	337	54.14
3/16/2003	17:32:56	57	147.14	396	26.90	336	54.08
3/16/2003	17:37:56	57	147.14	398	27.07	328	53.57
3/16/2003	17:43:06	40	103.25	380	25.54	328	53.57
3/16/2003	17:48:14	31	80.02	380	25.54	340	54.34
3/16/2003	17:53:22	28	72.28	394	26.73	344	54.59
3/16/2003	17:58:30	23	59.37	391	26.48	355	55.29
3/16/2003	18:03:39	16	41.30	389	26.31	380	56.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูลเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

Date	Time	ความชื้น			อุณหภูมิ		
		ชุดเก็บข้อมูล		เครื่องมือวัด	ชุดเก็บข้อมูล		เครื่องมือวัด
		mV	%RH	(%RH)	mV	°C	(°C)
3/26/2003	13:36:17	508	65.1	67.5	394	26.7	27.2
3/26/2003	13:36:30	499	64.5	68.0	396	26.9	27.2
3/26/2003	13:36:44	500	64.6	67.0	396	26.9	27.2
3/26/2003	13:36:57	505	64.9	66.8	394	26.7	27.2
3/26/2003	13:37:04	504	64.8	68.0	390	26.4	27.2
3/26/2003	13:41:00	512	65.3	68.9	393	26.6	27.2
3/26/2003	13:42:00	516	65.6	68.6	397	27.0	27.2
3/26/2003	13:44:01	516	65.6	68.0	396	26.9	27.2
3/26/2003	13:55:01	513	65.4	68.8	393	26.6	27.2
3/26/2003	13:56:01	505	64.9	67.0	391	26.5	27.2
3/26/2003	13:57:02	513	65.4	70.0	393	26.6	27.2
3/26/2003	13:57:08	506	64.9	69.0	389	26.3	27.2
3/26/2003	13:58:02	511	65.3	68.7	390	26.4	27.2
3/26/2003	13:59:03	507	65.0	69.3	391	26.5	27.2
3/26/2003	14:00:03	513	65.4	68.8	390	26.4	27.2
3/26/2003	14:01:04	519	65.8	69.1	389	26.3	27.2
3/26/2003	14:02:04	512	65.3	69.2	387	26.1	27.2
3/26/2003	14:03:05	512	65.3	68.5	390	26.4	27.2
3/26/2003	14:04:06	514	65.5	69.3	391	26.5	27.2
3/26/2003	14:05:06	515	65.5	68.8	393	26.6	27.2
3/26/2003	14:06:00	512	65.3	69.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	14:07:01	517	65.6	69.0	387	26.1	27.2
3/26/2003	14:08:01	520	65.8	68.5	392	26.6	27.2
3/26/2003	14:09:02	516	65.6	69.3	390	26.4	27.2
3/26/2003	14:10:02	516	65.6	68.0	391	26.5	27.2
3/26/2003	14:24:55	502	64.7	68.0	388	26.2	27.2
3/26/2003	14:27:57	488	63.8	68.0	388	26.2	27.2
3/26/2003	14:30:58	493	64.1	68.9	395	26.8	27.4
3/26/2003	14:34:00	499	64.5	68.7	391	26.5	27.3
3/26/2003	14:37:02	493	64.1	68.0	395	26.8	27.4
3/26/2003	14:40:04	500	64.6	68.0	391	26.5	27.0
3/26/2003	14:43:06	497	64.4	68.0	395	26.8	27.4
3/26/2003	14:46:07	498	64.4	68.0	396	26.9	27.4
3/26/2003	14:49:10	501	64.6	69.0	394	26.7	27.4
3/26/2003	14:52:12	499	64.5	68.8	398	27.1	27.2
3/26/2003	14:55:14	499	64.5	68.0	399	27.2	27.4
3/26/2003	14:58:16	501	64.6	68.0	399	27.2	27.4
3/26/2003	15:01:18	508	65.1	68.0	395	26.8	27.0
3/26/2003	15:04:20	502	64.7	68.0	401	27.3	27.4
3/26/2003	15:07:22	492	64.0	68.0	390	26.4	27.0
3/26/2003	15:10:23	498	64.4	68.2	392	26.6	27.0
3/26/2003	15:13:25	498	64.4	68.2	400	27.2	27.4
3/26/2003	15:16:27	501	64.6	68.7	389	26.3	27.0
3/26/2003	15:19:28	498	64.4	68.7	386	26.0	27.0
3/26/2003	15:22:30	493	64.1	68.7	400	27.2	27.4
3/26/2003	15:25:32	494	64.2	68.6	388	26.2	27.1
3/26/2003	15:28:35	489	63.9	68.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	15:31:37	489	63.9	68.0	393	26.6	27.2
3/26/2003	15:34:40	489	63.9	68.0	399	27.2	27.3
3/26/2003	15:37:42	496	64.3	68.2	397	27.0	27.3
3/26/2003	15:40:44	492	64.0	68.0	391	26.5	27.2
3/26/2003	15:43:45	494	64.2	68.2	396	26.9	27.2
3/26/2003	15:46:47	506	64.9	68.8	395	26.8	27.2
3/26/2003	15:49:51	497	64.4	68.2	395	26.8	27.2
3/26/2003	15:52:52	496	64.3	68.3	388	26.2	27.1
3/26/2003	15:55:54	499	64.5	68.8	386	26.0	27.0
3/26/2003	15:58:58	488	63.8	68.0	393	26.6	27.2
3/26/2003	16:02:00	500	64.6	68.8	397	27.0	27.2
3/26/2003	16:05:04	498	64.4	68.5	390	26.4	27.2
3/26/2003	16:08:06	492	64.0	68.4	392	26.6	27.2
3/26/2003	16:11:10	492	64.0	68.0	391	26.5	27.2
3/26/2003	16:14:12	491	64.0	68.0	389	26.3	27.2
3/26/2003	16:17:13	500	64.6	68.9	386	26.0	27.2
3/26/2003	16:20:18	496	64.3	68.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	16:23:20	488	63.8	68.0	397	27.0	27.2
3/26/2003	16:26:21	500	64.6	68.7	391	26.5	27.2
3/26/2003	16:26:21	500	64.6	68.7	391	26.5	27.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ค่าที่ได้จากการทดสอบใช้งานชุดเก็บข้อมูลเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (ต่อ)

Date	Time	ความชื้น			อุณหภูมิ		
		ชุดเก็บข้อมูล		เครื่องมือวัด (%RH)	ชุดเก็บข้อมูล		เครื่องมือวัด (°C)
		mV	%RH		mV	°C	
3/26/2003	16:32:28	492	64.0	68.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	16:35:30	485	63.6	68.0	387	26.1	27.2
3/26/2003	16:38:31	492	64.0	68.0	390	26.4	27.2
3/26/2003	16:41:33	497	64.4	68.2	396	26.9	27.2
3/26/2003	16:44:35	493	64.1	68.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	16:47:36	497	64.4	68.2	397	27.0	27.2
3/26/2003	16:50:38	497	64.4	68.2	394	26.7	27.2
3/26/2003	16:53:40	497	64.4	68.2	396	26.9	27.2
3/26/2003	16:56:42	487	63.7	68.0	392	26.6	27.2
3/26/2003	16:59:43	498	64.4	68.2	398	27.1	27.3
3/26/2003	17:02:45	497	64.4	68.2	393	26.6	27.3
3/26/2003	17:05:47	504	64.8	68.3	393	26.6	27.4
3/26/2003	17:08:48	496	64.3	68.2	394	26.7	27.4
3/26/2003	17:11:54	499	64.5	68.5	392	26.6	27.3
3/26/2003	17:14:56	498	64.4	68.2	397	27.0	27.4
3/26/2003	17:17:58	506	64.9	68.2	390	26.4	27.4
3/26/2003	17:21:04	498	64.4	68.2	393	26.6	27.2
3/26/2003	17:24:10	495	64.2	68.0	398	27.1	27.4
3/26/2003	17:27:16	506	64.9	68.8	390	26.4	27.4
3/26/2003	17:30:18	501	64.6	68.8	390	26.4	27.4
3/26/2003	17:33:19	494	64.2	68.4	400	27.2	27.4

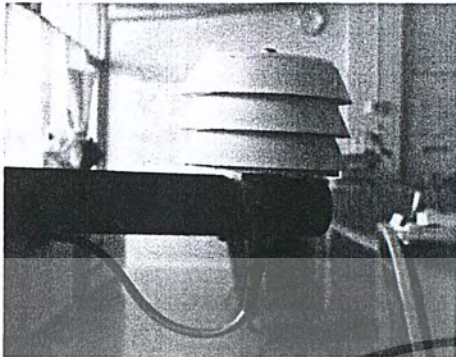


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

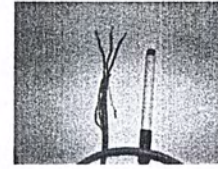


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานชุดเก็บข้อมูลของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศแบบอัตโนมัติ  
คุณสมบัติของ Sensor



Temp Sensor



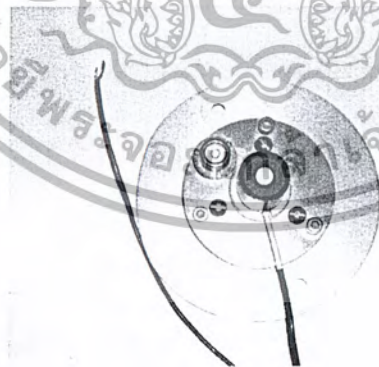
RH Sensor

1. Sensor วัดอุณหภูมิ

- Type RTD (Pt100)
- คุณสมบัติทางไฟฟ้า Resistance
- เส้นสีน้ำตาลและขาวเป็น Resistance ที่ปรับค่าได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

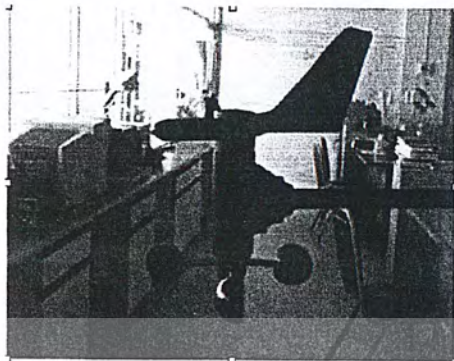
2. Sensor วัดความชื้น

- Type SKH 2040
- คุณสมบัติทางไฟฟ้า Voltage
- black GND
- red ต่อเข้ากับ  $V_{in}$
- green  $V_{out}$  จาก Sensor



3. Sensor วัดความเข้มแสง

- Type LI-200SA
- คุณสมบัติทางไฟฟ้า Current



#### 4. Sensor วัดทิศทางลม

- Type

Wind vane and potentiometer

- คุณสมบัติทางไฟฟ้า

Resistance

#### 5. Sensor วัดความเร็วลม

- Type

Wind cups and magnetic switch

- สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณ Pulse

- black  
green  
yellow  
red

Wind speed contact closure to ground

Wind direction pot wiper

pot supply voltage

ground



#### 6. Sensor วัดปริมาณน้ำฝน

- Type

Tipping bucket with magnetic reed switch

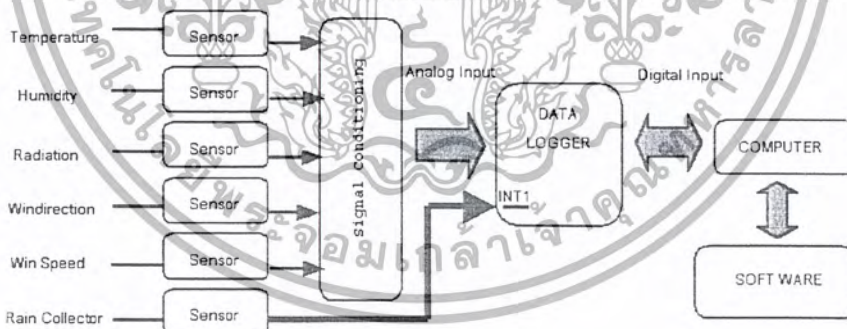
- สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณ Pulse

### คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้ พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรถ่ายโอนข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรถ่ายโอนสัญญาณนาฬิกาอยู่ในภายในชิป

### หลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

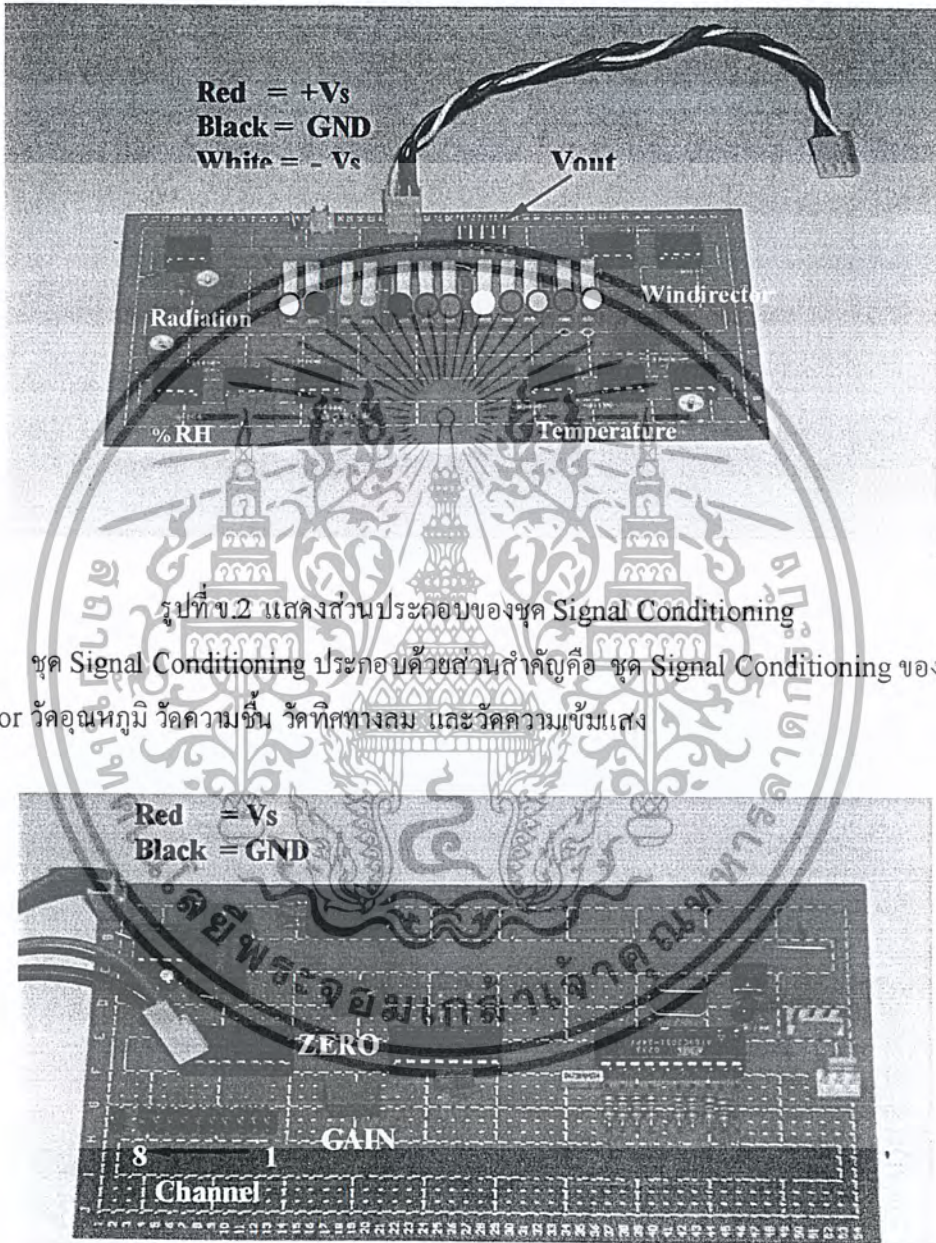
สัญญาณ Output จาก Sensor จะถูกส่งเข้าสู่วงจร Signal Conditioning เพื่อทำการปรับแต่งสัญญาณ (ยกเว้น Output ที่ได้จาก Sensor วัดปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นสัญญาณ Pulse สามารถส่งไปยังขาพอร์ต INT1 ได้เลย) แล้วจึงส่งข้อมูลเข้าสู่ชุด Data Logger เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์โดย Software ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาซึ่งยังสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์และใช้งานได้ในโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Microsoft Excel เป็นต้น



รูปที่ ข.1 แสดงไคอะแกรมการทำงานของเครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

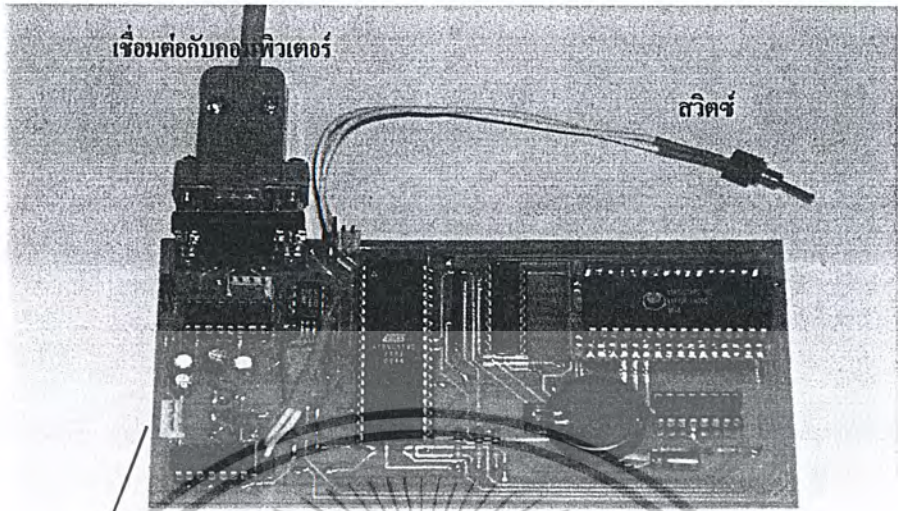
ส่วนประกอบของชุดเก็บข้อมูล ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1. ชุด Signal Conditioning
2. ชุด ADC Board
3. ชุด CPU Board



รูปที่ ข.3 แสดงส่วนประกอบของชุด ADC Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

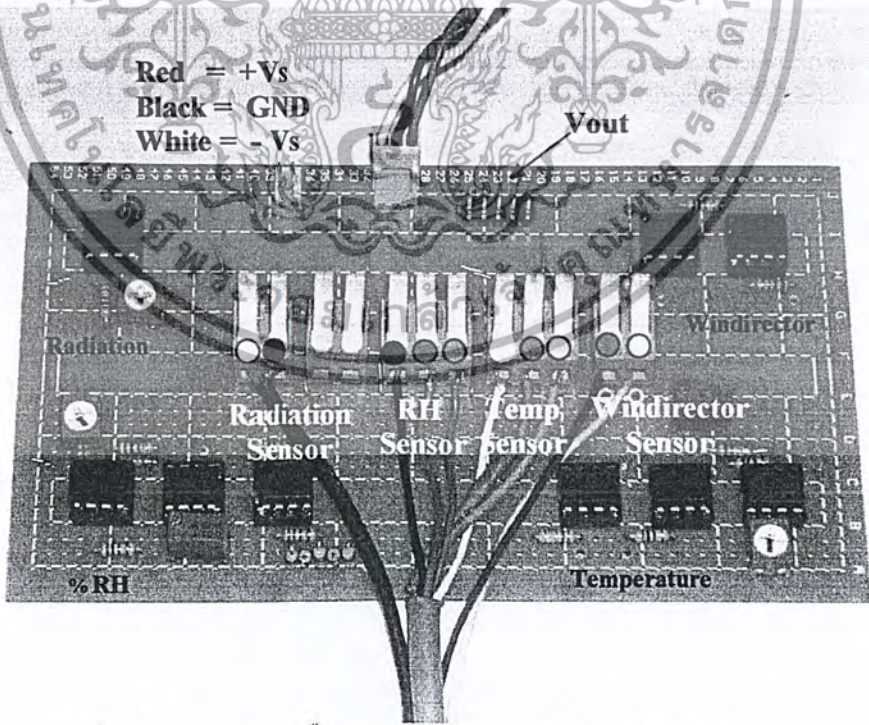


Port เชื่อมต่อกับชุด ADC Board

รูปที่ ข.4 แสดงส่วนประกอบของชุด CPU Board

ขั้นตอนการติดตั้งชุดเก็บข้อมูล

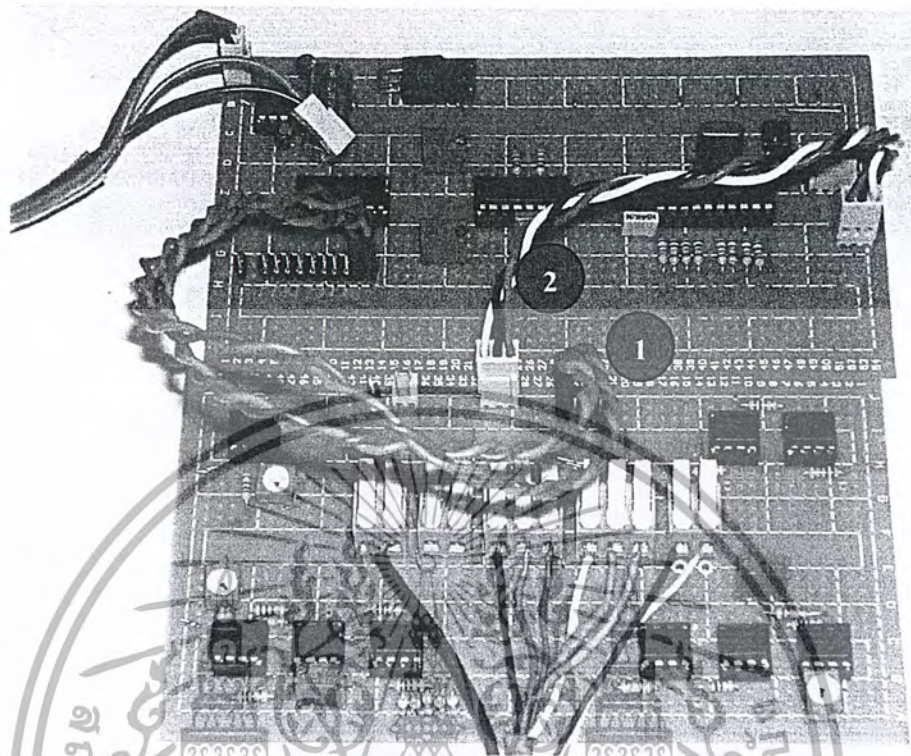
1. ขั้นตอนการติดตั้ง Sensor ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ กับ ชุด Signal Conditioning



รูปที่ ข. 5 แสดงการติดตั้ง Sensor เข้ากับชุด Signal Conditioning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

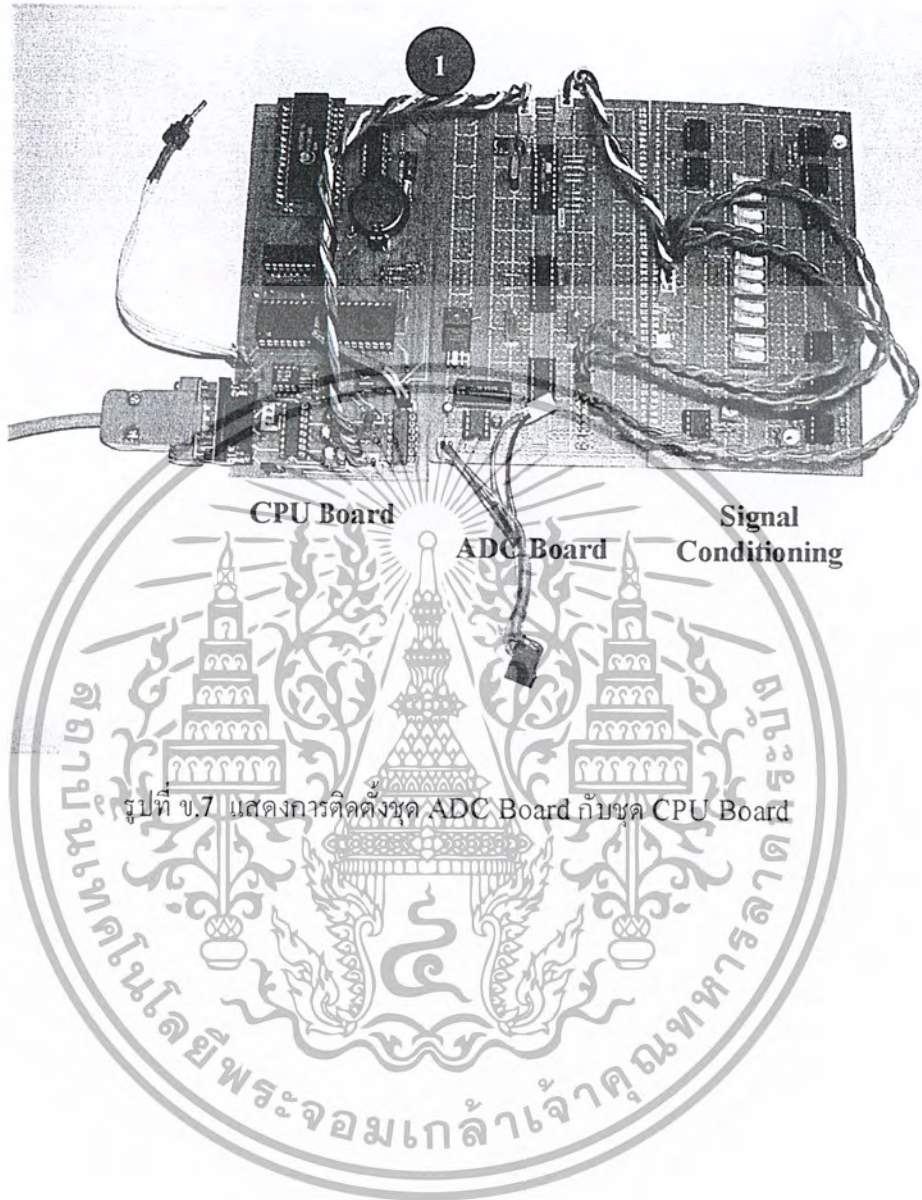
## 2. ขั้นตอนการติดตั้งชุด ADC Board กับชุด Signal Conditioning



รูปที่ ข.6 แสดงการติดตั้งชุด ADC Board กับชุด Signal Conditioning

- 2.1 เชื่อมต่อ Vout ของ Signal Conditioning เข้ากับชุด ADC ซึ่งมีทั้งหมด 8 channel
- 2.2 เชื่อมต่อชุด Supply ของ ADC Board เข้ากับชุด Signal Conditioning

### 3. การติดตั้งชุด CPU Board กับชุด ADC Board

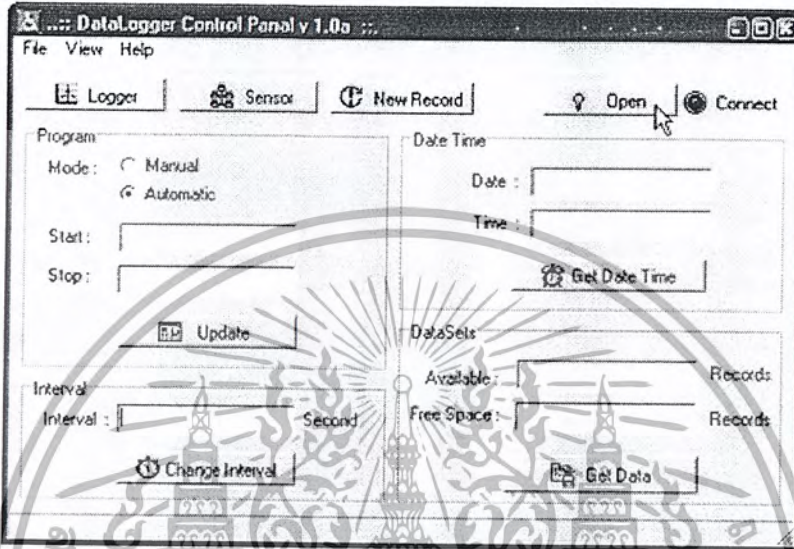


รูปที่ ข.7 แสดงการติดตั้งชุด ADC Board กับชุด CPU Board

## การใช้งาน Data Logger Control Panel v1.0

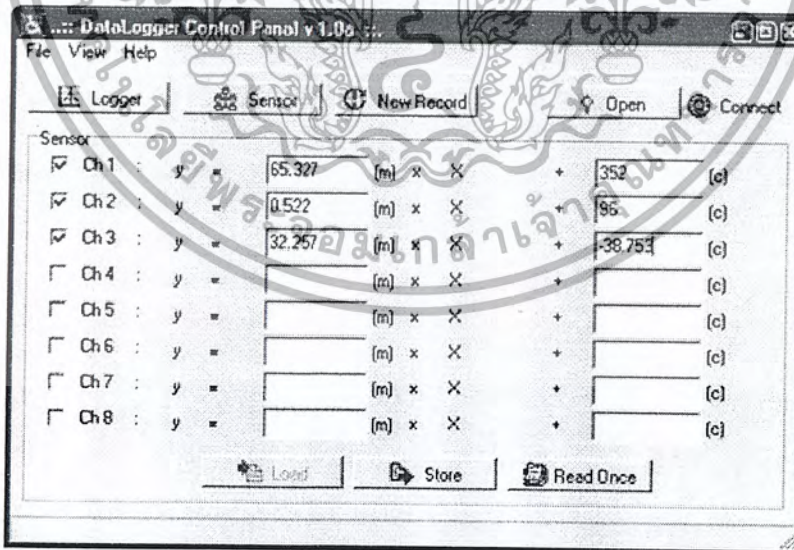
ในการใช้งานโปรแกรม Data Logger Control Panel v1.0 ให้สามารถใช้ควบคุม และปรับแต่งค่าการทำงานของ Data Logger รวมถึงการเก็บข้อมูล หากจะแบ่งการทำงานของโปรแกรม ออกเป็นส่วนๆ จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

### 1. ส่วนในการควบคุมและปรับค่าการทำงานของ Data Logger



รูปที่ ข.8 แสดงส่วนในการควบคุมและปรับค่าการทำงานของ Data Logger

### 2. ส่วนในการควบคุมและปรับแต่งค่าที่อ่านได้










รูปที่ ข.9 . ส่วนในการควบคุมและปรับแต่งค่าที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มที่ใช้ในการควบคุมส่วนต่างๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยมีจะปุ่มควบคุมหลัก และ ปุ่มควบคุมย่อย ดังนี้




- แสดงปุ่มควบคุมหลัก

 Logger	ใช้ในการเปิดหน้าต่างควบคุมการทำงานทั่วไป
 Sensor	ใช้ในการเปิดหน้าต่างควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์
 New Record	ใช้ในการเริ่มการเก็บข้อมูลใหม่
 Open	ใช้ในการเปิดการเชื่อมต่อกับ Data Logger
 Close	ใช้ในการปิดการเชื่อมต่อกับ Data Logger
 Connect	ไฟแสดงสถานะไม่มีการเชื่อมต่อกับ Data Logger
 Connect	ไฟแสดงสถานะมีการเชื่อมต่อกับ Data Logger

- แสดงปุ่มควบคุมย่อยในส่วนการควบคุมและปรับค่าการทำงานของ Data Logger

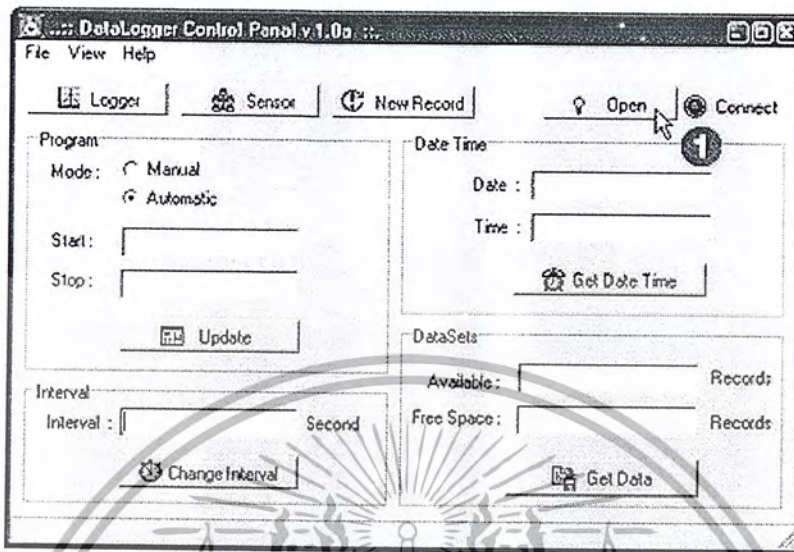
 Update	ใช้ในการเปลี่ยนรูปแบบการเก็บข้อมูล
 Change Interval	ใช้ในการเปลี่ยนช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล
 Get Date Time	ใช้ในการรับค่าวันและเวลาปัจจุบันของ Data Logger
 Change Date Time	ใช้ในการตั้งวันและเวลาของ Data Logger
 Get Data	ใช้ในการรับข้อมูลที่เก็บอยู่ภายใน Data Logger
 Save Data	ใช้ในการบันทึกค่าของข้อมูลลงไฟล์

- แสดงปุ่มควบคุมย่อยในส่วนการควบคุมและปรับแต่งค่าที่อ่านได้

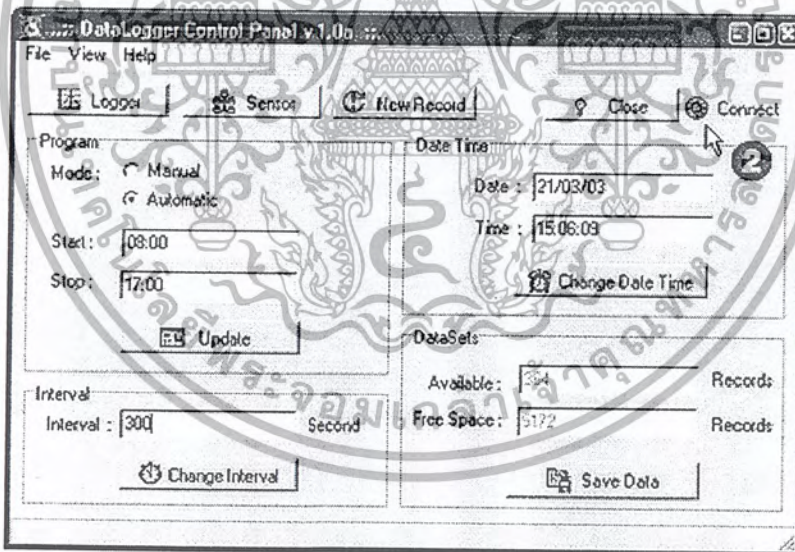
 Load	ใช้ในการโหลดค่าในการปรับแต่งที่ได้มีการบันทึกไว้
 Store	ใช้ในการบันทึกค่าในการปรับแต่ง
 Read Once	ใช้ในการเรียกเก็บข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน

## ขั้นตอนการใช้งานในส่วนต่างๆ

### 1. การเชื่อมต่อกับ Data Logger



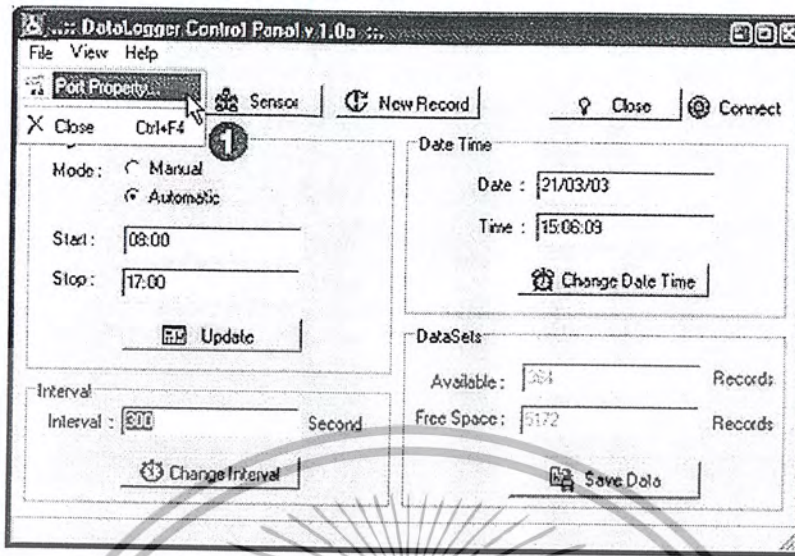
#### 1.1 เริ่มการติดต่อสื่อสารกับ Data Logger



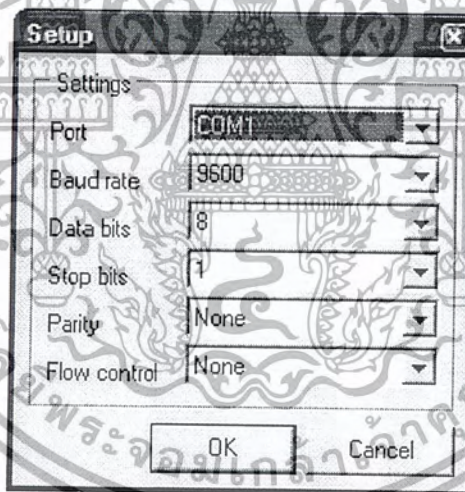
#### 1.2 เมื่อทำการเชื่อมต่อเรียบร้อย ไฟแสดงการทำงานจะติดเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การแก้ไขค่า Setup ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Data Logger



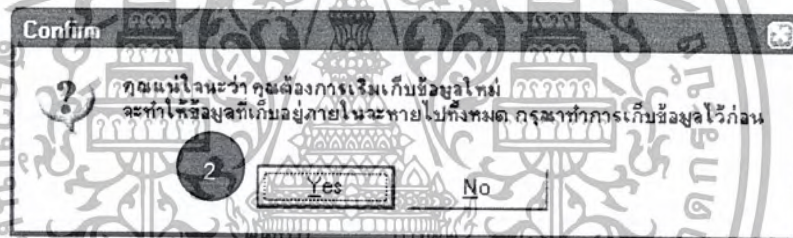
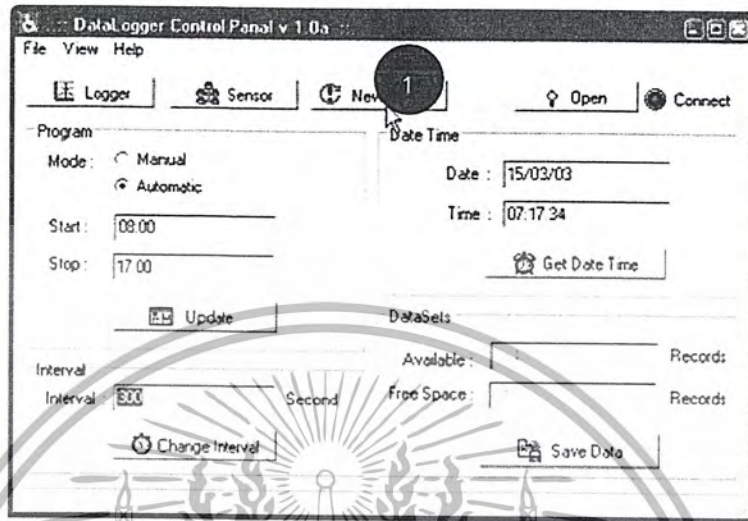
2.1 เลือก File > Port Property เพื่อทำการปรับตั้งค่าในการเชื่อมต่อกับ Data Logger



2.2 ทำการปรับตั้งค่า Setup ต่างๆ การเชื่อมต่อดังที่ได้แสดงในรูป

### 3. การเริ่มการเก็บข้อมูล

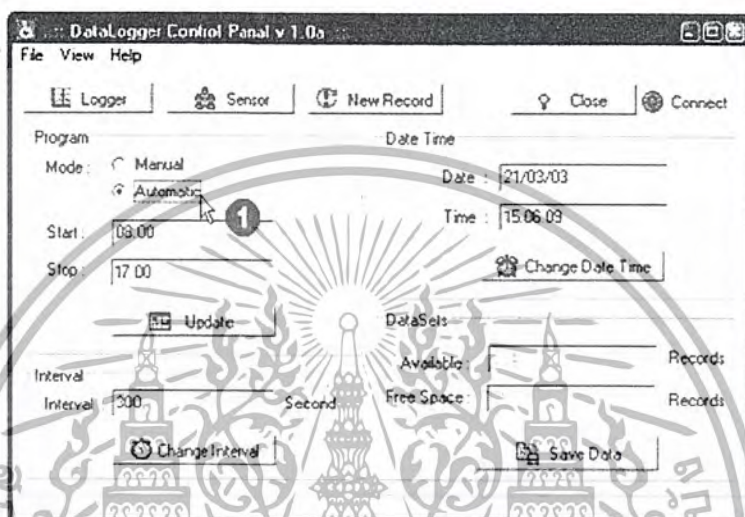
3.1 การเริ่มการเก็บข้อมูล กดปุ่ม **New Record** เพื่อเริ่มเก็บข้อมูลใหม่



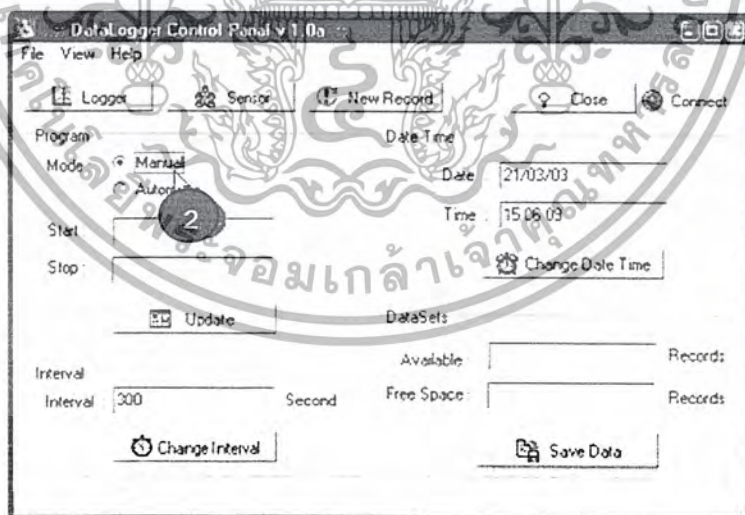
3.2 ทำการยืนยันการเริ่มเก็บข้อมูลใหม่

#### 4. การเปลี่ยนรูปแบบการเก็บข้อมูล

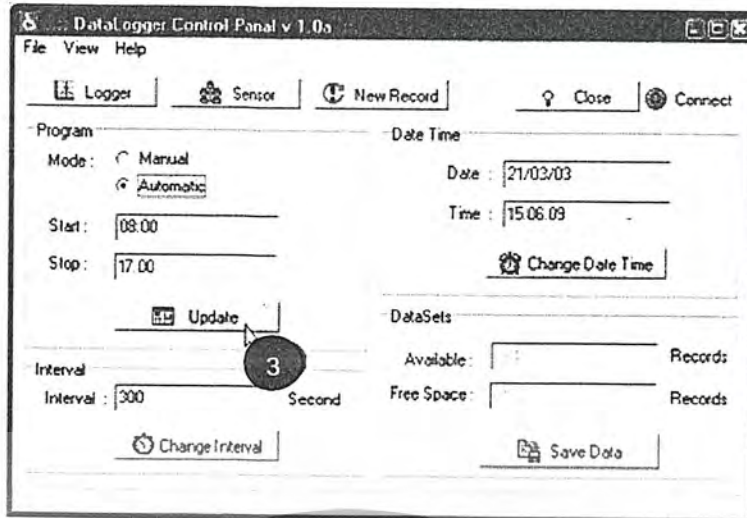
ในการเลือกรูปแบบการเก็บข้อมูลของ Data Logger สามารถเลือกได้ 2 แบบคือ แบบอัตโนมัติ (Automatic) และแบบกำหนดเอง (Manual) ลักษณะการเก็บข้อมูลในรูปแบบอัตโนมัตินั้น จะสามารถกำหนดเวลาในการเก็บข้อมูลได้ เช่นเริ่มการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17:00 น. เป็นต้น ส่วนลักษณะการเก็บข้อมูลแบบกำหนดเองนั้น จะสามารถเริ่มเก็บข้อมูล หรือหยุดเก็บข้อมูลได้โดยใช้สวิตช์เปิด-ปิด บน Data Logger



4.1 การเลือกรูปแบบการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ

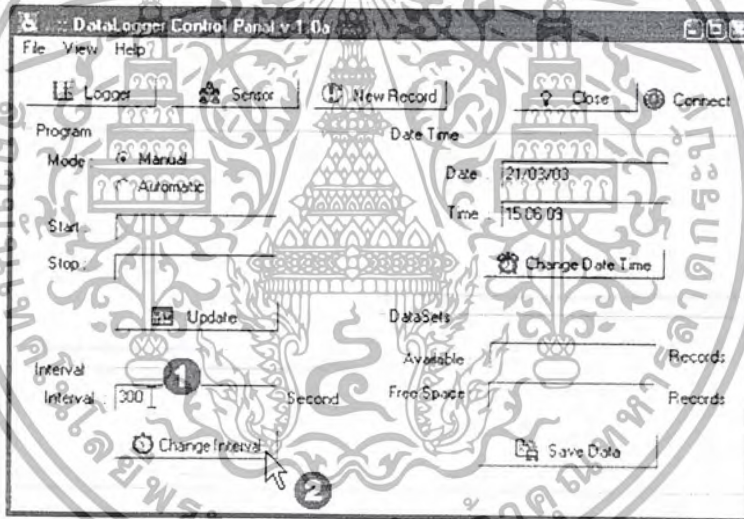


4.2 การเลือกรูปแบบการเก็บข้อมูลแบบกำหนดเอง




4.3 กดปุ่ม Update เพื่อส่งค่าไปยัง Data Logger

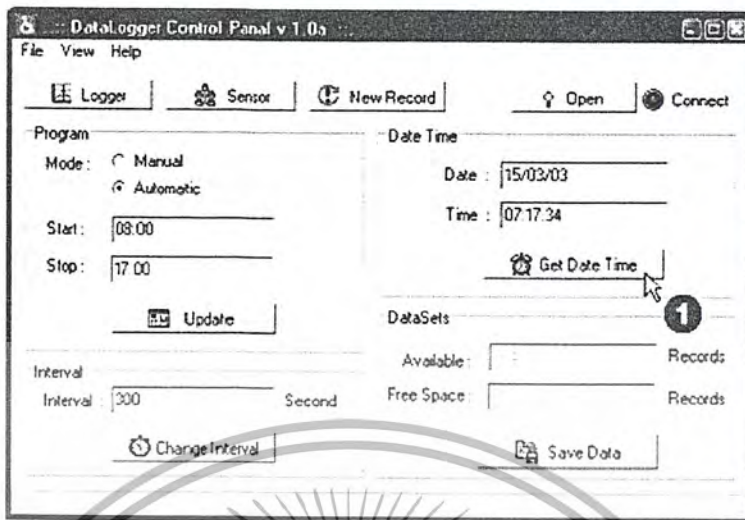
## 5. การเปลี่ยนช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล



5.1 กรอกค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่ต้องการ

5.2 กดปุ่ม  Change Interval เพื่อบันทึกช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

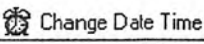
## 6. การตั้งวันและเวลาของ Data Logger



6.1 กดปุ่ม  **Get Date Time** เพื่อใช้ในการรับค่าวันและเวลาปัจจุบันของ Data Logger

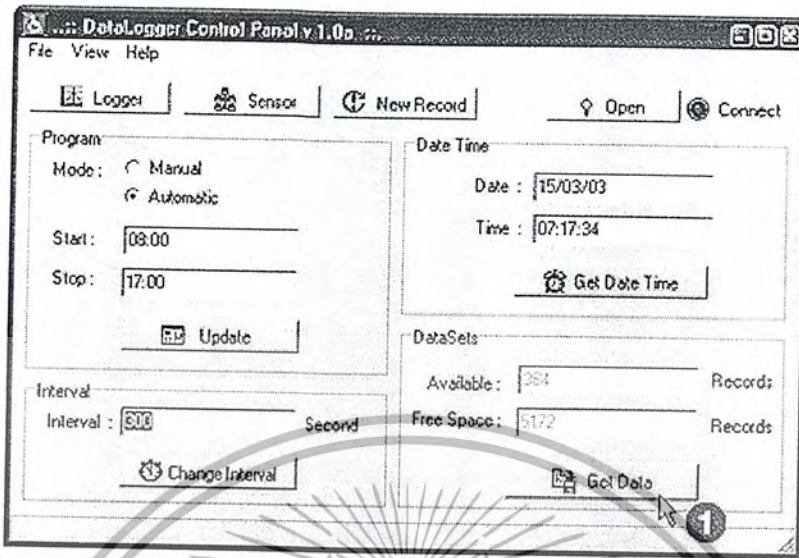



6.1 กรอกรหัสวันและเวลา

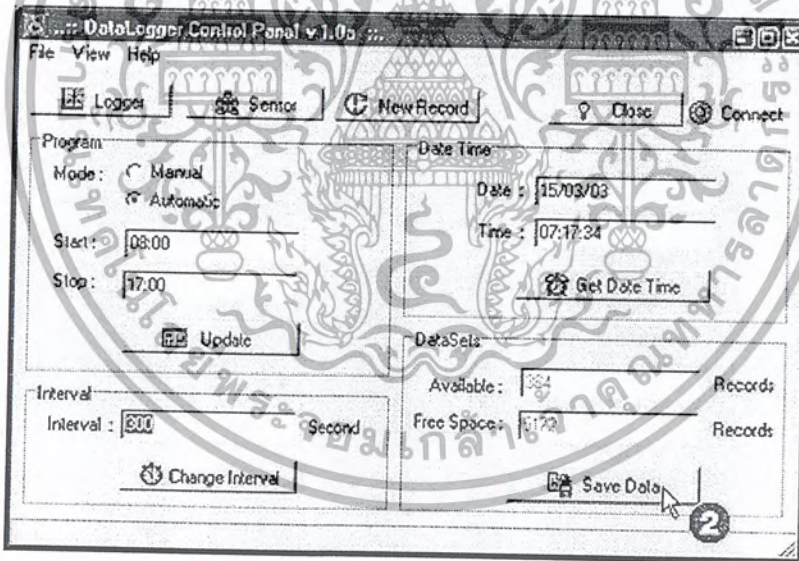
6.2 กดปุ่ม  **Change Date Time** เพื่อใช้ในการตั้งวันและเวลาของ Data Logger


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. การเก็บและบันทึกข้อมูลจาก Data Logger

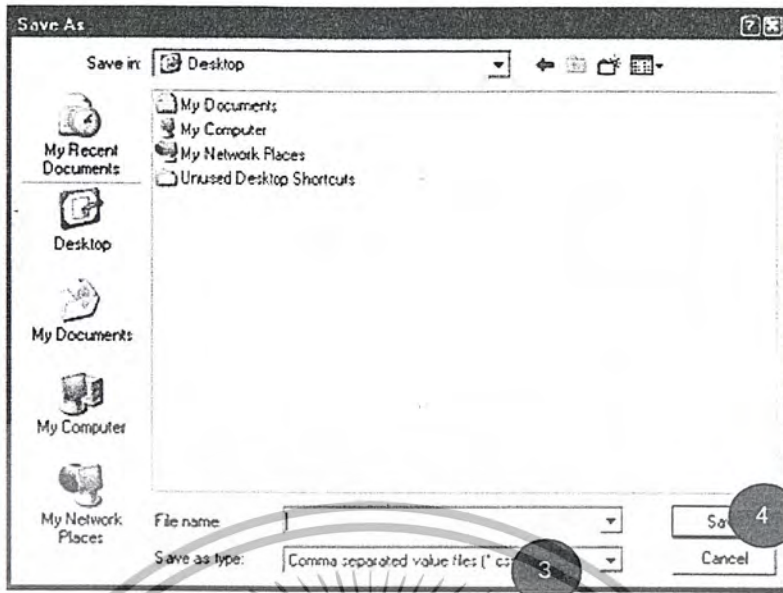


7.1 กดปุ่ม  Get Data เพื่อรับข้อมูลมาเก็บไว้ที่หน่วยความจำ



7.2 กดปุ่ม  Save Data เพื่อเก็บข้อมูลลงไฟล์

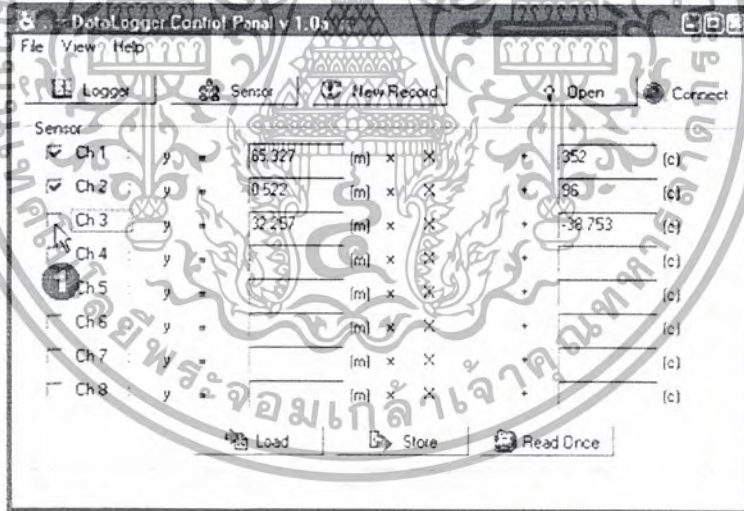
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7.3 เลือกการเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ CSV

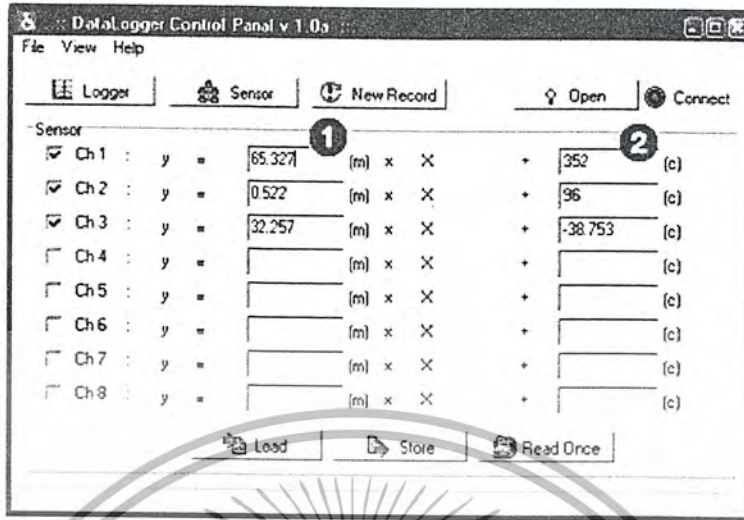
7.4 ตั้งชื่อไฟล์แล้วกด Save

## 8. การเลือกใช้ Channel เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

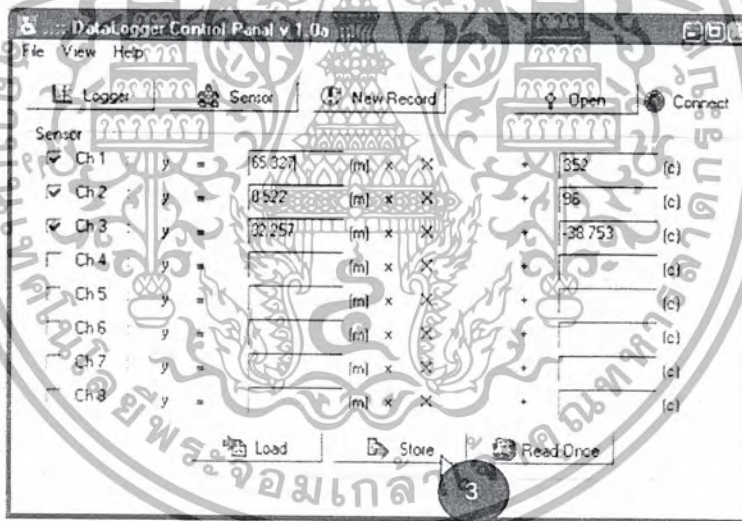


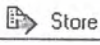
8.1 เลือก channel โดยการกด  ในช่องที่ต้องการใช้งาน

## 9. การแปลงข้อมูล

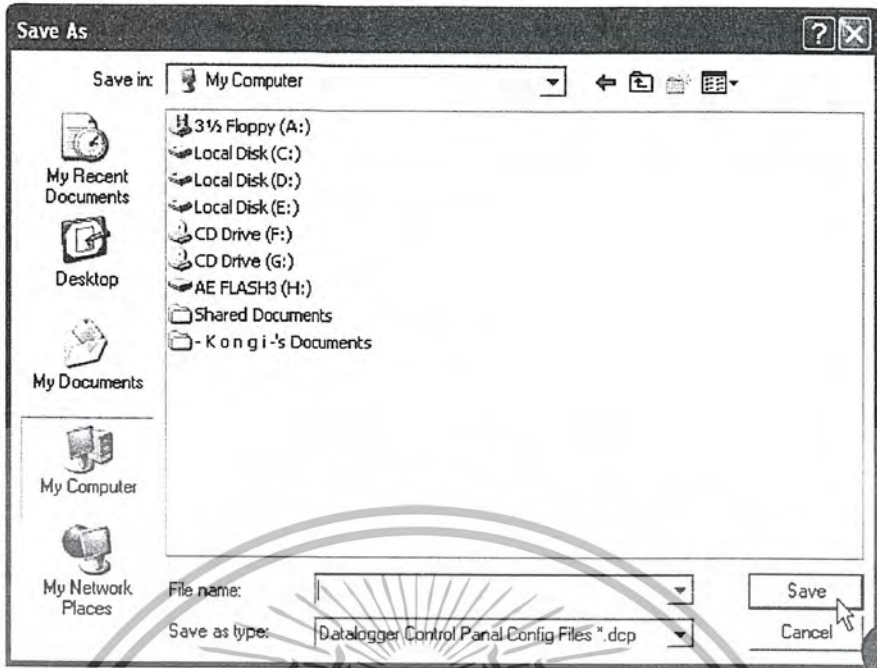


9.1 การใส่ค่าเพื่อแปลงข้อมูลของ Sensor แต่ละช่องค่าที่ใช้ในการปรับแต่งจะต้องอยู่ในรูปแบบ  $Y = mX + c$



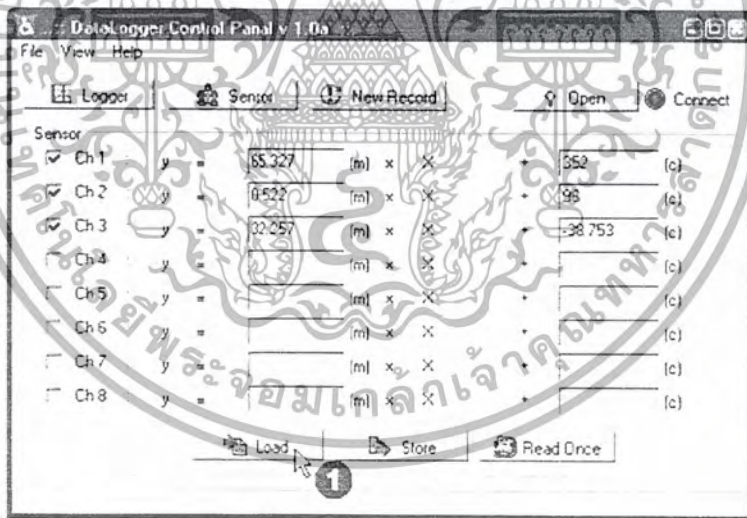
9.2 การบันทึกค่าในการปรับแต่ง กดปุ่ม  Store เพื่อใช้ในการบันทึกค่าในการปรับแต่ง


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



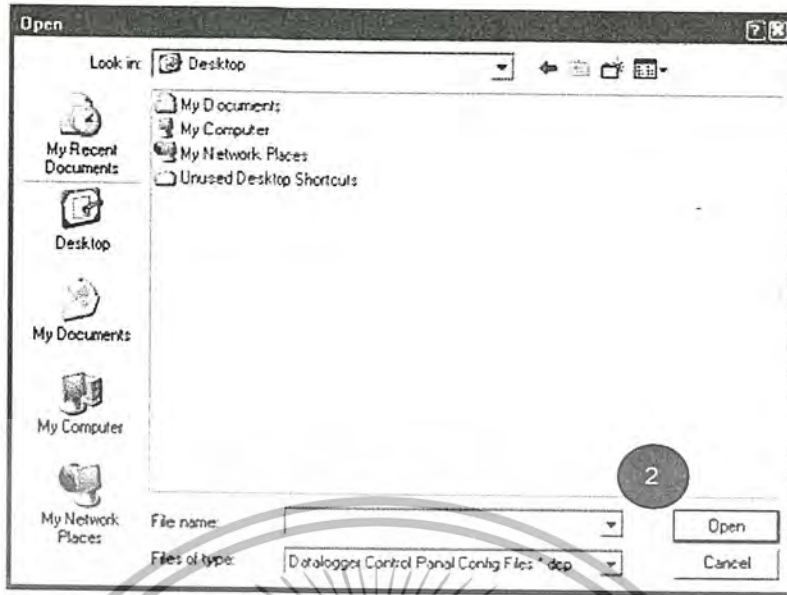
### 9.3 ตั้งชื่อไฟล์แล้วกด Save

## 10. การโหลดค่าในการปรับแต่ง



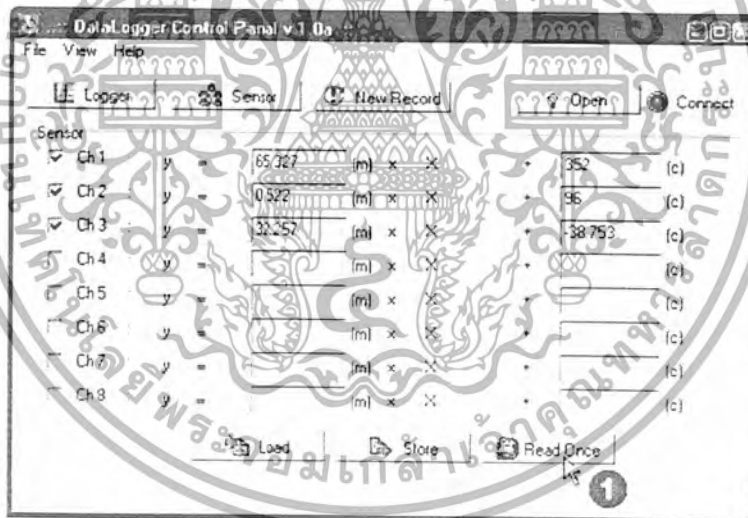
10.1 การโหลดค่าในการปรับแต่งที่ได้มีการบันทึกไว้ กดปุ่ม  Load เพื่อใช้ในการโหลดค่าในการปรับแต่งที่ได้มีการบันทึกไว้


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



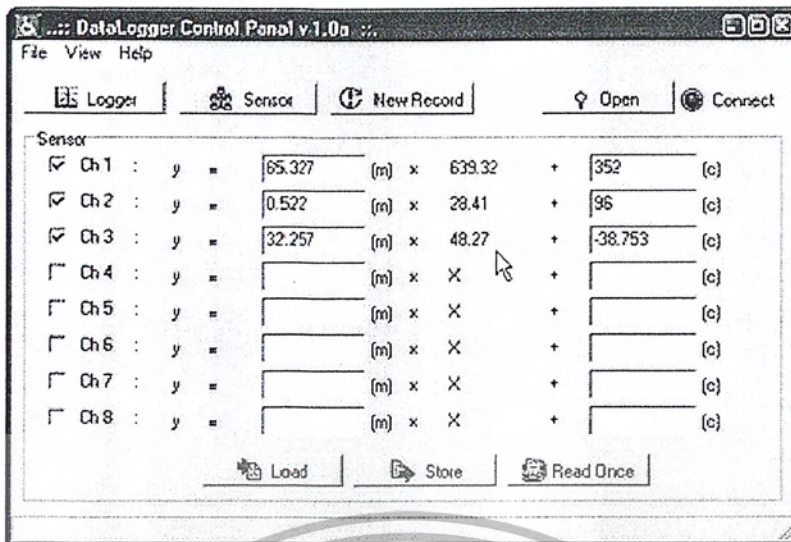
10.2 คลิก Open เพื่อทำการเปิดไฟล์ข้อมูล ตั้งชื่อไฟล์แล้วทำการบันทึก

## 11. การเรียกเก็บข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน



11.1 กดปุ่มเพื่อ  Read Once เพื่อใช้ในการเรียกเก็บข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 11.2 ค่าที่อ่านได้จาก Data Logger



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทปฏิบัติการเพื่อหาความสัมพันธ์และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ SENSOR

### การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดอุณหภูมิ

#### จุดประสงค์

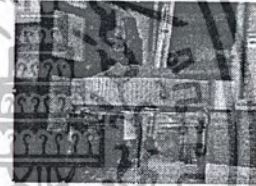
1. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ Sensor และอุณหภูมิ

#### อุปกรณ์

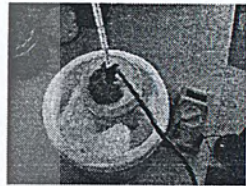
1. Sensor วัดอุณหภูมิ
2. มิเตอร์วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าเทอร์โมมิเตอร์
3. ขวดโหลแก้วมีฝาปิด เจาะรู 2 รูบนฝา
4. น้ำแข็ง
5. กระจกน้ำแข็ง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อมิเตอร์กับ Sensor อุณหภูมิ
2. ปรับย่านการวัดไปที่โอห์มมิเตอร์
3. นำ Sensor และเทอร์โมมิเตอร์ใส่ในขวดโหลแก้วที่เจาะฝาไว้ด้านบน ดังรูปที่ 1
4. นำขวดโหลแก้วใส่ลงในกระจกน้ำแข็ง
5. ใส่น้ำแข็งลงในกระจกน้ำแข็ง ไว้โดยรอบขวดโหลแก้ว ดังรูปที่ 2
6. เมื่ออุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ลดถึงจุดต่ำสุด (ประมาณ  $8^{\circ}\text{C}$ ) เริ่มเอาน้ำแข็งออกจากกระจกน้ำแข็ง
7. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและค่าความต้านทานทางไฟฟ้า จดบันทึกผล
8. ทำซ้ำในข้อ 5-7 จำนวน 3 ครั้ง บันทึกผล
9. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ( $k\Omega$ )
10. สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 1



รูปที่ 2



## การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดความชื้น

### จุดประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ Sensor และความชื้น

### อุปกรณ์

1. Sensor วัดความชื้น
2. ห้องปรับอุณหภูมิ
3. มิเตอร์วัดไฟฟ้า
4. เครื่องมือวัดความชื้น

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อ Sensor เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5 V (นำสายไฟเส้นสีดำ ต่อกับ GND และสายไฟเส้นสีแดงต่อกับแหล่งจ่ายไฟ)
2. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับ Output ของ Sensor (สายไฟเส้นสีเขียว)
3. เปิดเครื่องมือวัดความชื้น
4. ปรับอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้ได้อุณหภูมิต่ำที่สุด
5. เริ่มอ่านค่า Output ของ Sensor และค่าความชื้นจากเครื่องมือวัดความชื้น
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ปรับอุณหภูมิภายในห้องให้ค่อยๆ สูงขึ้น ความชื้นจะเริ่มเปลี่ยนแปลง สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Output ของ Sensor และความชื้น บันทึกผล
8. ทำซ้ำในข้อ 4-7 จำนวน 3 ครั้ง
9. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Sensor กับ %RH

ตารางบันทึกผลการทดลอง

%RH	ค่าความชื้น(V)			
	ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย



สรุปผลและวิจารณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดทิศทางลม

### จุดประสงค์

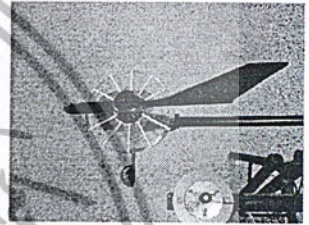
1. เพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Sensor และทิศทางลม (องศา)

### อุปกรณ์

1. Sensor วัดทิศทางลม
2. มิเตอร์วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
3. เครื่องวงกลม 2 อัน
4. ดินน้ำมัน

### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ Sensor ต่อเข้ากับมิเตอร์
2. ปรับย่านการวัดไปที่โอห์มมิเตอร์
3. ประกอบชุดเครื่องวงกลมกับสรวัดทิศทางลม ดังรูปที่ 1
4. ปรับสเกลไปตามทิศต่างๆ เริ่มจาก 0-360 องศา  
ทิศตามเข็มนาฬิกา ครั้งละ 30 องศา
5. บันทึกผลการทดลอง
6. ทำซ้ำในข้อ 4-5 จำนวน 3 ครั้ง
7. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศากับความต้านทานทางไฟฟ้า



รูปที่ ค.3



## การทดลองหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor วัดความเข้มแสง

### จุดประสงค์

1. เพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Sensor
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความเข้มแสง  $W/m^2$

### อุปกรณ์

1. Sensor วัดความเข้มแสง
2. มิเตอร์วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า
3. เครื่องวัดความเข้มแสง
4. นาฬิกา

### ขั้นตอนการทดลอง

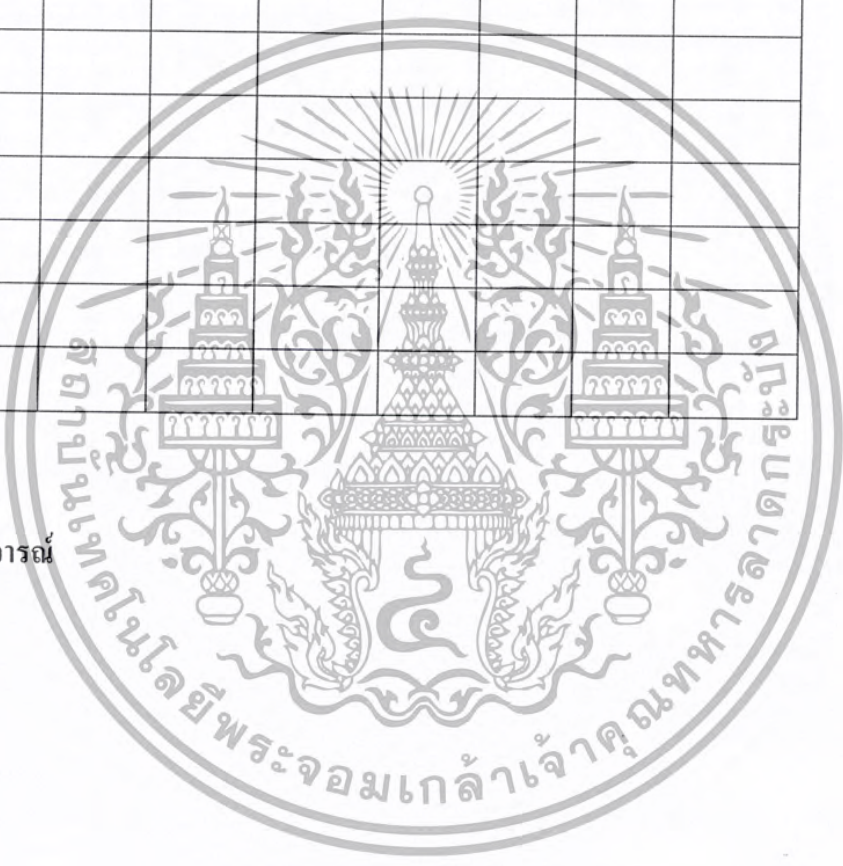
1. นำ Sensor ต่อเข้ากับแอมมิเตอร์
2. เปิดเครื่องมือวัดความเข้มแสง
3. นำ Sensor วางไว้กลางแสงสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
4. เริ่มอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากแอมมิเตอร์และค่าความเข้มแสงจากเครื่องมือวัดความเข้มแสง
5. บันทึกผลการทดลอง
6. อ่านค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง
7. เขียนกราฟแสดงความเข้มแสงของวันที่ทดลอง กับเวลา
8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ได้จาก Sensor และค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากเครื่องมือ ( $W/m^2$ )



ตารางบันทึกผลการทดลอง

เวลา	I ( $\mu\text{A}$ ) SENSOR				ความเข้มแสง ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) ที่อ่านได้จาก เครื่องวัดความเข้มแสง			
	ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย

สรุปผลและวิจารณ์

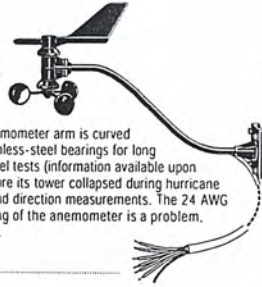


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ANEMOMETER, Industrial

**7914**  
SENSORS

The Anemometer includes both wind speed and wind direction sensors. Rugged components stand up to hurricane-force winds, yet are sensitive to a light breeze. Anemometer arm is curved upward to provide cleaner airflow over anemometer control head. Includes sealed stainless-steel bearings for long life. The range and accuracy specifications of this unit have been verified in wind-tunnel tests (information available upon request). A model 7911 Anemometer reported wind speeds of 175 miles per hour before its tower collapsed during hurricane Andrew, 1992. Digital filtering, with time constant as specified below, is applied to wind direction measurements. The 24 AWG shielded cable protects against Electro-magnetic Interference (EMI). In areas where icing of the anemometer is a problem, use Anemometer Drip Rings to deflect water from the joint between moving parts.



### SPECIFICATIONS

#### General

<b>Sensor Type</b>	
Wind Speed	Wind cups and magnetic switch
Wind Direction	Wind vane and potentiometer
<b>Attached Cable Length</b>	16' (5 m)
<b>Cable Type</b>	4-conductor, 24 AWG shielded cable with UV-resistant jacket, wires stripped and tinned

**Recommended Maximum Cable Length** ..... 250' (75 m) from Sensor to SIM + 250' (75 m) from SIM to Console

#### Material

Wind Vane and Control Head	UV-resistant ABS
Wind Cups	Polycarbonate
Anemometer Arm	Black-anodized aluminum
<b>Dimensions</b>	21.5" long x 10.5" high x 4.75" wide (89 mm x 83 mm x 38 mm)
<b>Weight</b>	1 lb. 10 oz. (0.737 kg)

#### Console Data (These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.)

##### Range

Wind Speed	2 to 175 mph (2 to 150 knots, 0.9 to 78 m/s; 4 to 280 km/hr)
Wind Direction	0° to 360° or 16 compass points
Wind Run	0 to 1999.9 miles (0 to 1999.9 km)

##### Accuracy

Wind Speed	±5%
Wind Direction	±7°
Wind Run	±5%

##### Resolution

Wind Speed	1 mph (1 knot, 0.1 m/s, 1 km/hr)
Wind Direction	1° (22.5° between compass points)
Wind Run	0.1 m (0.1 km)

##### Measurement Timing

Wind Speed Sample Period	2.25 seconds
Wind Speed Sample and Display Interval	2.25 seconds (Monitor & Wizard), 3 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)
Wind Direction Sample Interval	1 second (Monitor & Wizard), 1.5 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)
Wind Direction Filter Time Constant typical	8 seconds (Monitor & Wizard), 6-9 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)
Wind Direction Display Update Interval	2 seconds (Monitor & Wizard), 1 second (GroWeather & EnviroMonitors)
Wind Run Sample and Display Interval	3 seconds (GroWeather & Energy EnviroMonitor)

#### WeatherLink® Data (These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.)

Wind Speed	Average during archive interval
High Wind Speed	Maximum during archive interval
Wind Direction	Dominant wind direction during archive interval
Wind Run	Sum over archive interval (GroWeatherLink & Energy WeatherLink)

#### Input/Output Connections

White	Wind speed contact closure to ground
Green	Wind direction pot wiper (360° ± 20 kOhm)
Red	Pot supply voltage
Black	Ground
Bare	Shield Ground

**DAVIS** Davis Instruments 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778  
(510) 732-9229 • FAX (510) 732-9188 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com

DS7914-00 (Rev. B, 7/14/99)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LI-200SA PYRANOMETER SENSOR

LI-COR, Inc. Toll Free: 1-800-447-3576 (U.S. & Canada) • Phone: 402-467-3576 • FAX: 402-467-2819 • E-mail: envsales@env.licor.com • Internet: http://www.licor.com

## TOTAL SOLAR RADIATION

The LI-200SA Pyranometer is designed for field measurement of global solar radiation in agricultural, meteorological, and solar energy studies. In clear unobstructed daylight conditions, the LI-COR pyranometer compares favorably with first class thermopile type pyranometers (1, 2), but is priced at a fraction of the cost.

Patterned after the work of Kerr, Thurtell and Tanner (3), the LI-200SA features a silicon photovoltaic detector mounted in a fully cosine-corrected miniature head. Current output, which is directly proportional to solar radiation, is calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions in units of watts per square meter ( $W m^{-2}$ ). Under most conditions of natural daylight, the error is <5%.

The spectral response of the LI-200SA does not include the entire solar spectrum (Figure 1), so it must be used in the same lighting conditions as those under which it was calibrated. Therefore, the LI-200SA should only be used to measure unobstructed daylight. It should NOT be used under vegetation, artificial lights, in a greenhouse, or for reflected solar radiation.

LI-200SA Pyranometer Sensor



## LI-200SA SPECIFICATIONS

**Calibration:** Calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions. Typical error under these conditions is  $\pm 5\%$ .

**Sensitivity:** Typically  $90 \mu A$  per  $1000 W m^{-2}$ .

**Linearity:** Maximum deviation of 1% up to  $3000 W m^{-2}$ .

**Stability:**  $\leq \pm 2\%$  change over a 1 year period.

**Response Time:** 10  $\mu s$ .

**Temperature Dependence:** 0.15% per  $^{\circ}C$  maximum.

**Cosine Correction:** Cosine corrected up to  $80^{\circ}$  angle of incidence.

**Azimuth:**  $\leq \pm 1\%$  error over  $360^{\circ}$  at  $45^{\circ}$  elevation.

**Tilt:** No error induced from orientation.

**Operating Temperature:**  $-40$  to  $65^{\circ}C$ .

**Relative Humidity:** 0 to 100%.

**Detector:** High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced).

**Sensor Housing:** Weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware.

**Size:** 2.38 Dia.  $\times$  2.54 cm H ( $0.94" \times 1.0"$ ).

**Weight:** 28 g (1 oz).

**Cable Length:** 3.0 m (10 ft).

## ORDERING INFORMATION

The LI-200SA Pyranometer Sensor cable terminates with a BNC connector that connects directly to the LI-250 Light Meter or LI-1400 DataLogger. The 2220 Millivolt Adapter should be ordered if the LI-200SA will be used with a strip chart recorder or datalogger that measures millivolts. The 2220 uses a 147 ohm precision resistor to convert the LI-200SA output from microamps to millivolts. The sensor can also be ordered with bare leads (without the connector) designated LI-200SZ. Both are available with 50 foot cables, LI-200SA-50 or LI-200SZ-50. The 2003S Mounting and Leveling Fixture is recommended for each sensor unless other provisions for mounting are made. Other accessories are described on the Accessory Sheet.

- LI-200SA Pyranometer
- LI-200SZ Pyranometer
- LI-200SA-50 Pyranometer
- LI-200SZ-50 Pyranometer
- 2220 Millivolt Adapter
- 2003S Mounting and Leveling Fixture
- 2222SB-50 Extension Cable
- 2222SB-100 Extension Cable

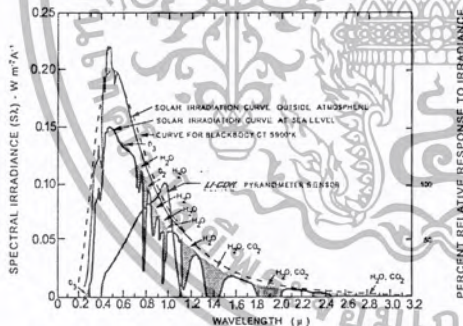


Figure 1. The LI-200SA Pyranometer spectral response is illustrated along with the energy distribution in the solar spectrum (3).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

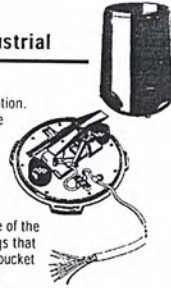
## RAIN COLLECTOR, 0.01" (or 0.2 mm) Increments, Industrial

**7856(M)**  
**SENSORS**

The Rain Collector is designed to meet the guidelines of the World Meteorological Organization. Rain enters the collector cone, passes through a debris-filtering screen, and collects in one chamber of the tipping bucket. The bucket tips when it has collected an amount of water equal to the increment in which the collector measures. As the bucket tips, it causes a switch closure and brings the second tipping bucket chamber into position. The rain water drains out through the screened drains in the base of the collector. The 24 AWG shielded cable protects against Electro-magnetic Interference (EMI).

The collector is designed for many years of accurate, trouble-free service. The body and base of the collector are constructed of tough, UV resistant plastic; the tipping bucket pivots on bearings that minimize friction and wear. Stainless steel adjustment screws under each chamber of the tipping bucket allow you to fine-tune the calibration of the Rain Collector.

Two types of collector are available; one measures in 0.01" increments and the other in 0.2 mm increments. Both rain collectors come with mounting holes pre-drilled in the base and a built-in bubble level to aid you in installing the rain collector. An optional heater accessory, the Rain Collector Heater, is available for use with either of the Rain Collector units. This heater allows the Rain Collector to measure the moisture content of snowfall and protects the internal components from freezing rain. If mounted according to included instructions, the Rain Collector is wind tunnel tested to be stable in winds up to 140MPH (224 Km/Hr).



### SPECIFICATIONS

#### General

Sensor Type	Tipping bucket with magnetic reed switch
Output	Contact closure
Attached Cable Length	16' (5 m)
Cable Type	4-conductor, 24 AWG shielded cable with UV-resistant jacket, wires stripped and tinned
Recommended Maximum Cable Length	900' (270 m)
Housing Material	UV-stabilized ABS plastic
<b>Dimensions</b>	
Rain Collector	8.75" diameter x 9.5" high (16.5 cm diameter x 24 cm high)
Collection Area	31 in <sup>2</sup> (200 cm <sup>2</sup> )
Weight	2 lbs, 3 oz. (1 kg)

#### Console Data (These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.)

<b>Range</b>	
Daily Rainfall	0.00" to 40.95" (0.0 mm to 819 mm)
Total Rainfall	0.00" to 99.99" (0.0 mm to 9999 mm)
Rate of Rainfall	0.00" to 72.0" per hour (0 to 999 mm per hour)
<b>Accuracy</b>	
Rainfall	±4%, ±1 rainfall count between 0.01" and 2.00" per hour (0.2 mm and 50.0 mm per hour); ±5%, ±1 rainfall count between 2.00" and 4.00" per hour (50.0 mm and 100.0 mm per hour)
Resolution	0.01" (0.2 mm)
Sample and Display Update Interval	16 seconds (max)

#### WeatherLink® Data (These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.)

Daily Rainfall	Total during archive interval
Total Rainfall	Total during archive interval
Rate of Rainfall	Maximum value during archive interval (GroWeatherLink, Energy WeatherLink, and Health WeatherLink)

#### Input/Output Connections

Black	Switch terminal
White	Switch terminal
Bare	Shield ground

**DAVIS** | Davis Instruments | 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778  
(510) 732-9229 • FAX (510) 732-9188 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com

DS7856-00 (Rev. B. 7/14/99)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์  
ปรีชานันท์ ศรีแก้วและอาจารย์วสุ อุคมเพทายกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงอาจารย์วิชิต ศิริโชติ  
และอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้แนวความคิด พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจน  
จนการแก้ปัญหาต่าง ๆ และการช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ อีกอย่างดียิ่ง อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำ  
ปริญาานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา ขอกราบขอบพระคุณกรรมการควบคุมการสอบปริญาานิพนธ์ทุกท่าน ที่  
ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณจิตราพร กังสวัสดิ์ คุณพัชรา เอ็มอำไพวงศ์ และคุณน้อย  
ประทีป ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านธุรการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์  
ต่าง ๆ

อีกทั้งคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้เกี่ยวข้องในการทำปริญาานิพนธ์ฉบับนี้  
ไม่ว่าจะเป็นทั้งที่ปรึกษา และช่วยเหลือ รวมถึงเป็นกำลังใจให้แก่กลุ่มของผู้จัดทำจนทำให้  
ปริญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจ ในการทำ  
ปริญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบ  
ขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

วันที่ 4 เมษายน 2546

คณะผู้จัดทำ

นายบุญถึง

บุญแทน

นายปิยะพงษ์

เจริญคุปต์

นางสาวปิยะวรรณ

หาทรัพย์

## บรรณานุกรม

สุวพันธ์ นิลายน, อุตุนิยมวิทยา, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543

ดวงพร นพคุณ, ภูมิอากาศวิทยา, พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2536

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, การทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์ 1,

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2,

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, กฤษดา ใจเย็น, เรียนรู้การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต

อนุกรม, บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์

MCS-51 ฉบับ AT89C5X ของ Atmel, บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

วิชิต ศิริโชค, Build Your Own Microcontroller Project, สืบค้นจาก

<http://www.kmitl.ac.th/~kswichit/> เมื่อ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2545

