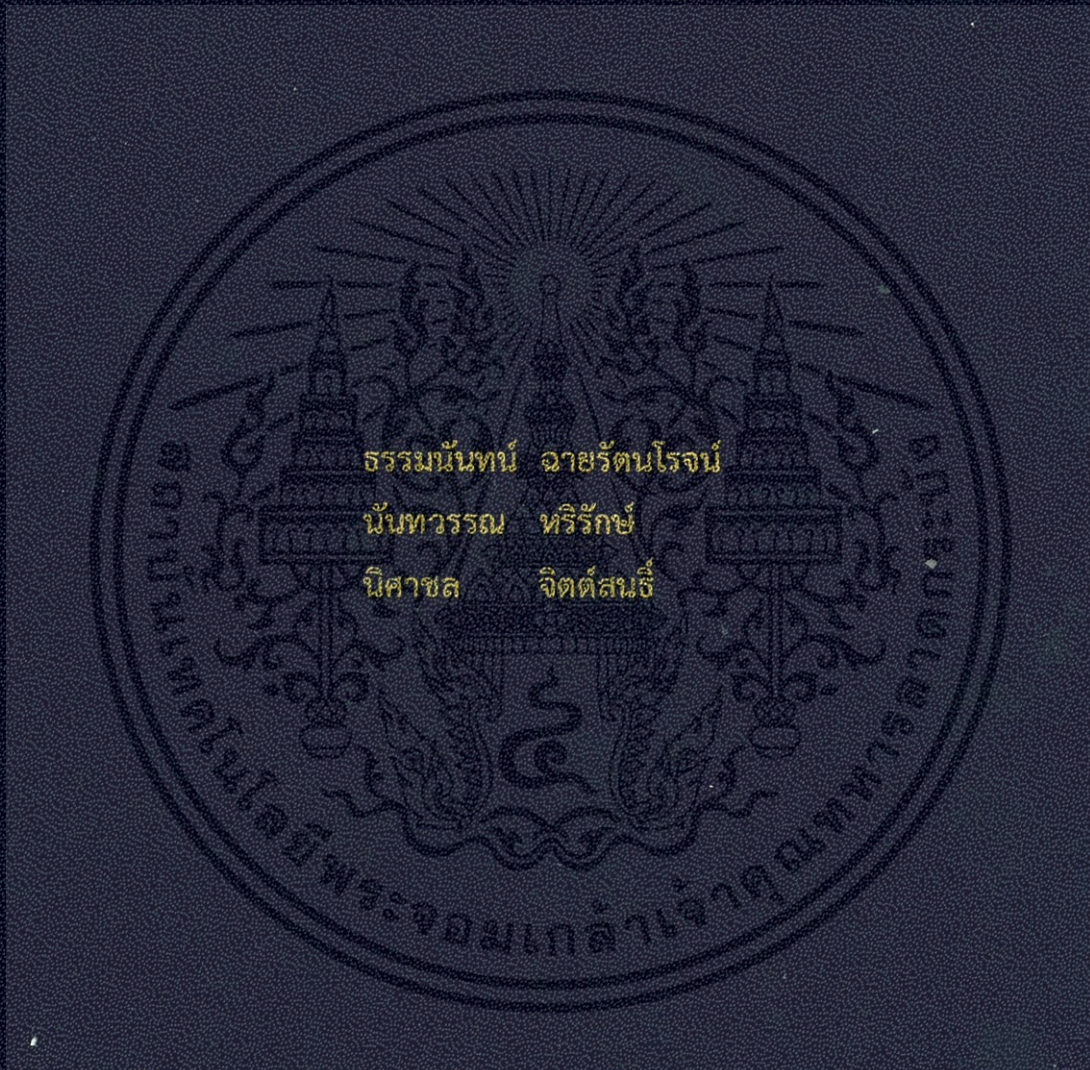


ระบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน  
และเครื่องทำความเย็น  
EFFICIENTCY EVALUATION SYSTEM FOR SPLIT-TYPE  
AIR CONDITIONER AND REFRIGERATOR



ธรรมนันท์ ฉายรัตน์โรจน์  
นันทวรรณ ทวีรักษ์  
นิศาชล จิตต์สนธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ระบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน  
และเครื่องทำความเย็น  
EFFICIENTCY EVALUATION SYSTEM FOR SPLIT-TYPE  
AIR CONDITIONER AND REFRIGERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFICIENTCY EVALUATION SYSTEM FOR SPLIT-TYPE  
AIR CONDITIONER AND REFRIGERATOR



THE THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ระบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน  
และเครื่องทำความเย็น

EFFICIENCY EVALUATION SYSTEM FOR SPLIT-TYPE  
AIR CONDITIONER AND REFRIGERATOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธรรมนันท์ ฉายรัตน์โรจน์ รหัสนักศึกษา 53010708  
นางสาวนันทวรรณ หิริรักษ์ รหัสนักศึกษา 53010838  
นางสาวนิศาชล จิตต์สนธิ รหัสนักศึกษา 53010866

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเครื่องทำความเย็น

EFFICIENTCY EVALUATION SYSTEM FOR SPLIT-TYPE AIR CONDITIONER AND REFRIGERATOR

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธรรมนันท์ ฉายรัตน์โรจน์	รหัสนักศึกษา	53010708
	นางสาวนันทวรรณ หิริรักษ์	รหัสนักศึกษา	53010838
	นางสาวนิศาชล จิตต์สนธิ์	รหัสนักศึกษา	53010866
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนาถ	(อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร)	
ปีการศึกษา	2556		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอระบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น ระบบประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์หลายชนิด ได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดความเร็วลม และเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า เพื่อแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ ส่งให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่าความสามารถในการทำความเย็น (Q) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP) และระดับหมายเลขฉลากประหยัดพลังงานตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1155-2536 ระบบที่ออกแบบนี้พัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW ของ National Instrument สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้องและสะดวกในการใช้งาน เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น เพื่อจุดประสงค์ในด้านการประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

Thesis Title   EFFICIENT CALCULATION PROGRAM FOR SPLIT-TYPE AIR  
                  CONDITIONER AND REFRIGERATOR

Authors       Mr. Tammanun                   Chayruttanaroj

                  Ms. Nanthawan                 Harirak

                  Ms. Nisachon                 Jitson

Advisor       Assoc. Prof. Dr. Taweepol    Suesut

Co-Advisor   Asst. Prof. Dr. Navaphattra   Nunak

Year          2013

### ABSTRACT

This project presents the efficiency evaluation system for split-type air conditioner and refrigerator. This system consists of Arduino microcontroller which receives data from a several sensor such as temperature sensor, humidity sensor, wind sensor and power meter in order to convert the electrical signal into the physical quantity and sends to the personal computer. The developed computer program is used LabVIEW from National Instrument for calculation the cooling capacity (Q), the energy efficiency ratio (EER), the coefficient of performance (COP) and the level of energy saving corresponding to TIS. 1155-2536. Our measurement system can calculate the efficiency accurately and conveniently. It is suitable for applying to analyze the efficiency of the split-type air conditioner and refrigerator for the energy saving purpose as well.

## กิตติกรรมประกาศ

งานปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ชี้อสัตย์ และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนาค อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้คำชี้แนะเกี่ยวกับการดำเนินงาน คำปรึกษาต่างๆ ที่ให้ความความรู้และประสบการณ์

ขอขอบคุณ ผศ.เชื้อ นกอยู่ และ รศ.วิริยะ กองรัตน์ กรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ห้องสมุดกลาง ห้องสมุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูล และให้ความอนุเคราะห์ที่ใช้สถานที่ อุปกรณ์ทดลอง และเครื่องมือวัดในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทและเอกในห้องปฏิบัติการ Factory Automation ทุกคน ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณงามความดีและประโยชน์อันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง รวมทั้งเป็นผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษา และให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ และคณะอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 ส่วนประกอบของอากาศแห้งและความชื้นอากาศ.....	4
2.2 เทอร์โมไดนามิกของน้ำอิมตัว (Thermodynamic Properties of Moist Air).....	5
2.3 ตัวแปรความชื้น (Humidity parameters).....	6
2.4 ตัวแปรความชื้นที่นำไปสู่การอิมตัว.....	7
2.5 ความสัมพันธ์ของก๊าซสมบูรณ์สำหรับอากาศแห้งและอากาศชื้น.....	7
2.6 วัฏจักรทำความเย็น.....	12
2.6.1 ขบวนการขยายตัว (Expansion process).....	12
2.6.2 ขบวนการกลายเป็นไอ (Vaporizing process).....	13
2.6.3 ขบวนการของการอัดตัว (Compression process).....	13
2.6.4 ขบวนการควบแน่น (Condensing process).....	13
2.7 ความสามารถทำความเย็น (Q).....	13
2.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (Coefficient of performance).....	14

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน.....	14
2.10 ตัวอย่างประยุกต์ใช้ทฤษฎี.....	15
2.11 สรุปสมการที่ใช้หาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....	21
2.12 มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็น.....	22
2.12.1 มาตรฐานอุตสาหกรรมของเครื่องปรับอากาศ (มอก. 1155-2536).....	23
2.12.2 มาตรฐานอุตสาหกรรมของตู้เย็น (มอก.2186-2547).....	25
2.13 ฉลากเบอร์5.....	26
2.14 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน.....	28
2.17 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์.....	29
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย DHT22.....</b>	<b>30</b>
3.1 DHT22 High Accuracy Digital Temperature and Humidity Sensor.....	30
3.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของ SENSOR DHT22.....	31
3.1.2 การต่อใช้งานของ DHT22.....	31
3.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ SENSOR DHT22.....	32
3.2.1 วิธีการส่งข้อมูลของ DHT22.....	32
3.2.2 โปรโตคอลที่ใช้สื่อสาร.....	32
3.2.3 Library ของ DHT22.....	33
3.2.4 วิธีการติดตั้ง Library.....	35
3.3 การติดตั้งตัว SENSOR DHT22 กับ ARDUINO UNO BOARD.....	36
3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	38
3.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	38
3.4.2 Arduino.....	38
3.4.3 การใช้งาน Arduino.....	40
3.4.4 การจัดการขาของ Arduino.....	41
3.5 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล.....	43
3.5.1 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรม.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ.....	44
เซนเซอร์ DHT22 เทียบกับ FLUKE Temperature Humidity Meter	
<b>บทที่ 4 อุปกรณ์ตรวจสอบความเร็วลมด้วย Wind Sensor.....</b>	<b>48</b>
4.1 Wind Sensor.....	48
4.2 หลักการทำงานของ Wind Sensor.....	49
4.2.1 Specification.....	49
4.2.2 การต่อใช้งานของ Wind Sensor.....	50
4.3 วิธีการทดสอบหาค่าความเร็วลม.....	51
4.4 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล.....	53
4.4.1 โปรแกรม Arduino.....	53
4.4.2 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรม.....	54
4.5 การทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเร็วของ Wind Sensor.....	55
เทียบกับเครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A	
<b>บทที่ 5 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า .....</b>	<b>58</b>
5.1 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์ .....	58
5.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดที่ได้ค่าแบบ RMS กับ True RMS.....	58
5.2.1 ปัญหาที่พบเจออยู่บ่อยครั้ง.....	58
5.2.2 ค่า RMS.....	59
5.2.3 ความสำคัญของการวัดค่าได้แบบ True RMS.....	60
5.2.4 สรุป.....	61
5.3 รายละเอียดของ KWH METER FOR APARTMENT.....	61
5.3.1 ตัวอย่างการใช้งาน.....	63
5.4 FLOW CHART การทำงานของ KWH METER.....	64
5.5 การทดสอบความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้าของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์.....	65
เมื่อเปรียบเทียบกับ FLUKE CLAMP	

## สารบัญ (ต่อ)

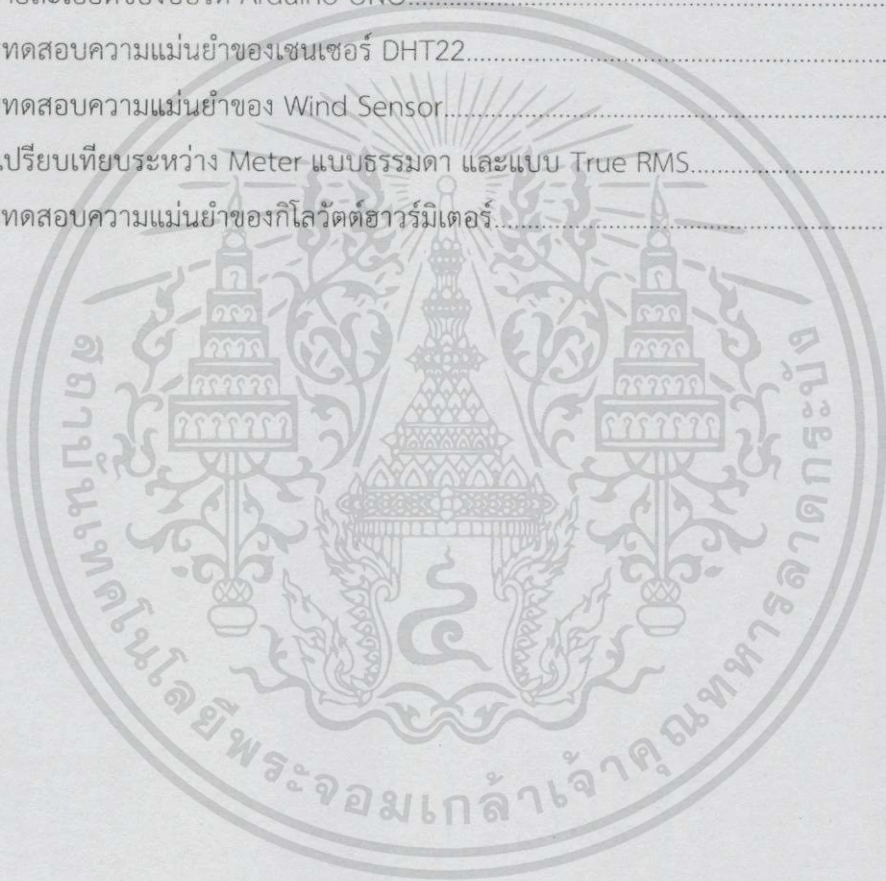
	หน้า
บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมการคำนวณ.....	68
6.1 ขอบเขตของการออกแบบโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....	68
แบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น	
6.2 ฟังก์ชันเครื่องมือต่างๆที่ใช้งาน.....	69
6.2.1 ฟังก์ชันการคำนวณค่าต่างๆที่ต้องการและฟังก์ชันการเปรียบเทียบ.....	69
ระดับ (เบอร์) ตามมาตรฐาน มอก.1155-2536	
6.2.2 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าประสิทธิภาพ....	70
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	
บทที่ 7 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือวัดและการคำนวณค่าโดยโปรแกรมวัดประสิทธิภาพ.....	72
7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....	72
7.1.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22.....	72
7.1.2 เซนเซอร์วัดความเร็วลม โดยใช้ Wind Sensor.....	73
7.1.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (WATT METER).....	74
7.1.4 ตลับเมตร.....	74
7.2 วิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....	75
7.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....	75
7.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....	75
7.2.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....	78
7.3 วิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น.....	80
7.3.1 ขั้นตอนในการเตรียมการวัดประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น.....	80
7.3.2 ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น.....	80
บทที่ 8 ผลการทดลอง.....	84
8.1 ข้อมูลที่ต้องการบันทึก.....	84
8.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆของเครื่องปรับอากาศ.....	85
แบบแยกส่วน	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)...	91
บทที่ 9 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	97
9.1 ข้อเสนอแนะ.....	98
บรรณานุกรม.....	99
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณจากส่วน Block Diagram.....	102
ของโปรแกรม LabVIEW	
ภาคผนวก ข วงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ DHT22.....	108
จำนวน 2 ตัว และ WIND SENSOR จำนวน 1 ตัว	

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลมาตรฐานของชั้นบรรยากาศแอสโมสเฟียร์ (Atmosphere) ที่ระดับความสูงต่างๆ.....	5
2.2 ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....	15
2.3 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานตู้เย็นปี 2011.....	28
3.1 แสดงรายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO.....	42
3.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ DHT22.....	45
4.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของ Wind Sensor.....	56
5.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง Meter แบบธรรมดา และแบบ True RMS.....	61
5.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของกิโวลต์ดีฮาร์มิเตอร์.....	66



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบนแผนภาพมอลเลียร์.....	12
2.2 การวัดพื้นที่หน้าากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ.....	23
2.3 การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ.....	23
2.4 การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมกลับของเครื่องปรับอากาศ.....	24
2.5 การวัดความเร็วลมด้านช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ.....	24
2.6 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็น.....	26
2.7 ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพ.....	27
3.1 Sensor DHT22.....	30
3.2 Dimension ของ DHT22.....	31
3.3 การต่อสัญญาณของ DHT22 กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
3.4 แสดงการส่งสัญญาณข้อมูล.....	33
3.5 แสดงหน้าต่างการเลือก Library ของโปรแกรม Arduino.....	35
3.6 แสดงการต่อวงจรระหว่าง SENSOR DHT22 กับ ARDUINO UNO BOARD.....	36
3.7 แสดงการต่อวงจรที่ใช้ทดลองจริง.....	37
3.8 หน้าต่าง Serial Monitor ที่แสดงค่าที่วัดได้.....	37
3.9 บล็อกไดอะแกรมของบอร์ด Arduino UNO.....	39
3.10 ด้านหน้าและด้านหลังของบอร์ด Arduino UNO.....	40
3.11 แสดงขาต่างๆ ของบอร์ด Arduino UNO.....	41
3.12 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ DHT22.....	43
3.13 การทดสอบความแม่นยำของ DHT22.....	44
3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ (°C) กับ เวลาที่ผ่านมา (วินาที).....	46
เปรียบเทียบค่าระหว่างตัวเซนเซอร์ DHT22 เทียบกับ FLUKE Temperature Humidity Meter	
3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นกระเปาะแห้ง RH (%) กับ.....	46
เวลาที่ผ่านมา (วินาที) เปรียบเทียบค่าระหว่างตัวเซนเซอร์ DHT22 กับ FLUKE Temperature Humidity Meter	
4.1 Wind Sensor.....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงส่วนตรวจจับกระแสลมตามหลักการ Hot Wire ของ Wind Sensor.....	49
4.3 Wind Sensor PINS.....	50
4.4 การต่อสัญญาณของ Wind Sensor กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
4.5 การทดลองหาค่าความเร็วลม (1).....	51
4.6 การทดลองหาค่าความเร็วลม (2).....	51
4.7 การทดลองหาค่าความเร็วลม (3).....	52
4.8 การทดลองหาค่าความเร็วลม (4).....	52
4.9 หน้าต่างโปรแกรม Arduino ของตัว Wind Sensor.....	53
4.10 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ Wind Sensor.....	54
4.11 การทดลองความแม่นยำของ Wind Sensor.....	55
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลม (m/s) กับ เวลาที่ผ่านมา (วินาที).....	57
เปรียบเทียบค่าระหว่าง Wind Sensor กับเครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A	
5.1 สัญญาณแบบคลื่น Sine แท้.....	59
5.2 สัญญาณที่เกิดจากเพาเวอร์ซัพพลายคอมพิวเตอร์ (ไม่ใช่ Pure Sine).....	60
5.3 วัดดีมีเตอร์.....	62
5.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ KWH METER.....	64
5.5 การทดสอบความแม่นยำของวัดดีมีเตอร์.....	65
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) กับ เวลาที่ผ่านมา (วินาที).....	67
เปรียบเทียบค่าระหว่าง WATT METER กับ FLUKE CLAMP	
6.1 หน้าต่างส่วน Front Panel และส่วน Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW.....	69
6.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนเทียบผลจากเครื่องปรับอากาศ.....	70
6.3 หน้าต่างส่วนแสดงผล.....	71
7.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22.....	72
7.2 เซนเซอร์วัดความเร็วลม Wind Sensor.....	73
7.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (WATT METER).....	74
7.4 ตลับเมตร.....	74

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.5 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว ที่ด้านหน้าช่องลมจ่าย (Cooled air's vent).....75 และด้านช่องลมกลับ (Room air's vent)	
7.6 แสดงการติดตั้งโดยรวมที่ตัวเครื่องปรับอากาศ..... 76	
7.7 แสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อสายระหว่างเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว..... 76 จากเครื่องปรับอากาศไปคอมพิวเตอร์	
7.8 แสดงวิธีการจิ้มสายไฟจากคอมเพรสเซอร์ เพื่อสอดเข้า Current Transformer..... 77	
7.9 หน้าต่าง Front Panel ของโปรแกรม..... 78	
7.10 ใบรายงานการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน..... 79	
7.11 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น "DHT22" และเซนเซอร์วัดความเร็วลม..... 80 "WIND SENSOR" ที่ด้านหน้าช่องลมจ่าย (Cooled air's vent)	
7.12 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น "DHT22"..... 81 ที่ด้านช่องลมกลับ (Room air's vent)	
7.13 การติดตั้งกล่องคอนโทรลเลอร์โดยใช้แม่เหล็ก..... 81	
7.14 แสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อสายระหว่างเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว จากตู้เย็นไปคอมพิวเตอร์..... 82	
7.15 ใบรายงานการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น..... 83	
8.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ (°C) ที่ช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ..... 85 แบบแยกส่วน	
8.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ (°C) ที่ช่องลมกลับของเครื่องปรับอากาศ..... 85 แบบแยกส่วน	
8.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมจ่ายของ..... 86 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	
8.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมกลับของ..... 86 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	
8.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม (m/s) ที่ช่องลมจ่ายของ..... 87 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	
8.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า (W) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน..... 87	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น (Btu/hr.W)..... ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	88
8.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น..... ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	88
8.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/hr.W)..... ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	89
8.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Units) ..... ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	90
8.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน...	90
8.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ (°C) ที่ช่องลมจ่ายของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น).....	91
8.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ (°C) ที่ช่องลมกลับของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น).....	91
8.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมจ่ายของ..... เครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	92
8.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมกลับของ..... เครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	92
8.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม (m/s) ที่ช่องลมจ่ายของ..... เครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	93
8.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า (W) ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น).....	93
8.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น (Btu/hr.W)..... ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	94
8.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น..... ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	94
8.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Units)..... ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)	95
8.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท) ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น).....	95
ก.1 โปรแกรมส่วนคำนวณทั้งหมดที่พัฒนาโดยโปรแกรม LabVIEW.....	103
ก.2 ส่วนของ Block Diagram(1).....	104

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 ส่วนของ Block Diagram(2).....	105
ก.4 ส่วนของ Block Diagram(3).....	106
ก.5 ส่วนของ Block Diagram(4).....	107
ข.1 วงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ DHT22 และ WIND SENSOR.....	108



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และตู้แช่ จัดเป็นระบบทำความเย็นแบบมอเตอร์เฟสเดียว เป็นกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 60-70 ของการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด (กระทรวงพลังงาน, 2548) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในรูปของพลังงานแปรรูป (Modern Energy) กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่และนับวันยิ่งลดน้อยลง (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2554) ประเทศไทยรวมถึงประเทศต่างๆทั่วโลกจึงเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้รายงานข้อมูลว่าพลังงานสำรองของโลก ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินจะสามารถใช้ได้อีก 40 62 และ 220 ปี ตามลำดับ ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มประสบภาวะขาดแคลนพลังงาน พลังงานที่ผลิตได้ในแต่ละปีไม่เพียงพอกับความต้องการส่งผลให้มีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้น รัฐบาลจึงมีนโยบายให้ช่วยกันอนุรักษ์พลังงาน โดยเริ่มจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมากและใช้ในชีวิตประจำวัน

อย่างไรก็ตาม ไม่เพียงแต่ประเทศไทยเท่านั้นที่ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงาน เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น ประเทศอื่นอีกหลายประเทศทั่วโลกก็ให้ความสนใจกับเรื่องนี้ด้วยเช่นกัน โดยประเทศจีนให้ความสำคัญต่อการศึกษาด้านการประหยัดพลังงานตู้เย็นที่ใช้ในครัวเรือน โดยกำหนดมาตรฐานด้านสมรรถนะของตู้เย็น (GB12021.2-2003) ขึ้นซึ่ง Lu et al. (2006) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำนายผลการประหยัดพลังงานและผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคตจากการใช้มาตรฐานดังกล่าว ซึ่งผลการทำนายแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการประหยัดพลังงานอย่างมาก รวมถึงมีผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมที่ลดลง นอกจากนี้ที่ประเทศเม็กซิโก คณะนักวิจัย Arroyo-Cabanas et al. (2009) ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการทดแทนตู้เย็นเก่าที่มีสมรรถนะต่ำด้วยตู้เย็นใหม่ที่มีสมรรถนะสูงกว่า โดยพบว่า การทดแทนตู้เย็นเก่าด้วยตู้เย็นใหม่สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 4.7 ตันวัตต์ชั่วโมงต่อปี ซึ่งคิดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ จากการบริโภคทั้งหมด 14.1 ตันวัตต์ชั่วโมงต่อปี

สำหรับประเทศไทยปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม มอบหมายให้สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็น ถ้าผู้ผลิตต้องการขอการรับรองมาตรฐาน มอก. 1155-2536 และ มอก. 2186-2547 ต้องติดต่อขอการรับรองมาตรฐานจากสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และออกฉลากมาตรฐานเป็นระดับเบอร์ที่แสดงระดับประสิทธิภาพ การทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐานมอก.

ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนคำนวณจากค่า EER (Energy efficiency ratio) โดยมีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 และออกฉลากเป็นระดับเบอร์ที่แสดงระดับประสิทธิภาพ ซึ่ง EER มีหน่วยเป็น  $\frac{Btu/hr}{watt}$  ในระบบอังกฤษ หรือมีหน่วยเป็น  $\frac{watt}{watt}$  ในระบบ SI โดยยิ่งค่า EER ยิ่งสูงยิ่งประหยัดพลังงาน และการทดสอบเพื่อรองรับมาตรฐานของตู้เย็นคำนวณจากปริมาตรเปรียบเทียบ (AV)

การสูญเสียพลังงานในระบบทำความเย็นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยปัจจัยที่สำคัญคือประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ซึ่งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 9000-12000 บีทียู ที่ได้รับมาตรฐานประหยัดไฟเบอร์ 5 จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 680 วัตต์ต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นรายจ่ายประมาณ 1.88-3.13 บาทต่อชั่วโมง ส่วนตู้เย็นขนาด 2-12 คิว จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 54-165 วัตต์ต่อชั่วโมงหรือคิดเป็นรายจ่ายประมาณ 0.18-0.45 บาทต่อชั่วโมง โดยเมื่อใช้เครื่องทำความเย็นไประยะเวลาหนึ่งแล้วประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นจะลดลงตามอายุการใช้งาน เนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิเช่น การใช้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การดูแลรักษาและการใช้งานที่ไม่ถูกวิธี ส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนัก การใช้ไฟฟ้าจึงมากขึ้น ผู้ใช้จึงควรศึกษาวิธีการใช้และการดูแลรักษาอย่างถูกต้อง รวมไปถึงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นอยู่เสมอ ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้วยเช่นกัน

การหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นมีหลายวิธี เช่น วิธีใช้แผนภาพมอลเลียร์ (P-h Diagram) วิธีเปิดตารางคำนวณ และวิธีใช้สูตรคำนวณ เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องใช้ความชำนาญ มีความยุ่งยาก ต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในการคำนวณค่อนข้างมาก และเสียเวลาในการวัดมาก เนื่องจากต้องนำค่าตัวแปรที่ได้จากการวัดมาคำนวณด้วยสมการ หรือเปิดตาราง หรือพล็อตกราฟเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ การวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ยังอาจได้ผลที่คลาดเคลื่อนจากช่วงเวลาที่ทำการวัดไม่ถูกต้อง เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของภาระทำความเย็น หรือ เป็นช่วงหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงนำเสนอเครื่องมือวัดประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบมอเตอร์เฟสเดียว ที่สามารถบันทึกค่าได้เป็นช่วงเวลา ใช้งานง่าย มีความน่าเชื่อถือ โดยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัด อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ จากช่องลมกลับและช่องลมจ่ายของแฟนคอยล์ (Evaporator) และความเร็วลมจากช่องลมจ่ายของแฟนคอยล์ (Evaporator) เพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP (Coefficient of performance) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER (Energy efficiency ratio) และระดับหมายเลขฉลากประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ แสดงผลของประสิทธิภาพที่คำนวณได้ในรูปของตัวเลข ผู้ใช้สามารถประเมินผลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและทดสอบเครื่องมือวัดประสิทธิภาพระบบทำความเย็นชนิดมอเตอร์เฟสเดียว
2. พัฒนาโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพระบบทำความเย็นชนิดมอเตอร์เฟสเดียว

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เรียนรู้การประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดและโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพระบบทำความเย็นแบบมอเตอร์เฟสเดียวชนิดพหุเซนเซอร์ (Multi-sensor) ที่ใช้งานง่าย แสดงผลของประสิทธิภาพที่คำนวณได้ในรูปของตัวเลข ผู้ใช้สามารถประเมินผลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

ออกแบบและทดสอบเครื่องมือวัดประสิทธิภาพระบบทำความเย็นชนิดมอเตอร์เฟสเดียว ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ตู้เย็น ภายใต้สภาพการใช้งานจริงโดยชุดวัดประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเร็วลม เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และพัฒนาโปรแกรม LabVIEW สำหรับคำนวณประสิทธิภาพระบบทำความเย็นชนิดมอเตอร์เฟสเดียวโดยอ้างอิงวิธีการวัดและการคำนวณตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.)

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 ส่วนประกอบของอากาศแห้งและความชื้นอากาศ (Composition of Dry and Moist Air)

ในชั้นบรรยากาศประกอบด้วยส่วนประกอบของก๊าซมากมาย ไอ้ น้ำ และสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น คาร์บอนและฝุ่น ซึ่งสิ่งเจือปนมีปริมาณน้อยกว่าอากาศมากจึงไม่พิจารณาสิ่งเจือปนต่างๆ ในสมการอากาศแห้งเมื่อตั้งไอ้ น้ำ และสิ่งเจือปนออกไปหมดจะมีส่วนประกอบหลัก โดย Harrison[1] ได้บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบโดยประมาณของอากาศแห้งเป็นปริมาตร เช่น Nitrogen 78.084%, Oxygen 20.9476%, Argon 0.934%, Carbon dioxide 0.0314%, Neon 0.001818%, Helium 0.000524%, Methane 0.00015%, Sulfur dioxide 0 ถึง 0.0001%, Hydrogen 0 ถึง 0.0005%

ความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุล (Relative Molecular Mass) ของส่วนประกอบทั้งหมดของอากาศแห้งขนาด 28.9645 อ้างอิงกับ Carbon 12 scale [1] ดังนั้นค่าคงที่ของก๊าซสำหรับอากาศแห้งเมื่ออ้างอิงกับ Carbon 12 scale คือ

$$R_a = \frac{8314.41}{28.9645} = 287.055 \quad \text{J/(kg}\times\text{K)} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $R_a$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซสำหรับอากาศแห้ง

ความชื้นอากาศมี 2 องค์ประกอบคือ อากาศแห้ง (Dry air) และไอ้ น้ำ (Water vapor) ไอ้ น้ำ ในความชื้นอากาศเริ่มจากศูนย์ (Dry air) ถึงค่าสูงสุดเป็นจุดสูงสุดทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ จุดสูงสุดของความชื้นอากาศเรียกว่าจุดอิ่มตัว จุดอิ่มตัวอ้างอิงที่สภาวะสมดุลระหว่างสถานะความชื้นอากาศกับสถานะการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ กรณีอื่นอ้างอิงที่พื้นผิวรอยต่อของสถานะความชื้นอากาศกับสถานะการกลั่นตัวความสัมพันธ์ของมวลโมเลกุลของน้ำ (Relative molecular of water) ขนาด 18.01528 อ้างอิงกับ Carbon 12 scale ดังนั้นค่าคงที่ของก๊าซสำหรับไอ้ น้ำคือ

$$R_w = \frac{8314.41}{18.01528} = 461.52 \quad \text{J/(kg}\times\text{K)} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $R_w$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซสำหรับไอ้ น้ำ

อุณหภูมิและความดันบาโรเมตริกของอากาศในชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลงตามความสูงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์และสรีรอากาศ ในชั้นบรรยากาศมาตรฐานจะอ้างอิงค่าอุณหภูมิและความดันตามระดับความสูงที่เปลี่ยนแปลง ที่ระดับน้ำทะเล อุณหภูมิมาตรฐาน 15°C ที่ความดันบาโรเมตริกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน 101.325 kPa อุณหภูมิจะลดลงแบบเชิงเส้นขณะเพิ่มระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลจน ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) (ชั้นบรรยากาศต่ำที่สุด) และจะเป็นค่าคงที่ ณ ขอบเขตรอยต่อโทรโปพอส (Tropopause) ก่อนถึงชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) ใน ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ประกอบด้วยอากาศแห้งทางปฏิบัติเรียกว่าก๊าซผสมบอร์น มีแรงดึงดูดโลกเป็นค่าคงที่ขนาด  $9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$  [2] ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลมาตรฐานของชั้นบรรยากาศแอสโมสเฟียร์ (Atmosphere) ที่ระดับความสูงต่างๆ

Altitude (m)	Temperature (°C)	Pressure (kPa)
-500	18.2	107.478
0	15.0	101.325
500	11.8	95.461
1,000	8.5	89.874
2,000	2.0	79.495
3,000	-4.5	70.108
4,000	-11.0	61.640
5,000	-17.5	54.020
6,000	-24.0	47.181
7,000	-30.5	41.061
8,000	-37.0	35.600
9,000	-43.5	30.742
10,000	-50.0	26.436

Data adapted from NASA (1976)

## 2.2 เทอร์โมไดนามิกของน้ำอิมิตัว (Thermodynamic Properties of Moist Air)

ค่าเอนทัลปีและเอนโทรปีของน้ำอิมิตัวกำหนดให้มีค่าเป็น 0 ที่จุด Triple point ( $0.01^\circ\text{C}$  ที่ อุณหภูมิของน้ำระหว่างจุด Triple point กับจุด Critical point สถานะทั้งสอง (ของเหลวหรือไอน้ำ) จะปรากฏร่วมกันอย่างสมดุล เรียกสถานะทั้งสองนี้ว่าของเหลวอิมิตัวและไอน้ำอิมิตัว

ในการหาคุณสมบัติของค่าความชื้นอากาศ ทางปฏิบัติต้องการใช้ความดันไอน้ำอิมิตัวและ อัตราส่วนความชื้นอิมิตัว ค่าดังกล่าวหาได้จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำอิมิตัว (ภาคผนวก ข) หรือคำนวณจากสมการของ Hyland and Wexler (1983b) [3]

ความดันอิมิตัวของน้ำ (ของเหลว) สำหรับอุณหภูมิย่น 0 ถึง  $200^\circ\text{C}$  คือ

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 + T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times \ln(T) \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $C_1 = -5.800\ 220\ 6\ E + 03$

$$C_2 = -5.516\ 256\ 0\ E + 00$$

$$C_3 = -4.864\ 023\ 9\ E - 02$$

$$C_4 = 4.176\ 476\ 8\ E - 05$$

$$C_5 = -1.445\ 209\ 3\ E - 08$$

$$C_6 = 6.545\ 967\ 3$$

$\ln$  คือ ล็อกธรรมชาติ (natural logarithm)

$p_{ws}$  คือ ความดันอิ่มตัว, Pa

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์,  $T = t + 273.15$

Coefficients ของสมการ (2.3) คือ ( $C_1$  ถึง  $C_6$ ) วิเคราะห์ได้มาโดย Hyland and Wexler 1983b [8]

### 2.3 ตัวแปรความชื้น (Humidity parameters)

อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) คือความชื้นที่อยู่หรือผสมอยู่ กำหนดให้  $W$  แทนความชื้นอากาศที่สู่มมา เท่ากับ อัตราส่วนของมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง ที่บรรจุในตัวอย่างที่สู่มมา จะได้

$$W = \frac{M_w}{M_a} \quad (2.4)$$

อัตราส่วนความชื้น  $W$  เท่ากับอัตราส่วนโมล (Mole fraction ratio) คือ  $X_w/X_a$  คูณด้วยอัตราส่วนมวลโมเลกุล (Molecular masses) คือ  $18.01528/28.9645 = 0.62198$  จะได้

$$W = 0.62198 \frac{X_w}{X_a} \quad (2.5)$$

ความชื้นจำเพาะ  $q$  (Specific humidity) คือ อัตราส่วนของมวลของไอน้ำ ต่อมวลทั้งหมดของอากาศชื้นที่สู่มมา จะได้

$$q = \frac{M_w}{(M_w + M_a)} \quad (2.6a)$$

เมื่อคูณด้วย  $\frac{(1/M_a)}{(1/M_a)}$  จะได้

$$q = \frac{M_w}{(M_w + M_a)} \times \frac{(1/M_a)}{(1/M_a)}$$

เมื่อ  $W = \frac{M_w}{M_a}$  จึงเขียนในเทอมของอัตราส่วนความชื้นได้ดังนี้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = \frac{W}{(1+W)} \quad (2.6b)$$

#### 2.4 ตัวแปรความชื้นที่นำไปสู่การอิ่มตัว (Humidity parameter involving saturation)

จากนิยามของตัวแปรความชื้นที่นำไปสู่แนวความคิดของอากาศชื้นอิ่มตัวจะได้ อัตราส่วนความชื้นอิ่มตัว  $M_s(t,p)$  เป็นอัตราส่วนความชื้นของอากาศชื้นอิ่มตัวซึ่งพร้อมจะเป็นหยดน้ำ(หรือลูกเห็บ) ที่อุณหภูมิ  $t$  และความดัน  $p$  เดียวกัน ดังนั้น

ระดับขั้นการอิ่มตัว (Degree of saturation:  $\mu$ ) คือ อัตราส่วนของ อัตราส่วนอากาศชื้น  $W$  ต่ออัตราส่วนอากาศชื้นที่อิ่มตัว  $W_s$  ที่อุณหภูมิ  $t$  และความดัน  $p$  เดียวกัน

$$\mu = \frac{W}{W_s} \quad (2.7)$$

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)  $\phi$  คืออัตราส่วนโมล (Mole fraction) ของไอน้ำ  $X_w$  ในอากาศที่สู่มมาต่อโมล (Mole fraction) ของไอน้ำอิ่มตัว ( $X_{ws}$ ) ในอากาศที่สู่มมา ที่อุณหภูมิ  $t$  และความดัน  $p$  เดียวกัน

$$\phi = \frac{X_w}{X_{ws}} \quad (2.8)$$

#### 2.5 ความสัมพันธ์ของก๊าซสมบูรณ์สำหรับอากาศแห้งและอากาศชื้น (Perfect Gas Relationships for Dry and Moist Air)

เมื่อพิจารณาอากาศชื้นจากส่วนประกอบของก๊าซสมบูรณ์คืออากาศแห้งและไอน้ำ แต่ละส่วนประกอบมีสมมุติฐานตามสมการก๊าซสมบูรณ์ดังนี้

$$\text{Dry air} \quad p_a \times V = n_a RT \quad (2.9)$$

$$\text{Water vapor} \quad p_w \times V = n_w RT \quad (2.10)$$

เมื่อ  $p_a$  คือ ความดันบางส่วนของอากาศแห้ง (Partial pressure of dry air), Pa

$p_w$  คือ ความดันบางส่วนของไอน้ำในอากาศ (Partial pressure of water vapor), Pa

$V$  คือ ปริมาตรรวมของส่วนประกอบทั้งหมด,  $m^3$

$n_a$  คือ จำนวนของโมลของอากาศแห้ง

$n_w$  คือ จำนวนของโมลของไอน้ำ

$R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซ, 8314.41 J/(kg mol K)

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมสมการ (2.9) และ (2.10) เป็นสมการก๊าซสมบูรณ์

$$pV = nRT \quad (2.11)$$

หรือ  $(p_a + p_w) \times V = (n_a + n_w) \times RT \quad (2.12)$

เมื่อ  $p = p_a + p_w$  คือ ความดันของส่วนประกอบทั้งหมด  
 $n = n_a + n_w$  คือ จำนวนทั้งหมดของโมลของส่วนประกอบ

จากสมการ (2.9) ถึง (2.12) Mole fractions ของอากาศแห้งและไอน้ำกำหนดไว้ดังนี้

Dry air  $X_a = \frac{p_a}{p_a + p_w} = \frac{p_a}{p} \quad (2.13)$

Water vapor  $X_w = \frac{p_w}{p_a + p_w} = \frac{p_w}{p} \quad (2.14)$

จากสมการ (2.5), (2.13) และ (2.14) จะได้อัตราส่วนความชื้น  $W$  ที่สมการ (2.15)

สมการ (2.5)  $W = 0.62198 \frac{X_w}{X_a}$

นำสมการ (2.13), (2.14) แทนค่า  $W = 0.62198 \frac{(p_w/p)}{(p_a/p)}$

$$W = 0.62198 \frac{p_w(1/p)}{p_a(1/p)}$$

เมื่อ  $p = p_a + p_w$  จะได้  $W = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w} \quad (2.15)$

เมื่อระดับชื้นอิ่มตัว Degree of saturation ( $\mu$ ) คือ  $\mu = \frac{W}{W_s} = 1$  จากนิยามสมการที่ (2.7)

เมื่อ  $p_w$  เพิ่มขึ้นเท่ากับ  $p_{ws}$  จะได้

$$W_s = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w} \quad (2.16)$$

ในเทอมของ  $p_{ws}$  ความดันอิมิตัวของไอน้ำที่ไม่เกิดในอากาศ ณ. อุณหภูมิที่ให้ ( $t$ ) ความดัน  $p_{ws}$  เป็นเพียงฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้นและแตกต่างเพียงเล็กน้อยจากความดันไอน้ำของน้ำใน ความชื้นอากาศอิมิตัว

ความชื้นสัมพัทธ์  $\varphi$  จากนิยามในสมการ (2.8)

$$\varphi = \frac{X_w}{X_{ws}}$$

แทนค่าสมการ (2.14) ด้วย  $X_w$  และ  $X_{ws}$  คือ

ดังนั้น

$$X_w = \frac{p_w}{p}$$

$$X_{ws} = \frac{p_{ws}}{p}$$

$$\varphi = \frac{p_w/p}{p_{ws}/p}$$

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{ws}}$$

เมื่อแปลงเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100\%$$

(2.17)

ปริมาตรจำเพาะ  $v$  ของส่วนประกอบความชื้นอากาศที่แสดงในเทอมหน่วยของมวลของอากาศแห้ง

$$v = \frac{V}{M_a} = \frac{V}{28.96n_a} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $V$  คือ ปริมาตรทั้งหมดของส่วนประกอบ,  $\text{m}^3$

$M_a$  คือ มวลทั้งหมดของอากาศแห้ง, kg

$n_a$  คือ จำนวนของโมลของอากาศแห้ง

จากสมการ (2.9) และ (2.18) ซึ่งสัมพันธ์กับ  $p = p_a + p_w$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.9)

$$p_a \times V = n_a RT$$

$$\frac{p_a \times V}{RT} = n_a$$

สมการ (2.18)

$$v = \frac{V}{28.96 n_a}$$

แทนค่า  $n_a$  ในสมการ (2.18)

$$v = \frac{V}{28.946 \frac{p_a \times V}{RT}}$$

$$v = \frac{RT}{28.96 p_a}$$

$$v = \frac{RT}{28.96(p - p_w)}$$

เมื่อ  $R = 8314.41$  universal gas constant, (J/(kg mol K))

$$R_a = 8314.41/28.9645 = 287.055, \text{ (J/(kg mol K))}$$

$$v = \frac{RT}{28.96(p - p_w)} = \frac{R_a T}{(p - p_w)} \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

(2.19)

ใช้สมการที่ (2.15)

$$W = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w}$$

$$W(p - p_w) = 0.62198 p_w$$

$$Wp = (0.62198 + W)p_w$$

$$\frac{Wp}{(0.62198 + W)} = p_w$$

นำ  $p_w$  แทนสมการ (2.19) จะได้

$$v = \frac{RT}{28.9645 \left( p - \frac{Wp}{(0.62198 + W)} \right)}$$

$$v = \frac{RT(0.62198 + W)}{28.9645((0.62198 + W)p - Wp)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{RT(0.62198 + W)}{28.9645(0.62198p)}$$

$$v = \frac{RT\left(1 + \frac{W}{0.62198}\right)0.62198}{28.9645(0.62198p)}$$

$$v = \frac{RT(1+1.6078W)}{28.9645p}$$

ดังนั้น 
$$v = \frac{RT(1+1.6078W)}{28.9645p} = \frac{R_a T(1+1.6078W)}{p} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $v$  คือ ปริมาตรจำเพาะ, เมื่อ  $v$  คือ ปริมาตรจำเพาะ,  $\text{m}^3/\text{kg}$

$R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซสมบูรณ์ 8314.41 Universal gas constant, (J/(kg mol K))

$R_a$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซสำหรับอากาศแห้ง  $8314.41/28.9645 = 287.055$ , (J/(kg mol K))

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

$p$  คือ ความดันรวม, 101.325 kPa

$W$  คือ อัตราส่วนความชื้น

เอนทัลปีของส่วนประกอบของก๊าซสมบูรณ์เท่ากับผลรวมของแต่ละส่วนของเอนทัลปีของส่วนประกอบนั้น ดังนั้นเอนทัลปีของความชื้นอากาศสามารถเขียนได้ดังนี้

$$h = h_a + Wh_g \quad (2.21)$$

เมื่อ  $h$  คือ เอนทัลปีของความชื้นอากาศ, kJ/kg

$h_a$  คือ เอนทัลปีจำเพาะสำหรับอากาศแห้ง, kJ/kg

$h_g$  คือ เอนทัลปีจำเพาะสำหรับไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิของส่วนประกอบ, kJ/kg

$W$  คือ อัตราส่วนความชื้น

ค่าโดยประมาณของ  $h_a$  และ  $h_g$  เป็นดังนี้

$$h_a = 1.006t \quad \text{kJ/kg} \quad (2.22)$$

$$h_g = 2501 + 1.805t \quad \text{kJ/kg} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $t$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งหน่วยองศา, °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเอนทัลปีของความชื้นอากาศจากสมการ (2.21) เมื่อนำ สมการ (2.22) และ (2.23) แทนค่าสมการ (2.21) จะได้

$$h = 1.006t + W(2501 + 1.805t) \quad \text{kJ/kg} \quad (2.24)$$

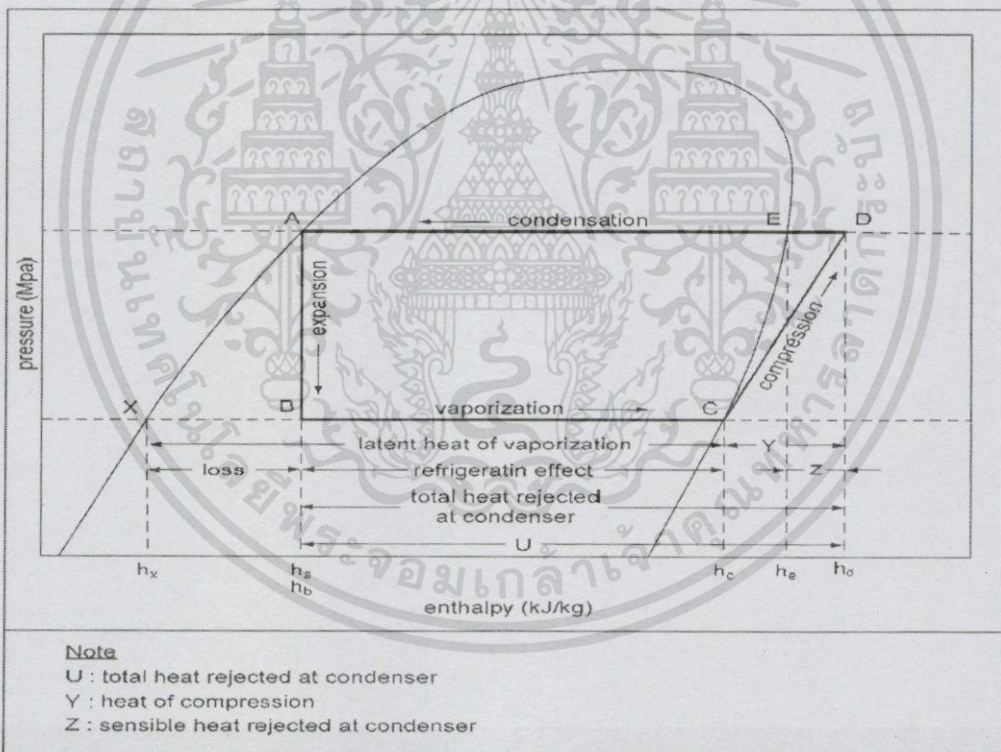
เมื่อ  $h$  คือ เอนทัลปีของความชื้นอากาศ, kJ/kg

$T$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, °C

$W$  คือ อัตราส่วนความชื้น

## 2.6 วัฏจักรทำความเย็น

วัฏจักรทำความเย็นสำหรับศึกษาระบบทำความเย็น กำหนดให้สารทำความเย็นที่ไหลผ่านอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็นอยู่ในสภาวะอิ่มตัวและอธิบายโดยแผนรูปมอลเลียร์รูปที่ 2-1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบนแผนรูปมอลเลียร์

2.6.1 ขบวนการขยายตัว (Expansion process) เกิดขึ้นจากการทำงานของลิ้นลดความดัน (ช่วง A-B) โดยเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัวจากคอนเดนเซอร์ไหลผ่านลิ้นลดความดันเกิดการขยายตัวแบบ Adiabatic expansion (ไม่มีการเพิ่มหรือลดความร้อนให้กับสารทำความเย็นและค่าเอนทัลปีคงที่) แต่ผลของการลดความดันจะทำให้สารทำความเย็นส่วนหนึ่งเปลี่ยนสภาวะเป็นไอโดยยังไม่เกิดความเย็นขึ้น (พิจารณารูปที่ 2-1) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ขบวนการกลายเป็นไอ (Vaporizing process) เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านคอลล์เย็น (ช่วง B-C) ซึ่งจะมีการดูดความร้อนเข้าระบบทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นไอตามขบวนการกลายเป็นไอ อุณหภูมิและความดันคงที่ (Isothermal and Isobaric process) สารทำความเย็นที่ออกจากคอลล์เย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำอิ่มตัว (พิจารณารูปที่ 2-1) [4]

2.6.3 ขบวนการของการอัดตัว (Compression process) เกิดจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ (ช่วง C-D) ซึ่งไอน้ำอิ่มตัวจากคอลล์เย็นจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น ตามขบวนการไอเซนทรอปิก (Constant entropy) หรือแอดิยาติกแบบไม่มีความเสียด (Frictionless adiabatic process) ผลจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะทำให้ความดันของสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้นและค่าเอนทัลปีเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณความร้อนที่เทียบเท่ากับพลังงานกลที่ทำการอัดไอ (พิจารณารูปที่ 2.1) [4]

2.6.4 ขบวนการควบแน่น (Condensing process) เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านคอนเดนเซอร์ โดยในช่วงแรกสารทำความเย็นจะระบายความร้อนออกเพื่อลดอุณหภูมิจากสถานะไอร้อนยิ่งยวดเปลี่ยนเป็นไอน้ำอิ่มตัวก่อน (ช่วง D-E) เป็นการลดความร้อนแฝง (Latent heat) ที่จุด E สารทำความเย็นเป็นไอน้ำอิ่มตัว คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ลดความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ใน (ช่วง E-A) จากนั้นสารทำความเย็นจะควบแน่นจนเป็นของเหลวอิ่มตัวที่จุด A (พิจารณารูปที่ 2.1) [4]

## 2.7 ความสามารถทำความเย็น (Q)

คือความเย็นที่ได้ที่คอลล์เย็นต่อชั่วโมง โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของพลังงานความร้อนของอากาศที่เปลี่ยนแปลง ระหว่างอากาศเย็นจากช่องลมจ่าย (ลมเย็นไหลออกจากระบบทำความเย็น) กับอากาศร้อนจากช่องลมกลับ (ลมร้อนไหลเข้าระบบทำความเย็น) ต่อชั่วโมง มีสมการดังนี้

$$Q = \frac{V}{v} (h_r - h_s) \quad (2.25)$$

เมื่อ ค่าคงที่ 3.968 Btu = 4.187 kJ [4]

แปลงหน่วยเป็น Btu/hr จะได้

$$Q = \frac{3.968V}{4.18v} (h_r - h_s) \quad (2.26)$$

เมื่อ Q คือ ความสามารถทำความเย็น, Btu/hr

V คือ ปริมาตรลมไหลผ่านแฟนคอลล์,  $m^3/hr$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$v$  คือ ปริมาตรจำเพาะสำหรับความชื้นอากาศ,  $m^3/kg$

$h_r$  คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศด้านช่องลมกลับ,  $kJ/kg$

$h_s$  คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศด้านช่องลมจ่าย,  $kJ/kg$

$3.968 \text{ Btu} = 4.187 \text{ kJ}$  เป็นค่าคงที่ใช่แปลงหน่วย  $kJ$  เป็น  $Btu$

## 2.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ $COP$ (Coefficient of performance)

คือค่าใช้แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความเย็นที่ได้ต่อกำลังงานที่ให้กับระบบ [4, 5, 6, 7]

$$COP = \frac{\text{ความเย็นที่ได้ที่คอยล์เย็น}}{\text{กำลังงานในรูปของความร้อนที่ให้อคอมเพรสเซอร์}} = \frac{\text{Refrigerating effect}}{\text{Compression work}}$$

จากแผ่นรูปมอลเลียร์ รูปที่ 2.1 จะได้

$$COP = \frac{h_c - h_b}{h_d - h_c} \quad (2.27)$$

ในขบวนการอัดตัว (Compression process) ค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณความร้อนที่เทียบเท่ากับพลังงานกลที่ทำการอัดไอ จะได้

$$COP = \frac{h_c - h_b}{3.41266 P_e} = \frac{Q}{3.41266 P_e}$$

$$COP = \frac{Q}{3.41266 P_e}$$

เมื่อ  $h_c - h_b$  คือ พลังงานความร้อนที่ถูกดึงเข้าระบบทำความเย็นหรือเป็นความเย็นที่ได้จากระบบทำความเย็น (Refrigerating effect),  $(kJ/kg)$

$P_e$  คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ,  $(W)$

$Q$  คือ ความสามารถทำความเย็น,  $Btu/hr$

ค่าคงที่  $3.41266 \text{ Btu} = 1 \text{ Watt}^{[5]}$

## 2.9 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน $EER$ (Energy Efficiency Ratio)

ใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 มีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศออกเป็น 5 ระดับตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 [4, 8, 9] ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

ระดับ (เบอร์)	ระดับประสิทธิภาพ	ค่าEER (Btu/(hrxW))
1	ต่ำ	<9.6
2	พอใช้	9.6<EER<10.6
3	ปานกลาง	10.6<EER<11.60
4	ดี	11.00<EER<11.59
5	ดีมาก	>11.60

ที่มา : มอก.2134-2545

สมการหาค่า EER คือ

จากแผ่นรูปมอลเลียร์จะได้

$$EER = \frac{\text{ความเย็นที่ได้ที่คอยล์เย็น}}{\text{กำลังงานที่ให้คอมเพรสเซอร์}}$$

$$EER = \frac{h_c - h_b}{P_e} = \frac{Q}{P_e}$$

$$EER = \frac{Q}{P_e} \quad (2.28)$$

เมื่อ  $h_c - h_b$  คือ พลังงานความร้อนที่ถูกดึงเข้าระบบทำความเย็นหรือเป็นความเย็นที่ได้จากระบบทำความเย็น, (kJ/kg)

$P_e$  คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ, (W)

$Q$  คือ ความสามารถทำความเย็น, (Btu/hr)

### 2.10 ตัวอย่างประยุกต์ใช้ทฤษฎี

เพื่อหาอัตราส่วนประสิทธิรูปเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ณ ห้อง 801 อาคารไทยฝรั่งเศส สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เครื่องหมายการค้า Central Air แรงดันไฟฟ้า 230 โวลท์1 เฟส ดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ  $P_e = 1,814.40$  W
2. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านลมจ่าย  $t_s = 10.738$  °C
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมจ่าย  $RH_s = 77.546$  %
4. ความเร็วลมของอากาศด้านลมจ่าย  $S = 4.539$  m/s
5. พื้นที่หน้าตัดช่องลมด้านลมจ่าย  $0.11 \times 0.77$  m<sup>2</sup>
6. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านลมกลับ  $t_r = 22.112$  °C
7. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมกลับ  $RH_r = 42.612$  %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการคำนวณ

### 1) คำนวณหาค่าตัวแปรด้านลมง่าย

แปลงค่า  $t_s = 10.738$  °C เป็นอุณหภูมิองศาเคลวิน K จากสมการ (2.29)

$$T = t + 273.15 \quad K \quad (2.29)$$

แทนค่า  $t_s$  ใน  $t$

$$T = 10.738 + 273.15$$

อุณหภูมิด้านลมง่าย

$$T = 283.888 \text{ K}$$

คำนวณหาค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว  $P_{ws}$  จากสมการ (2.3)

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \times T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times \ln(T)$$

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{283.888} + C_2 + C_3 \times 283.888 + C_4 \times T \times 283.888^2 + C_5 \times 283.888^3 + C_6 \times \ln(283.888)$$

$$p_{ws} = 0.2546832534$$

$$p_{ws} = e^{0.2546832534}$$

ความดันไอน้ำอิ่มตัว

$$p_{ws} = 1.290052936 \text{ kPa}$$

คำนวณหาค่าความดันบางส่วนของไอน้ำ  $p_w$  จากสมการ (2.17)

$$\varphi = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100\%$$

แทนค่า  $\varphi$  ด้วย  $RH_s = 77.546$  % และ  $p_{ws} = 1.290052936$  kPa

$$\frac{77.546}{100} = \frac{p_w}{1.290052936}$$

$$1.290052936 = p_w$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันบางส่วนของไอน้ำ

$$p_w = 1.290052936$$

คำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น  $W$  จากสมการ (2.15)

$$W = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w}$$

$p$  กำหนดให้เท่ากับความดันชั้นบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลคือ 101.325 kPa  
และ  $p_w = 1.290052936$  kPa จะได้

$$W = 0.62198 \frac{1.00038445}{101.325 - 1.00038445}$$

อัตราส่วนความชื้น

$$W = 6.2020584 \times 10^{-3}$$

คำนวณหาค่าเอนทัลปีด้านลมจ่ายจากสมการ (2.24)

$$h = 1.006t + W(2501 + 1.805t)$$

แทนค่า  $t$  ด้วย  $t_s = 10.738$  C และ  $W = 6.2020584 \times 10^{-3}$  kPa จะได้

$$h_s = 1.006 \times 10.738 + 6.2020584 \times 10^{-3} (2501 + 1.805 \times 10.738)$$

ค่าเอนทัลปีด้านลมจ่าย  $h_s = 26.433985$  kJ/kg

คำนวณหาปริมาตรจำเพาะ  $v$  จากสมการ (2.20)

$$V = \frac{RT(1 + 1.6078W)}{28.9645p} \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

แทนค่า  $T$  ด้วย  $T = 888.283$  K และ  $W = 6.2020584 \times 10^{-3}$  จะได้

$$V = \frac{8314.41 \times 283.888 (1 + 1.6078 \times 6.2020584 \times 10^{-3})}{28.9645 \times 101.325 \times 10^{-3}}$$

ปริมาตรจำเพาะ  $V = 812.2786066 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

คำนวณหาปริมาตรลมไหลผ่านช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ V จากสมการ (2.29)

$$V = 3600 \times S \times A \text{ m}^3/\text{kg}$$

แทนค่า S ด้วย  $S = 4.539 \text{ m/s}$ , และ  $A = 0.11 \times 0.77 \text{ m}^2$  จะได้

$$V = 3600 \times 4.539 \times 0.11 \times 0.77$$

ปริมาตรลมไหล

$$V = 1.38403188 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hr}$$

2) คำนวณหาค่าตัวแปรด้านลมกลับ

แปลงค่า  $t_r = 22.112 \text{ }^\circ\text{C}$  เป็นอุณหภูมิองศาเคลวิน K จากสมการ (2.29)

จากสมการ (2.29)

$$T = t + 273.15 \text{ K}$$

แทนค่า  $t$  ใน  $t$

$$T = 22.112 + 273.15$$

อุณหภูมิด้านลมกลับ

$$T = 295.262 \text{ K}$$

คำนวณหาค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว  $p_{ws}$  จากสมการ (2.3)

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 + T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times \ln(T)$$

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{295.262} + C_2 + C_3 \times 295.262 + C_4 \times T \times 295.262^2 + C_5 \times 295.262^3 + C_6 \times \ln(295.262)$$

$$\ln(p_{ws}) = 0.9794064932$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_{ws} = e^{0.9794064932}$$

ความดันไอน้ำอิ่มตัว  $p_{ws} = 2.662875338$  kPa

คำนวณหาค่าความดันบางส่วนของไอน้ำ  $p_w$  จากสมการ (2.17)

$$\phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100\%$$

แทนค่า  $\phi$  ด้วย  $RH_s = 42.612$  % และ  $p_{ws} = 2.662875338$  kPa

$$\frac{42.612}{100} = \frac{p_w}{2.662875338}$$

$$1.134704439 = p_w$$

ความดันบางส่วนของไอน้ำ  $p_w = 1.134704439$

คำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น  $W$  จากสมการ (2.15)

$$W = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w}$$

$p$  กำหนดให้เท่ากับความดันชั้นบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลคือ 101.325 kPa

และ  $p_w = 1.134704439$  kPa จะได้

$$W = 0.62198 \frac{1.134704439}{101.325 - 1.134704439}$$

อัตราส่วนความชื้น  $W = 7.0442298 \times 10^{-3}$

คำนวณหาค่าเอนทัลปีด้านลมจ่ายจากสมการ (2.24)

$$h = 1.006t + W(2501 + 1.805t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $t$  ด้วย  $t_s = 22.112$  °C และ  $W = 7.0442298 \times 10^{-3}$  kPa จะได้

$$h_s = 1.006 \times 22.112 + 7.0442298 \times 10^{-3} (2501 + 1.805 \times 22.112)$$

ค่าเอนทัลปีด้านลมจ่าย  $h_s = 40.143441$  kJ/kg

3) คำนวณหาความสามารถทำความเย็น  $Q$  จากสมการ (2.26)

$$Q = \frac{3.968V}{4.18v} (h_r - h_s) \text{ Btu/hr}$$

แทนค่า  $V$  ด้วย  $V = 1.38403188 \times 10^3$  (m<sup>3</sup>/hr) และ  $v = 812.2786066 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>/kg) และ  $h_s = 26.433985$  (kJ/kg) และ  $h_r = 40.143441$  (kJ/kg) จะได้

$$Q = \frac{3.968 \times 1.38403188 \times 10^3}{4.18 \times 812.2786066 \times 10^{-3}} (40.143441 - 26.433985)$$

$$Q = 22.13757285 \times 10^3$$

4) คำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ  $COP$  (Coefficient of performance)

จากสมการ (2.27)

$$COP = \frac{Q}{3.41266P_e}$$

แทนค่า  $Q = 22.13757285 \times 10^3$  Btu/hr และ  $P_e = 1814.40$  W

$$COP = \frac{22.13757285 \times 10^3}{3.41266 \times 1814.40}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ  $COP = 3.5752$

5) คำนวณหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน  $EER$  (Energy efficiency ratio)

จากสมการ (2.28)

$$EER = \frac{Q}{P_e}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $Q = 22.13757285 \times 10^3$  Btu/hr และ  $P_e = 1814.40$  W

$$EER = \frac{22.13757285 \times 10^3}{1814.40}$$

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน  $EER = 12.201$

#### 6) เปรียบเทียบหาระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

พิจารณาจากตารางที่ 2-2 ตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536. ได้ระดับอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน  $EER = 12.201$  ((Btu/hr)/W) เทียบเท่ากับหมายเลขฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5

#### 2.11 สรุปสมการที่ใช้หาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

1. สมการ (2.29) ใช้แปลงค่าอุณหภูมิ  $C$  เป็นอุณหภูมิ  $K$

$$T = t + 273.15$$

2. สมการ (2.3) ใช้คำนวณหาค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว  $p_{ws}$  (หน่วย kPa)

$$\ln(p_{ws}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 + T + C_4 \times T^2 + C_5 \times T^3 + C_6 \times \ln(T)$$

3. สมการ (2.17) ใช้คำนวณหาค่าความดันบางส่วนของไอน้ำ  $p_w$  (หน่วย kPa)

$$\phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \times 100\%$$

4. สมการ (2.15) ใช้คำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้น  $W$  (หน่วย ไม่มี)

$$W = 0.62198 \frac{p_w}{p - p_w}$$

5. สมการ (2.24) ใช้คำนวณหาค่าเอนทัลปี  $h$  (หน่วย kJ/kg)

$$h = 1.006t + W(2501 + 1.805t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สมการ (2.20) ใช้คำนวณหาปริมาตรจำเพาะ  $V$  (หน่วย  $m^3/kg$ )

$$V = \frac{RT(1+1.6078W)}{28.9645p}$$

7. สมการ (2.29) ใช้คำนวณหาปริมาตรลมไหลผ่านช่องลมจ่าย  $V$  (หน่วย  $m^3/hr$ )

$$V = 3600 \times S \times A$$

8. สมการ (2.26) ใช้คำนวณหาความสามารถทำความเย็น  $Q$  (หน่วย Btu/hr)

$$Q = \frac{3.968V}{4.18v} (h_r - h_s) \text{ Btu/hr}$$

9. สมการ (2.27) ใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ  $COP$  (หน่วย ไม่มี)

$$COP = \frac{Q}{3.41266P_e}$$

10. สมการ (2.28) ใช้คำนวณหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน  $EER$  (หน่วย (W) Btu/hr)

$$EER = \frac{Q}{P_e}$$

11. นำค่า  $EER$  ไปเทียบตารางที่ 2-2 เพื่อหาระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศหรือหมายเลขฉลากประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

## 2.12 มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็น

มอก. [10] ได้มีการทดสอบและรับรองประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็นให้เป็นไปตาม มอก.1155-2536 และ มอก.2186-2547 ตามลำดับ ซึ่งใช้วิธีการคำนวณตามสถาบัน ASHRAE และรายละเอียดของมอก.มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.1 มาตรฐานอุตสาหกรรมของเครื่องปรับอากาศ (มอก. 1155-2536)

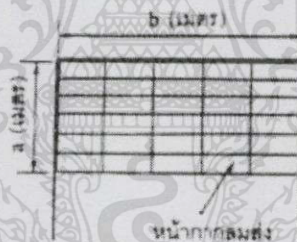
ข้อกำหนดของมอก. สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศกำหนดให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานที่สภาวะสูงสุดภายใต้การทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) ปรับตั้งระดับความแรงของพัดลมไปที่ตำแหน่งแรงสุด (High speed)
- 2) ปรับตั้งอุณหภูมิเทอร์โมสตัทไว้ที่ตำแหน่ง  $24^{\circ}\text{C}$  ถึง  $25^{\circ}\text{C}$
- 3) ตรวจสอบไม่ให้มีสิ่งกีดขวางช่องทางลมทางด้านช่องลมจ่าย
- 4) คอยให้อุณหภูมิห้องอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสมดุลที่  $24^{\circ}\text{C}$  ถึง  $25^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

เมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานได้ตามสภาวะที่กำหนดแล้ว จึงเริ่มทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

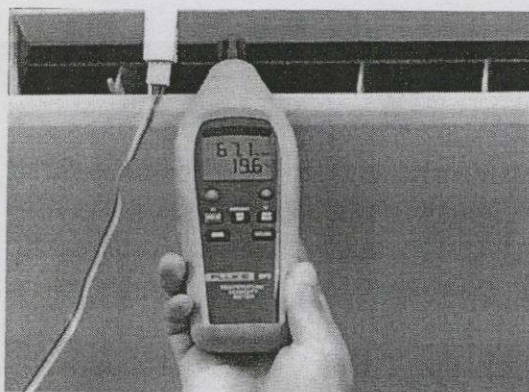
- 1) ขนาดความกว้างและความยาวของช่องลมจ่าย

วัดขนาดความกว้างและความยาวของช่องลมจ่ายด้วยตลับเมตร เพื่อใช้คำนวณหาขนาดที่หน้าตัด  $A$  ( $\text{m}^2$ ) ของช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ตลับเมตรวัดความกว้างและความยาวของหน้ากากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ของหน้ากากลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การวัดพื้นที่หน้ากากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

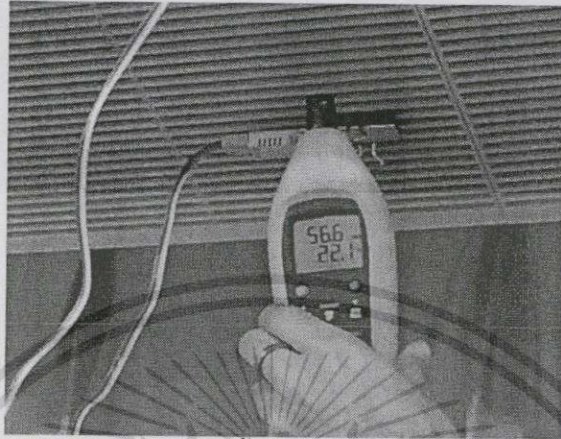
- 2) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  $t_s$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์  $RH_s$  (%) ของอากาศด้านลมจ่าย ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  $t_r$  (°C) และความชื้นสัมพัทธ์  $RH_r$  (%) ของอากาศด้านลมกลับดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้านลมกลับของเครื่องปรับอากาศ

4) ความเร็วลม  $v$  (m/s) ของอากาศที่ออกจากช่องลมจ่าย

วัดความเร็วลมของอากาศที่ออกจากช่องลมจ่าย โดยนำเครื่องวัดความเร็วลมไปกั้นทางลมที่พัดออกจากเครื่องปรับอากาศและให้หัววัดความเร็วลมตั้งฉากกับทิศทางลมที่ไหลผ่านหน้ากากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 2.5 การวัดความเร็วลมด้านช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

เนื่องจากกระแสลมที่ไหลผ่านหน้ากากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศไม่เท่ากันตลอดทั้งพื้นที่ของหน้ากากช่องลมจ่าย ดังนั้นจะต้องทำการวัดหลายๆ แห่งตลอดทั้งแนวหน้ากากช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมของช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน (ส่วนของคอมเพรสเซอร์รวมกับส่วนของพัดลม)

### 2.12.2 มาตรฐานอุตสาหกรรมของตู้เย็น (มอก.2186-2547)

การทดสอบตู้เย็นตามมาตรฐาน มอก.2186-2547 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในออกฉลากมาตรฐานในการรับรองว่าตู้เย็นมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ได้มีข้อกำหนดให้ตู้เย็นทำงานที่สภาวะสูงสุดภายใต้การทดสอบดังต่อไปนี้

1) ภาวะห้องทดสอบ มีอุณหภูมิโดยรอบ  $32 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์  $70 \pm 5\% \text{RH}$  และต้องกั้นตู้เย็นให้พ้นจากกระแสลมที่มีความเร็วเกิน  $0.25 \text{ m/s}$

#### 2) การติดตั้งตู้เย็น

- วางตู้เย็นบนฐานรองที่เป็นแผ่นไม้ทึบทาสีดำด้าน ให้อากาศหมุนเวียนใต้ฐานรองได้สะดวก พื้นบนของฐานรองต้องอยู่สูงจากพื้น  $30 \text{ cm}$  และมีขนาดกว้างกว่าตู้เย็นโดยรอบอย่างน้อย  $30 \text{ cm}$  แต่ไม่เกิน  $60 \text{ cm}$

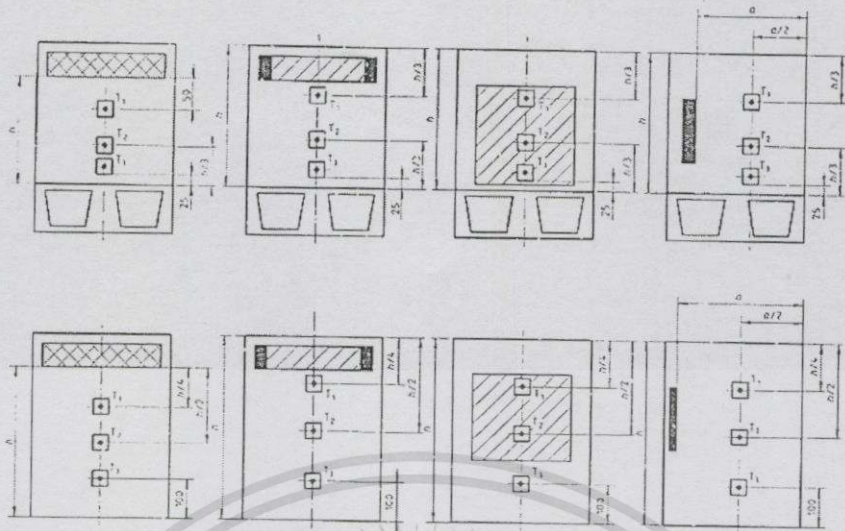
- ให้วางตู้เย็นในลักษณะที่ป้องกันการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงระหว่างตู้เย็นกับอุปกรณ์ที่ให้ความเย็นหรือความร้อนภายในห้องทดสอบ และต้องวางในที่ห่างจากวัตถุอื่นๆ ภายในห้องทดสอบเป็นระยะไกลพอที่จะเชื่อได้ว่าไม่มีจุดใดๆ รอบตู้เย็นมีอุณหภูมิผิดไปจากอุณหภูมิโดยรอบ

- การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องทดสอบ ต้องทำให้อุณหภูมิโดยรอบเป็นไปตามที่กำหนดไว้ภายในขอบเขต และต้องกั้นตู้เย็นให้พ้นจากกระแสลมที่มีความเร็วไม่เกิน  $0.25 \text{ m/s}$

- ตู้เย็นที่ติดตั้งในเครื่องเรือนให้ติดตั้งตามที่ผู้ผลิตกำหนด

เมื่อตู้เย็นทำงานได้ตามสภาวะที่กำหนดแล้ว จึงเริ่มทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิช่องแช่เย็นและช่องแช่แข็งทำการบันทึกข้อมูล โดยติดสายเทอร์โมคัปเปิ้ลบนโคมหรือวัสดุที่คล้ายคลึง โดยให้ปลายสายเทอร์โมคัปเปิ้ลโผล่พ้นโคม หรือวัสดุที่คล้ายคลึงออกมาประมาณ  $5-10 \text{ mm}$  วางเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ติดบนโคมหรือวัสดุที่คล้ายคลึงแล้ว ในตำแหน่ง T1, T2, T3 เพื่อวัดอุณหภูมิ  $t_1, t_2, t_3$  ตามลำดับ รูปที่ 2.6 และหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย  $t_m$



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในตู้เย็น

2) การทดสอบวัดปริมาตรสำหรับตู้เย็น 1 ประตู และตู้เย็น 2 ประตูขึ้นไป ให้ทำการวัดปริมาตรภายใน ซึ่งคำนวณได้จากการแบ่งปริมาตรทั้งหมดเป็นหน่วยของรูปทรงเชิงเรขาคณิตที่สามารถวัดได้ง่าย ให้คิดจากรูปร่างจริงของผนังด้านในกรณีที่มีรอยนูน รอยเว้า

### 2.13 ฉลากเบอร์ 5

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ได้กำหนดมาตรฐานฉลากเบอร์ 5 ของเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น โดยวัดจากอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และปริมาตรปรับอากาศ (AV) ตามลำดับ โดย กฟผ. กำหนดระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและตู้เย็นเป็น 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ ค่าพลังงานต่อปี มีหน่วยเป็น kWh

ระดับที่ 1 คือ ระดับประสิทธิภาพ ต่ำ

ระดับที่ 2 คือ ระดับประสิทธิภาพ พอใช้

ระดับที่ 3 คือ ระดับประสิทธิภาพ ปานกลาง

ระดับที่ 4 คือ ระดับประสิทธิภาพ ดี

ระดับที่ 5 คือ ระดับประสิทธิภาพ ดีมาก

ส่วนประกอบของฉลากที่แสดงประสิทธิภาพ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นแถบโค้งครึ่งวงกลมพื้นที่สีเขียว แสดงตัวเลขบอกระดับประสิทธิภาพตั้งแต่ระดับ 1(ต่ำ) และระดับ 5 (ดีมาก) หากตู้เย็นได้ระดับประสิทธิภาพใด ตัวเลขและช่องที่ระบุระดับนั้นจะเป็นสีแดง โดยตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแถบโค้งครึ่งวงกลมนี้จะมีตัวเลข 5 สีขาวอยู่ในวงกลมสีแดงขอบดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของข้อมูลตัวเลขและตัวอักษรสีด้านบนพื้นสีเหลืองพร้อมสัญลักษณ์กระทรวงพลังงาน ซึ่งระบุถึงรายละเอียดต่างๆ เช่น ใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/ปี) ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี) รุ่น และขนาด (L)

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่แสดงถึงหน่วยงานที่กำกับดูแล ด้วยสัญลักษณ์ “การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย” และกระทรวงพลังงาน ด้วยตัวอักษรขาวบนพื้นสีเขียว ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพ

### 1) ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

การหาฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ เพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานตามมาตรฐาน มอก.2134-2545 ซึ่งแบบการทดสอบตาม มอก.1155-2536 มีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศออกเป็น 5 ระดับ โดยใช้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio: EER) ตามสมการ (2.28) เป็นตัวเทียบระดับประสิทธิภาพตามตารางที่ 2.2

### 2) ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพของตู้เย็น

การหาประสิทธิภาพของตู้เย็นตามมาตรฐานมอก. 455-2537 และมอก.2186-2547อาศัยการวัดค่าแปรต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Energy Consumption; EC) และค่าปริมาตรปรับเทียบ(Adjusted Volume; AV) ของตู้เย็น และเปรียบเทียบผลที่ได้กับตารางที่ 2.3 โดยมีวิธีการทดสอบ ตู้เย็น 1 ประตุ ดังนี้ปรับอุณหภูมิช่องแช่เย็นเฉลี่ย  $t_m$  เท่ากับ  $4-6^{\circ}\text{C}$  โดยไม่กำหนดอุณหภูมิภายในช่องแช่แข็ง สำหรับตู้เย็น 2 ประตุขึ้นไป หรือตู้เย็นที่มีการละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ ให้ปรับอุณหภูมิภายในช่องแช่แข็งให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $-15^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิที่ช่องแช่เย็นเฉลี่ย  $t_m$  เท่ากับ  $4-6^{\circ}\text{C}$  เมื่ออุณหภูมิภายในช่องแช่เย็นเฉลี่ยและช่องแช่แข็งได้ตามที่กำหนดแล้ว เริ่มทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 1 ปี (Energy Consumption; EC) เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$EC = \frac{W \times t}{1000} \quad (2.30)$$

เมื่อ  $W$  คือกำลังไฟฟ้า (Watt)  
 $t$  คือเวลา (hr)

สำหรับค่า AV คำนวณได้จากการวัดสมการ (27)

$$AV = \left[ V_f \times \left\{ \frac{32 - T_f}{32 - T_r} \right\} \right] + V_r \quad (2.31)$$

เมื่อ  $V_f$  คือปริมาตรช่องแช่แข็ง (L)  
 $V_r$  คือ ปริมาตรช่องแช่เย็น (L)  
 $T_f$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยของช่องแช่แข็ง ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_r$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยของช่องแช่เย็น ( $^{\circ}\text{C}$ )

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานตู้เย็นปี 2011

Energy Consumption Criteria for 1 Door refrigerators			
AV	No.3	No.4	No.5
<100 L	$EC \leq 0.74AV + 278$	$EC \leq 0.68AV + 255$	$EC \leq 0.62AV + 233$
$\geq 100$ L	$EC \leq 0.43AV + 158$	$EC \leq 0.39AV + 145$	$EC \leq 0.36AV + 133$
Energy Consumption Criteria for 2 Door refrigerators			
<450 L	$EC \leq 0.43AV + 423$	$EC \leq 0.39AV + 388$	$EC \leq 0.36AV + 354$
$\geq 100$ L	$EC \leq 0.74AV + 423$	$EC \leq 0.68AV + 388$	$EC \leq 0.62AV + 354$

## 2.14 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเพื่อช่วยชาติในการประหยัดพลังงาน และการประหยัดพลังงานขึ้นอยู่กับ การควบคุมอุปกรณ์และการใช้ส่วนประกอบต่างๆให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด รวมไปถึงการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบทำความเย็นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการรักษาอุปกรณ์และส่วนประกอบให้มีสภาพการทำงานที่ดีอยู่เสมอ โดยมีข้อแนะนำดังนี้ ภาคอาคารธุรกิจ (2556)

### 1) การจัดการวัตถุดิบ

สำหรับตู้เย็นไม่ควรนำอาหารที่ยังร้อนอยู่เข้าเก็บทันที เพราะจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนเกินไป ทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนัก สำหรับการพิจารณาภาระของเครื่องปรับอากาศ โดยส่วนใหญ่ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องปรับอากาศจะพิจารณาจากคนและสิ่งของที่อยู๋ภายในห้อง โดยควรตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อจำนวนคน และวัตถุภายในห้อง

### 2) การเปิด-ปิดประตู

ภาระจากส่วนนี้ ได้แก่ การเปิดประตูใช้งานทั้งตู้เย็นและประตูห้องที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และส่วนหนึ่งเข้ามาตามรอยรั่วของขอบประตู หน้าต่าง จึงควรเปิด-ปิดประตูเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการเปิด-ปิดประตูแล้วยังมีภาระทางความร้อนของผนังที่ได้รับจากการถ่ายเทความร้อนภายนอกห้องเย็น ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เช่น ในกรณีที่ผนังห้องอยู่ในตำแหน่งที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะทำให้ผนังห้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ

### 3) การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

พารามิเตอร์ที่มีผลมากต่อการทำความเย็น คือ อุณหภูมิและความเร็วลม โดยความเร็วลมช่วยในการระบายความร้อนของภาระ จึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศควรปรับระดับความเร็วลมไว้สูงก่อน แล้วจึงค่อยปรับความเร็วลมลง เพื่อให้ห้องเย็นเร็วขึ้น ในตู้เย็นก็มีการปรับอากาศเช่นเดียวกัน คือการตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมกับโหลดที่นำเข้าไป โดยการตั้งอุณหภูมิของตู้เย็นจะอยู่ที่ประมาณ 3-6 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้เป็นช่วงที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน และไม่เย็นหรือร้อนเกินไปจนทำให้ของเน่าเสียอีกด้วย

### 4) การเลือกใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสม

การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถช่วยลดภาระทางความร้อนได้ เช่น การออกแบบผนังอาคารควรเลือกใช้นานกันความร้อนที่เหมาะสม เพื่อเป็นการป้องกันและหน่วงเวลาของความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การเลือกใช้ระบบทำความเย็นและระบบแสงสว่างที่มีสมรรถนะ และได้มาตรฐาน เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ใช้พลังงานไฟฟ้ากว่า 60-80% ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในอาคาร เป็นต้น

### 5) การเลือกขนาดให้เหมาะสมกับภาระ

การคำนึงถึงขนาดของเครื่องทำความเย็นให้เหมาะสมนั้น เป็นการลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง ดังนั้นแล้วก่อนการซื้อหรือติดตั้งเครื่องทำความเย็นจึงควรดูขนาดให้เหมาะสมต่อการใช้งานก่อน

## 2.15 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งสำหรับการตัดสินใจ เช่น หลังจากทราบค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและตู้เย็นหลังการวัด รวมถึงค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายต่อปีของเครื่องนั้น และทำการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ได้กับฉลากเบอร์ 5 ว่าค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสูงกว่าฉลากเพียงใดและจะคุ้มหรือไม่หากยังใช้เครื่องปรับอากาศหรือตู้เย็นเก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำ จึงมีการคำนวณหาจุดคุ้มทุนตามเศรษฐศาสตร์ มีการคำนวณดังนี้

ค่าไฟฟ้าที่สูงกว่าฉลาก = ค่าไฟฟ้าจากฉลากเบอร์ 5 - ค่าไฟฟ้า(ของเครื่องเดิม) บาทต่อปี

$$\text{จำนวนปีที่คุ้มทุน} = \frac{\text{ราคาเครื่องใหม่(บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่สูงกว่าฉลาก(บาทต่อปี)}} \quad (2.32)$$

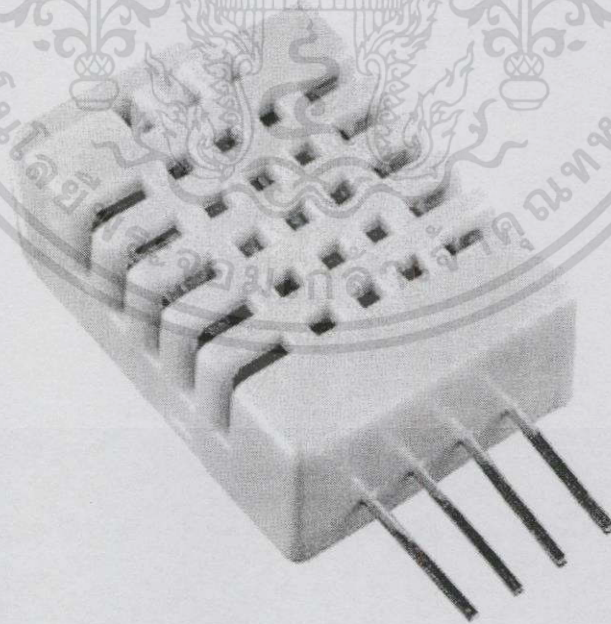
## บทที่ 3

# อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย DHT22

อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นส่วนหนึ่งของการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องค้นหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสม มีการใช้งานง่าย ความแม่นยำ (Accuracy) สูง ขนาดเหมาะสม และมีราคาถูก เซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมคือ DHT22

### 3.1 DHT22 High Accuracy Digital Temperature and Humidity Sensor [12]

Sensor DHT22 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีราคาถูก หาซื้อได้ตามเว็บไซต์ของอุปกรณ์ Arduino ทั่วไป ([www.arduino.in.th](http://www.arduino.in.th)) มีขนาดเล็ก มีความเหมาะสมในการใช้งาน จึงมีความสะดวกในการทำการติดตั้งตัวเซนเซอร์ลงบนปลายด้านหนึ่งของแผ่นอะลูมิเนียมขนาดความกว้าง 1.4 เซนติเมตร ความยาว 11.43 เซนติเมตร และให้ปลายของแผ่นอะลูมิเนียมอีกด้านติดตัวหนีบเพื่อยึดติดกับไบพัตแอร์ ส่วนขาแต่ละพินของตัว DHT22 จะต่อกับคอนเน็คเตอร์ 4 พิน เพื่อให้สามารถติดตั้งลงบน PCB หรือ Bread Board ที่เชื่อมต่อกับ Arduino Board ได้



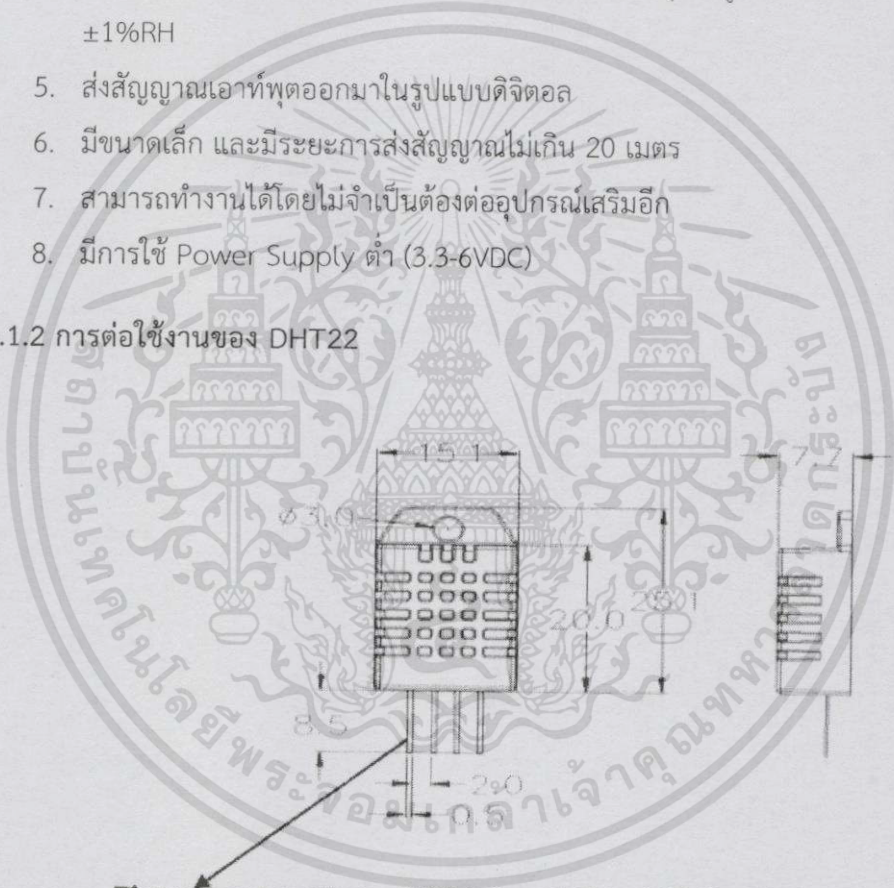
รูปที่ 3.1 Sensor DHT22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของ SENSOR DHT22

1. สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 125°C และมีความละเอียดในการวัด  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
2. สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100%RH และมีความละเอียดในการวัด  $\pm 2\%RH$
3. ค่าความละเอียดหรือความไวของเซนเซอร์จากการวัดอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  ส่วนความชื้น  $0.1\%RH$
4. ค่าความสามารถในการทำซ้ำของเซนเซอร์จากการวัดอุณหภูมิ  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ส่วนความชื้น  $\pm 1\%RH$
5. ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาในรูปแบบดิจิทัล
6. มีขนาดเล็ก และมีระยะการส่งสัญญาณไม่เกิน 20 เมตร
7. สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์เสริมอีก
8. มีการใช้ Power Supply ต่ำ (3.3-6VDC)

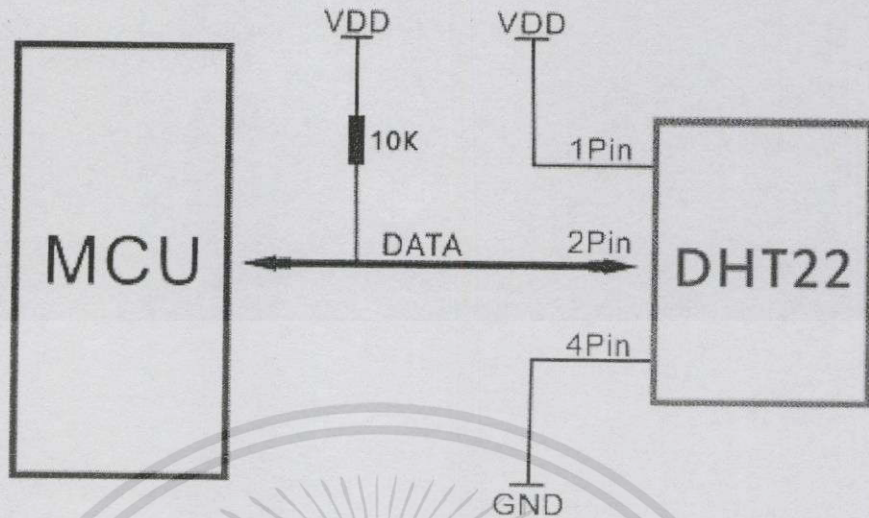
3.1.2 การต่อใช้งานของ DHT22



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD---power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

รูปที่ 3.2 Dimension ของ DHT22



รูปที่ 3.3 การต่อสัญญาณของ DHT22 กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

## 3.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ SENSOR DHT22

### 3.2.1 วิธีการส่งข้อมูลของ DHT22

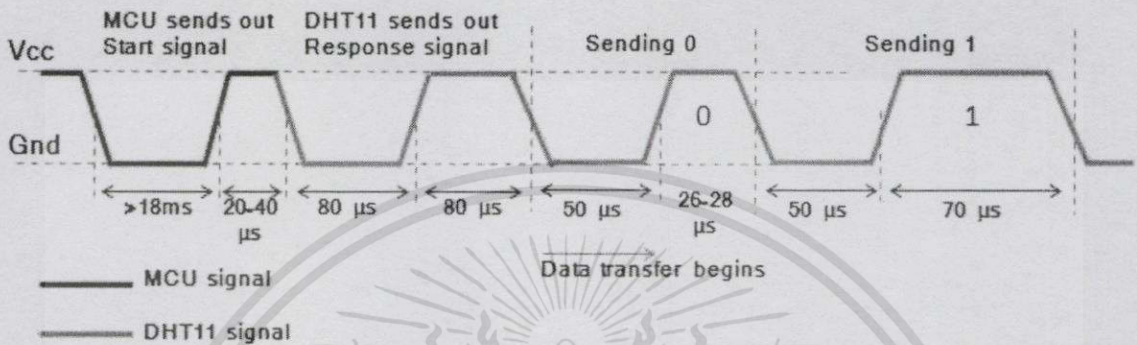
อุปกรณ์ตัวนี้ใช้การสื่อสารกับ MCU (Multipoint Control Unit หรือ Microcontroller เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการจัดการระบบรูปและเสียงจากหลายแหล่งมารวมกัน เพื่อที่จะส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางทุกจุดหมายพร้อมกันได้) ของเราด้วยวิธี Single-wire Two-way Serial Interface แปลเป็นภาษาไทยก็คือ การสื่อสารอนุกรมสองทางโดยใช้สายเส้นเดียว ซึ่งการสื่อสารแบบนี้จะใช้สายสื่อสารเพียงเส้นเดียวและส่งข้อมูลได้ทั้งจาก MCU ไปที่ตัว DHT22 และในทางกลับกันก็ได้ด้วย

ต่อไปนี้จะเรียก Arduino UNO Board ว่า "Master" และ DHT22 ว่า "Slave" อีกเรื่องเกี่ยวกับ Pull Up Resistor การใช้ Pull Up Resistor นั้น หมายถึงเราต้องการให้เวลาทำงานปกติในขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับสายสื่อสารของเรา ระดับแรงดันของสัญญาณในสาย Data คือแรงดันระดับ "สูง" และจะมีแรงดันในระดับต่ำเมื่อมีอุปกรณ์ (จะเป็น Master หรือ Slave ก็ได้) ดึงสัญญาณลงในระดับ "ต่ำ" นะครับ ดังนั้นหากเรามี Scope วัดระดับสัญญาณได้เป็น "สูง" ตลอดเวลา ก็หมายความว่าอุปกรณ์ของเราอาจจะผิดปกติ

### 3.2.2 โพรโตคอลที่ใช้สื่อสาร

ในการสื่อสารโดยใช้สายเส้นเดียวนั้น จำเป็นต้องใช้โปรโตคอลที่ตกลงกันไว้ระหว่างตัว MCU และอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วย (Slave) โปรโตคอลที่ว่า อันดับแรก Master หรือ Arduino ของเราจะส่ง Start Signal ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำอย่างน้อย 18 ไมโครวินาที ไปที่ Slave เพื่อให้ Slave เข้าใจว่าจะเริ่มส่งแล้ว แล้วรอไป 20-40 ไมโครวินาทีเพื่อรอ Slave ตอบกลับ

ที่นี่เพื่อให้ Master รู้ว่า Slave ก็พร้อม Slave จะส่งแรงดันระดับต่ำกลับไปบ้าง การส่งแรงดันจาก Slave กลับไปจะนาน 80 ไมโครวินาที จากนั้นจะรออีก 80 ไมโครวินาที ก่อนที่จะส่งข้อมูลบิตแรก มาถึงตรงนี้ข้อมูลจะยังไม่ถูกส่งเลย แต่พร้อมจะส่งแล้ว



รูปที่ 3.4 แสดงการส่งสัญญาณข้อมูล

คราวนี้มาดูว่าจะส่งบิต "0" กับ บิต "1" อย่างไร สำหรับการส่งบิตเป็น "0" ตัว Slave จะดึงระดับแรงดันลงต่ำนาน 50 ไมโครวินาที และปล่อยเป็นระดับ "สูง" นาน 26-28 ไมโครวินาที ดังรูปด้านด้านบนครับ (ดูช่วง Sending 0)

แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลเป็น "1" ตัวส่งจะดึงสายสัญญาณลงระดับต่ำ 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้ระดับสูงนาน 70 ไมโครวินาที (ดูช่วง Sending 1) ที่นี่เราจะรู้ว่าแต่ละบิต DHT22 ส่งมาเป็นบิต "0" หรือ "1" มา และส่งมาจนครบข้อมูลหนึ่งชุด

ในแต่ละชุดของข้อมูลที่ส่งมาจาก DHT22 ตัว MCU รับข้อมูลแล้วจะต้องเอามาแปลงต่อ ว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นแปลว่าอะไร แต่ละชุดข้อมูลจะยาว 40 บิต และใช้เวลาส่งประมาณ 40 มิลลิวินาที

ใน 40 บิตที่ส่งมา ประกอบด้วย " 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum" อาจจะต้องยุ่งยาก แต่มีคนเขียน library ไว้ใช้งานกับ Arduino board ไว้แล้ว แคเอา library มาใส่ให้ถูกแล้วเรียกใช้

### 3.2.3 โปรแกรม Library ของ DHT22

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
// Connect pin 1 (on the left) of the sensor to +5V
// Connect pin 2 of the sensor to whatever your DHTPIN is
```

```

// Connect pin 4 (on the right) of the sensor to GROUND
// Connect a 10K resistor from pin 2 (data) to pin 1 (power) of the sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHTxx test!");

  dht.begin();
}

void loop() {
  // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
  // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();

  // check if returns are valid, if they are NaN (not a number) then something went wrong!
  if (isnan(t) || isnan(h)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT");
  } else {
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(h);
    Serial.print(" %\n");
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(t);
    Serial.println(" *C");
  }
}

```

### 3.2.4 วิธีการติดตั้ง Library

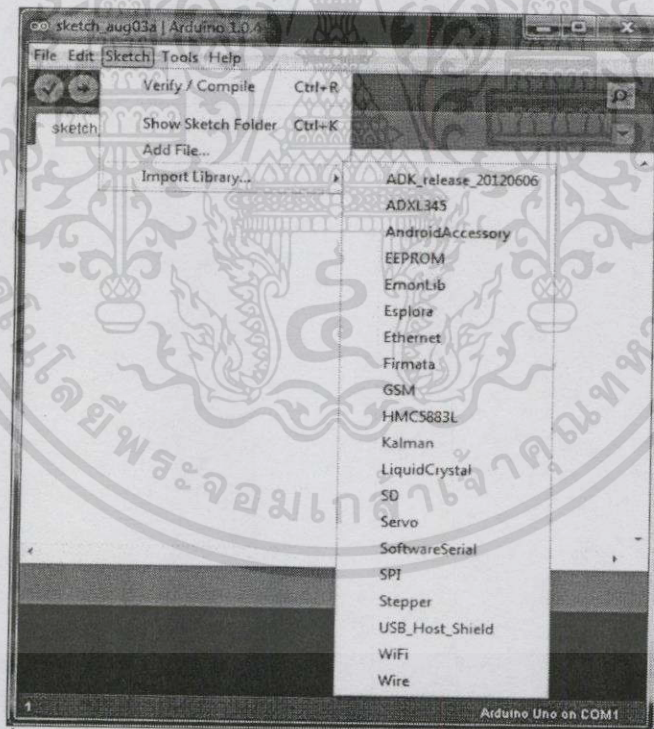
ขั้นแรก โดยปกติเราจะได้ไฟล์มาเป็น .zip ก็ให้เรา unzip ไปไว้ใน folder ที่ชื่อเดียวกับไฟล์ที่เรา download มา

จากนั้น ย้ายมันไปไว้ใน folder ชื่อ libraries ซึ่งจะอยู่ภายใน folder ของ Arduino IDE ในขั้นนี้ ถ้าไม่เคย download library ใหม่ขึ้นมา ก่อน จะต้องสร้าง Folder ใหม่แล้วย้ายไปเก็บไว้ที่ Folder ที่สร้างขึ้น

ถ้าจะหาว่า Library ต่างๆ อยู่ที่ไหน ให้ไปที่ Sketch -> Show Sketch Folder และเลื่อนการเลือกของ Browser ขึ้นไป จนเจอ Folder Libraries

เสร็จแล้วถ้าถึงตอนที่ยังเปิด Arduino IDE ค้างไว้อยู่ ให้ปิดแล้วเปิดใหม่ เพราะ Arduino IDE จะค้นหาและแสดง Libraries เฉพาะตอนเปิดโปรแกรมใหม่เท่านั้น

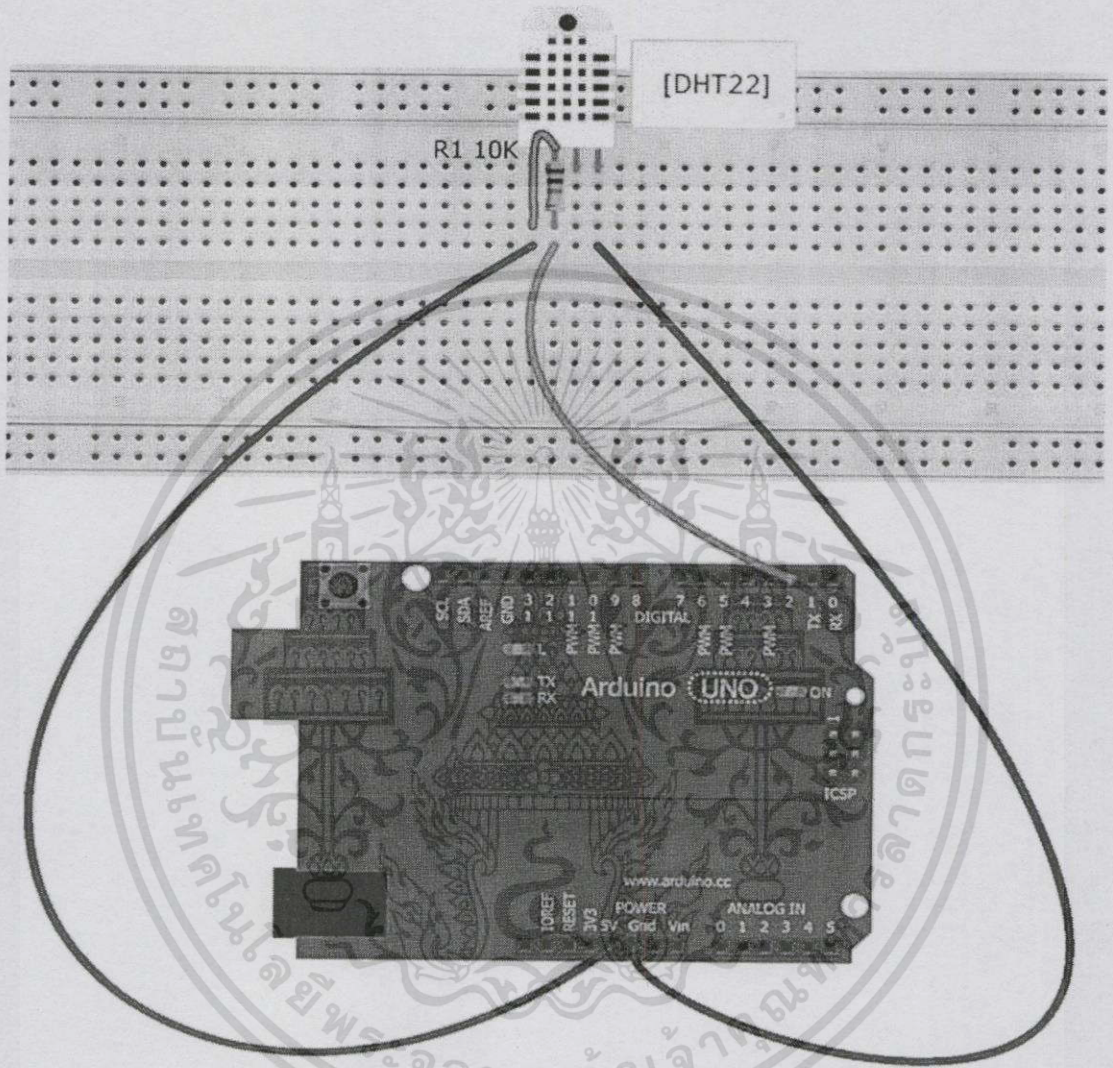
ถ้าลง Library ได้ถูกต้อง เวลาไปที่ Sketch -> Imported Library... จะเจอชื่อ Folder ของ Library ที่เราสร้างขึ้น พร้อมใช้งาน



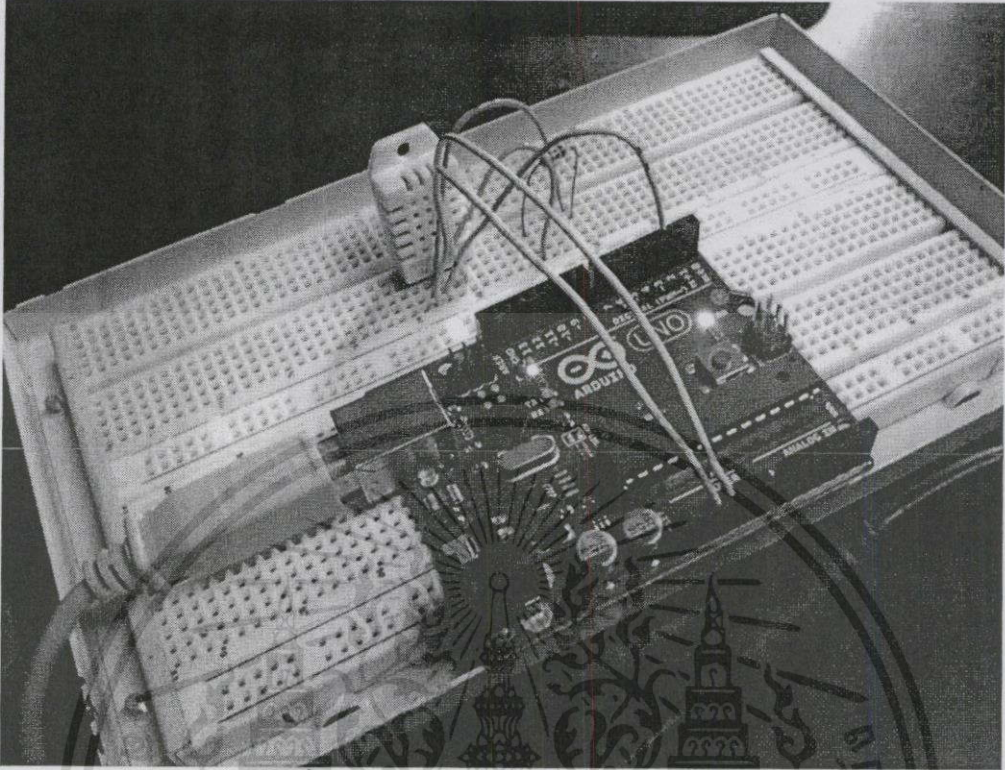
รูปที่ 3.5 แสดงหน้าต่างการเลือก Library ของโปรแกรม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

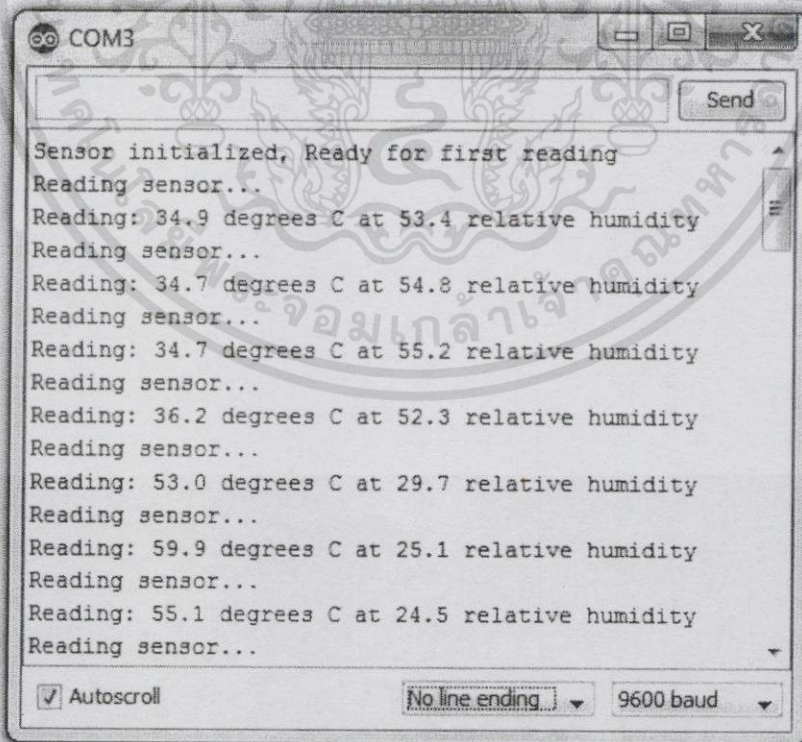
### 3.3 การติดตั้งตัว SENSOR DHT22 กับ ARDUINO UNO BOARD



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจรระหว่าง SENSOR DHT22 กับ ARDUINO UNO BOARD



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อวงจรที่ใช้ทดลองจริง



รูปที่ 3.8 หน้าต่าง Serial Monitor ที่แสดงค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

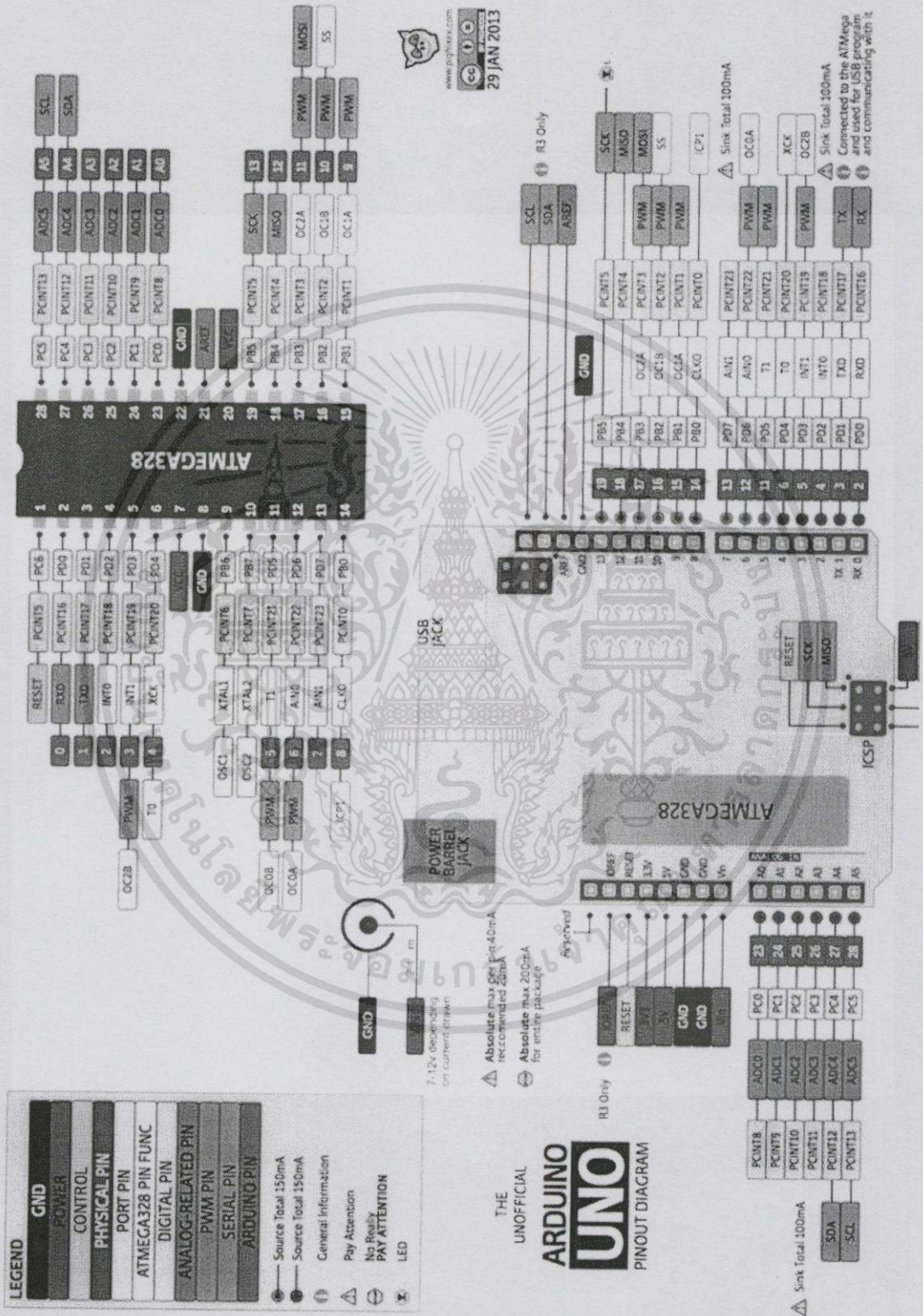
งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino (รุ่น UNO) ในเครื่อง NATIONAL INSTRUMENT (NI) (ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม LabVIEW ด้วย) ในการติดต่อสื่อสารกับตัวเซนเซอร์ DHT22 โดยใช้โปรแกรม Arduino ในการป้อนภาษาซี เพื่อสั่งให้อ่านค่าจากตัวเซนเซอร์และแสดงค่าผ่าน Serial Monitor ได้เลย

#### 3.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์คืออะไร?

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ที่มีหน่วยประมวลผล และความจำขนาดเล็กภายในตัวเอง สามารถรับ-ส่ง ข้อมูล ได้ทั้งแบบดิจิทัลและอนาล็อก ใช้พลังงานน้อย ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งานในรูปแบบที่เรียกว่า Embedded เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะทั้งหลาย

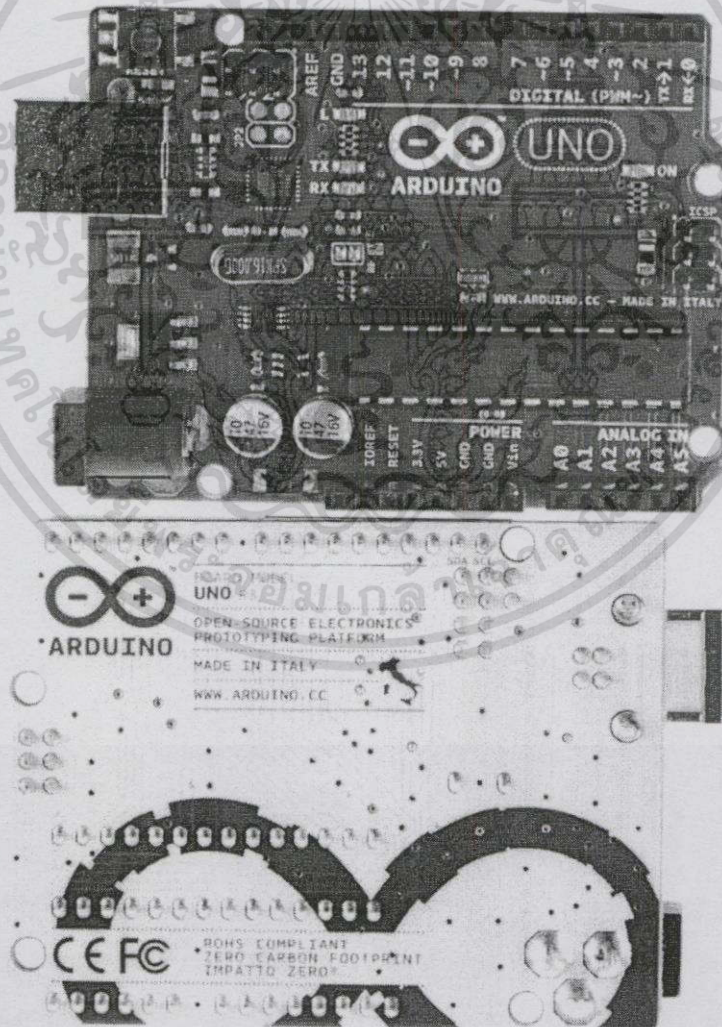
#### 3.4.2 Arduino คืออะไร?

Arduino คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็น แบบที่เรียกว่า Open Hardware กล่าวคือ Arduino อุปกรณ์ที่มีแบบส่วนประกอบเป็นมาตรฐานที่เปิดเผย หมายความว่า เราสามารถทำเองโดยใช้แบบที่มีการเปิดเผย ทั่วไปก็ได้ หรือสามารถซื้อหาได้ง่าย มีราคาถูก มี Software ให้ใช้งานฟรี สามารถนำไปใช้งานทั่วไปหรือแบบธุรกิจได้ โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ เป็นรูปแบบที่มีข้อมูลมากที่สุดบนอินเทอร์เน็ต การพัฒนาก็ง่าย เพราะมีตัวอย่างมากมาย และไม่ต้องเขียนโปรแกรมในรูปแบบ Low Level หมายความว่า เราสามารถใช้คำสั่งเขียนโปรแกรมได้เหมือน โปรแกรมภาษาชั้นสูงทั่วไป



### 3.4.3 การใช้งาน Arduino [13]

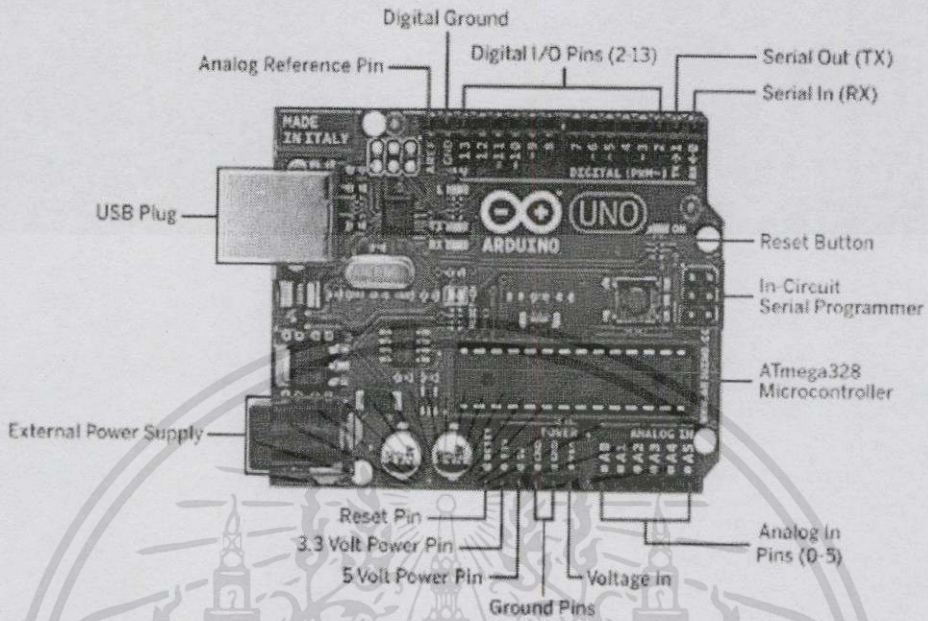
Arduino UNO นั้นใช้ Atmega328 (มี หน่วยความจำแบบ Flash 32kB ใช้เป็น boot loader ไป 0.5kB, SRAM 2kB และ EEPROM อีก 1kB) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ หลักซึ่งใช้แพ็คเกจแบบ DIP ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาเช่น เวลาที่เราต้องการนำชิปที่ถูกโปรแกรมไปใช้ในบอร์ดอื่น หรือเวลาที่ชิปเสีย เราก็สามารถที่จะหาซื้อชิปมาเปลี่ยนเอง ได้ง่ายๆ มี I/O ให้ใช้งานทั้งหมด 20 ขา (แบ่งเป็นดิจิตอล I/O 16 ขา และ อินพุตแบบแอนาล็อกอีก 6 ขา) ใช้คริสตัล ความถี่ 16 MHz มี USB คอนเน็คเตอร์แบบ B, หัวต่อ DC adaptor, พอร์ตสำหรับโปรแกรมแบบ ICSP, และสวิตช์ สำหรับรีเซ็ตตัวบอร์ดสามารถ เลือก แหล่งจ่ายไฟได้โดย อัตโนมัตินะหว่างจากพอร์ต USB และแหล่งจ่ายภายนอก บนบอร์ดนั้นยังประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตัว หนึ่งคือ Atmega16U2 ซึ่งทำหน้าที่เป็น USB-to-Serial convertor โดยในการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการใช้งานของPort และการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น



รูปที่ 3.10 ด้านหน้าและด้านหลังของบอร์ด Arduino UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 การจัดการขาของ Arduino



รูปที่ 3.11 แสดงขาต่างๆ ของบอร์ด Arduino UNO

#### ในส่วนของ Power

- Vin อินพุทโวลเตจสำหรับ Arduino ใช้สำหรับแหล่งพลังงานภายนอก โดยรองรับ 5V จาก USB หรือ วงจรปรับแรงดันอื่นๆ โดยคุณสามารถจ่ายแรงดันผ่านขา Vin หรือจ่าย ผ่าน Power JACK ที่สามารถส่งต่อผ่านเข้าขา Vin ได้
- 5V ขานี้ทำการรับสัญญาณเอาต์พุตที่แปลงเป็น 5V แล้วจากวงจรแปลงแรงดัน โดยบอร์ดนี้สามารถจ่ายแรงดันออกมาจาก DC power jack (7-12V) หรือ USB(5V) หรือ ขาVIN จากบอร์ด (7-12V) โดยแรงดันถ้าจ่ายผ่านขา 5V หรือ 3.3V ผ่านวงจรปรับแรงดัน ซึ่งอาจเกิดความเสียหายต่อบอร์ดได้
- 3.3V มีไว้จ่ายแรงดันสูงสุดที่ 3.3V ซึ่งได้มาจากวงจรปรับแรงดันในบอร์ด โดยกระแสไหลสูงสุดคือ 50mA
- GND ขากราวด์
- IOREF ขานี้ในบอร์ด Arduino จะให้ค่าแรงดัน อ้างอิงเพื่อการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะ นำค่าที่ตั้งไว้ มาเทียบกับแรงดันของขา IOREF และทำการ เลือกว่าจะจ่ายหรือไม่จ่ายแรงดันในขาเอาต์พุตขณะทำงาน ด้วยแรงดันขนาด 5V หรือ 3.3V

### ในส่วนของ Input and Output

- Serial: 0(RX) and 1(TX) ใช้เพื่อในการกำหนดว่าจะรับหรือส่งข้อมูล โดยขานี้เชื่อมต่อกับ Chip ของ ATmega8U2 USB-to-TTL
- External Interrupts: 2 and 3 ขานี้สามารถทำเป็นขากระตุ้น หรือขัดจังหวะ, ขอบขาขึ้น หรือขอบขาลง, การเปลี่ยนแปลงค่า โดยดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ฟังก์ชัน attach Interrupt ()
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 and 11 ให้ค่าสัญญาณเอาต์พุต PWM แบบ 8bit พร้อมฟังก์ชัน analog Write () function
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). ขาเหล่านี้ช่วยสนับสนุนในการเชื่อมต่อ SPI โดยใช้ SPI library
- LED: 13 LED ที่เชื่อมต่อกับขา 13 ถ้าโดย Logic 1 ไฟติด, Logic 0 ไฟดับ
- TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin ขาเหล่านี้ช่วยสนับสนุนในการเชื่อมต่อ TWI โดยใช้ WIRE library
- AREF ใช้เพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสำหรับ สัญญาณอินพุตแบบอนาล็อก โดยใช้ร่วมกับ analog reference
- Reset สับลงเพื่อรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ ในทางปฏิบัติแล้วใช้เพื่อเพิ่มปุ่มรีเซ็ตสำหรับ ป้องกัน อะไรก็ตามบนบอร์ด

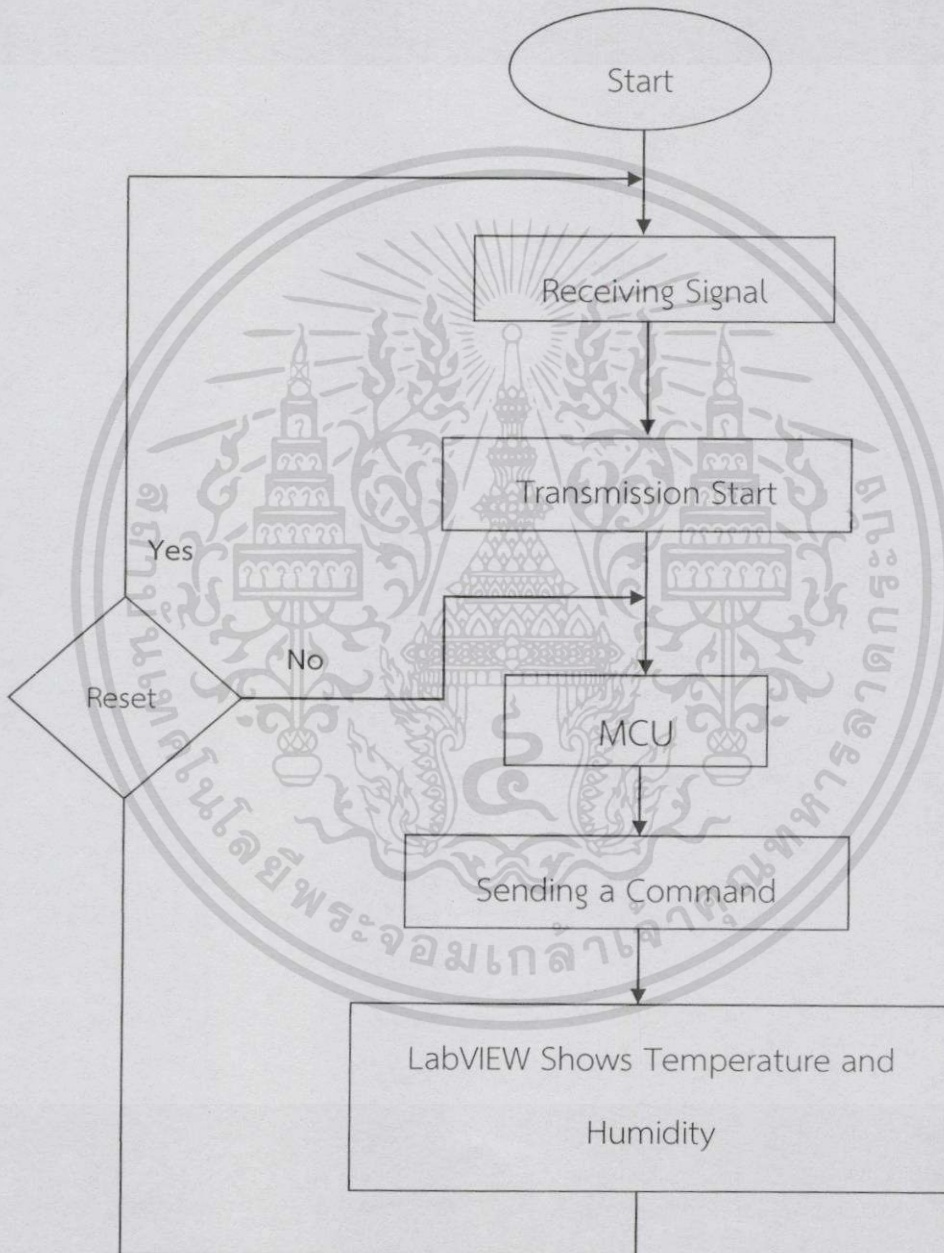
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by boot loader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

### 3.5 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล

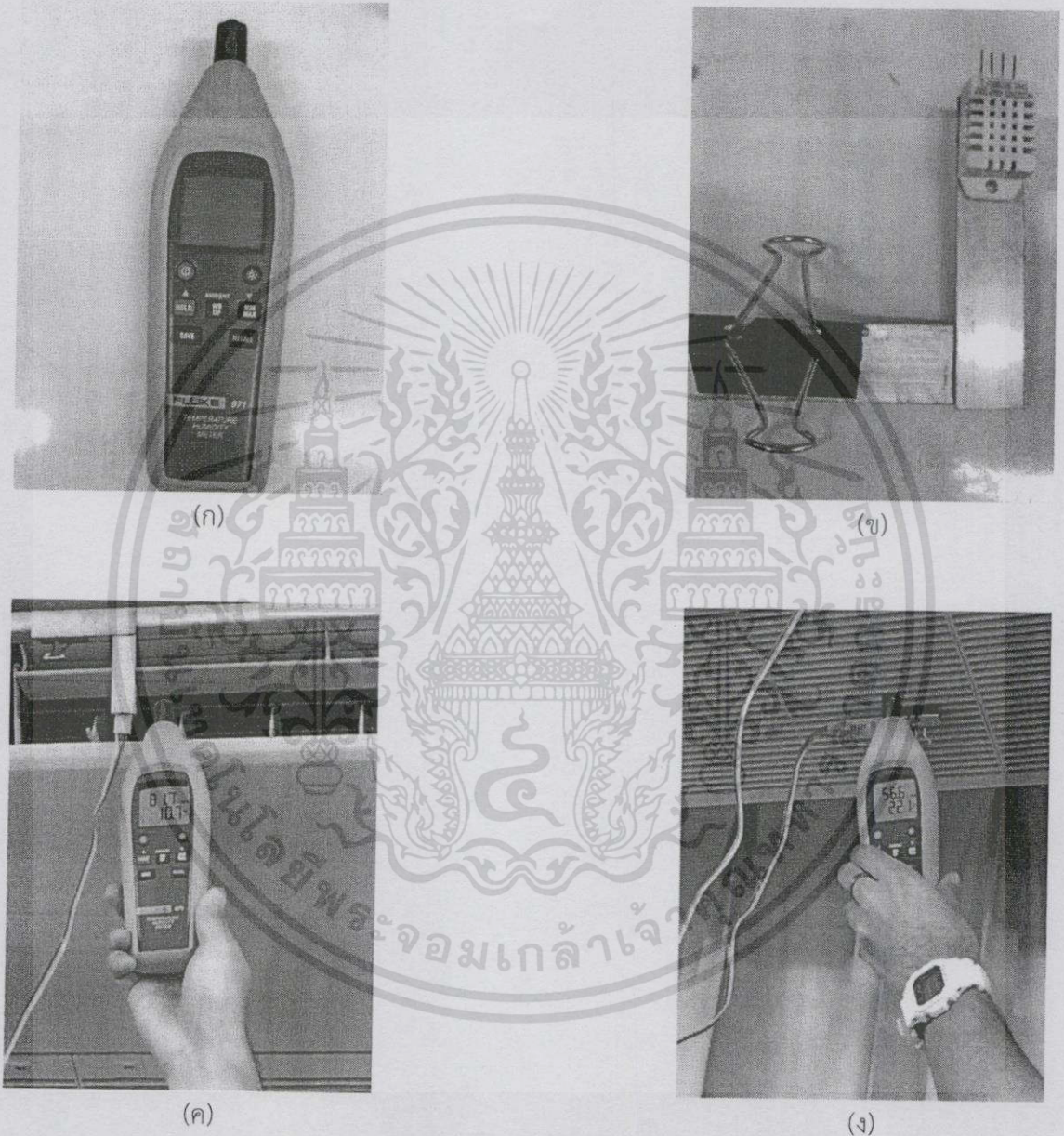
ในการออกแบบโปรแกรมนี้นี้เป็นการเขียนโปรแกรม Arduino รับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เพื่อนำผลที่วัดได้ส่งไปคำนวณและแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW

#### 3.5.1 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.12 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ DHT22

### 3.6 การทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเซนเซอร์ DHT22 เทียบกับ FLUKE Temperature Humidity Meter



รูปที่ 3.13 การทดสอบความแม่นยำของ DHT22

(ก) FLUKE Temperature Humidity Meter

(ข) DHT22

(ค) การวัดที่ด้านหน้าสมง่าย

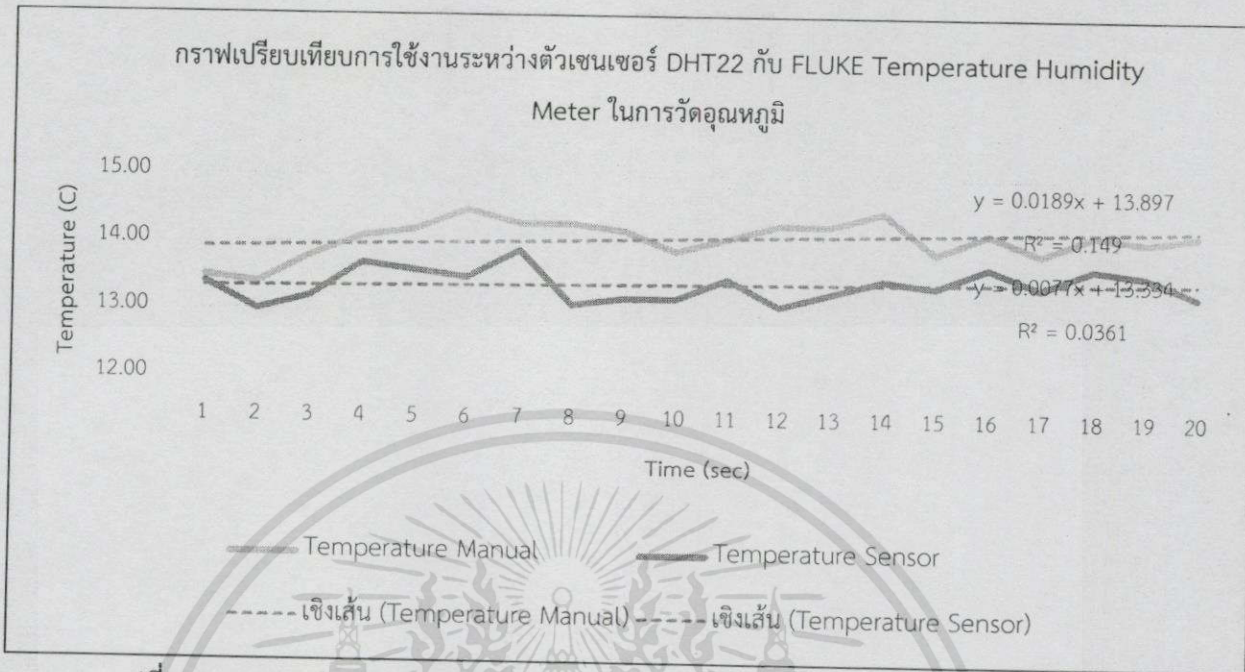
(ง) การวัดที่ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

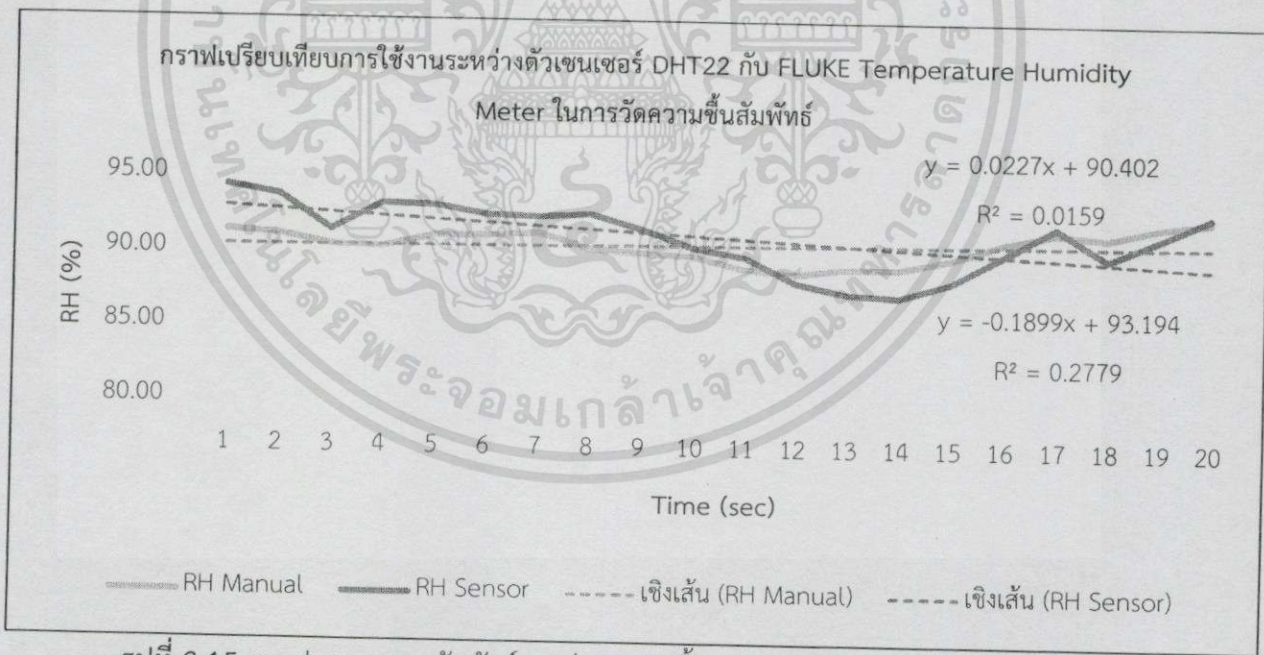
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ DHT22

เวลา (sec)	Temp (°C)		RH (%)	
	FLUKE Temperature Humidity Meter	DHT22	FLUKE Temperature Humidity Meter	DHT22
10	13.50	13.40	91.40	94.40
20	13.40	13.00	91.20	93.80
30	13.80	13.20	90.50	91.50
40	14.10	13.70	90.40	93.30
50	14.20	13.60	91.20	93.20
60	14.50	13.50	91.20	92.60
70	14.30	13.90	91.40	92.50
80	14.30	13.10	90.40	92.70
90	14.20	13.20	90.10	91.70
100	13.90	13.20	89.90	90.50
110	14.10	13.50	89.10	89.90
120	14.30	13.10	88.80	88.20
130	14.30	13.30	89.20	87.50
140	14.50	13.50	89.20	87.30
150	13.90	13.40	89.90	88.30
160	14.20	13.70	91.00	90.20
170	13.90	13.40	91.70	92.10
180	14.20	13.70	91.40	90.00
190	14.10	13.60	92.20	91.40
200	14.20	13.30	92.60	92.90
AVG	14.10	13.42	90.64	91.20
Error (%)	4.82		0.62	
Accuracy (%)	95.18		99.38	
Precision (%)	98.54		98.06	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ (°C) กับ เวลาที่ผ่านมา (วินาที) เปรียบเทียบค่าระหว่างตัวเซนเซอร์ DHT22 เทียบกับ FLUKE Temperature Humidity Meter



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นกระเปาะแห้ง RH(%) กับเวลาที่ผ่านมา (วินาที) เปรียบเทียบค่าระหว่างตัวเซนเซอร์ DHT22 กับ FLUKE Temperature Humidity Meter

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางเก็บผล และกราฟเปรียบเทียบค่า จะเห็นว่า ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จาก ตัวเซนเซอร์ DHT22 มีค่าใกล้เคียงกับ FLUKE Temperature Humidity Meter มาก ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 มาคำนวณค่าประสิทธิภาพ (EER) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้



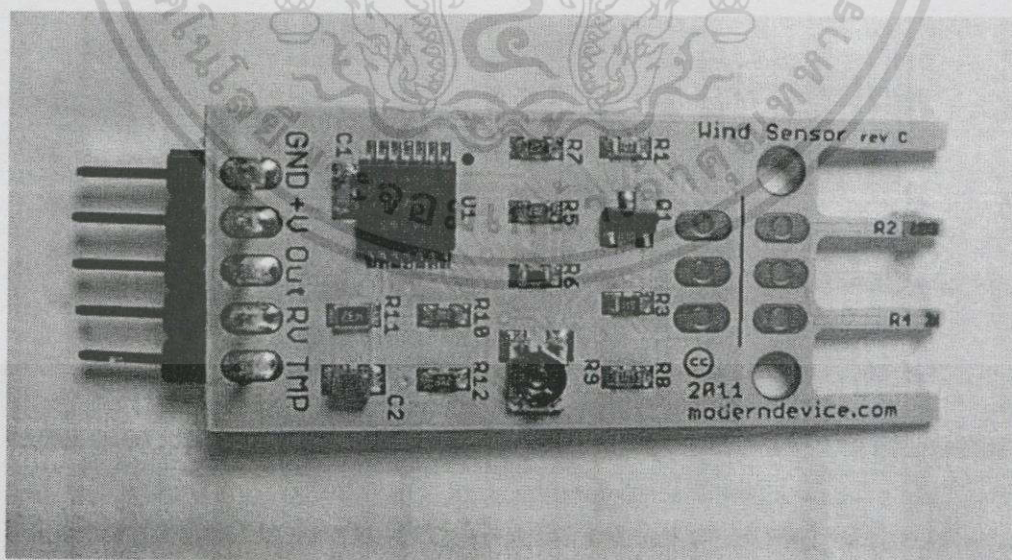
## บทที่ 4

# อุปกรณ์ตรวจสอบความเร็วลมด้วย Wind Sensor

อุปกรณ์ตรวจสอบความเร็วลมเป็นส่วนหนึ่งของการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอย่างมากที่จะต้องค้นหาอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เหมาะสมกับการใช้งาน มีความละเอียดและความแม่นยำ (Accuracy) สูง เซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมคือ Wind Sensor

### 4.1 Wind Sensor

Wind Sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลมประเภท Thermal Anemometer คือใช้หลักการนำความร้อนมาเป็นองค์ประกอบในการวัด ซึ่งแบบการวัดความเร็วลมนี้เรียกว่าแบบ “Hot Wire” มาประยุกต์และพัฒนาให้เข้ากับตัวอุปกรณ์ เนื่องจากตัวอุปกรณ์นั้นมีขนาดเล็กเหมาะสมกับการใช้งานเป็นอย่างดี จึงมีความสะดวกในการทำการติดตั้งตัวเซนเซอร์ลงบนปลายด้านหนึ่งของแผ่นอะลูมิเนียมขนาดความกว้าง 1.4 เซนติเมตร ความยาว 11.43 เซนติเมตร และให้ปลายของแผ่นอะลูมิเนียมอีกด้านติดตัวหนีบเพื่อยึดติดกับใบพัดของเครื่องปรับอากาศ ส่วนขาแต่ละพินของตัว Wind Sensor จะต่อกับคอนเน็คเตอร์ 5 พิน เพื่อให้สามารถติดตั้งลงบน PCB หรือ Bread Board ที่เชื่อมต่อกับ Arduino Board ได้



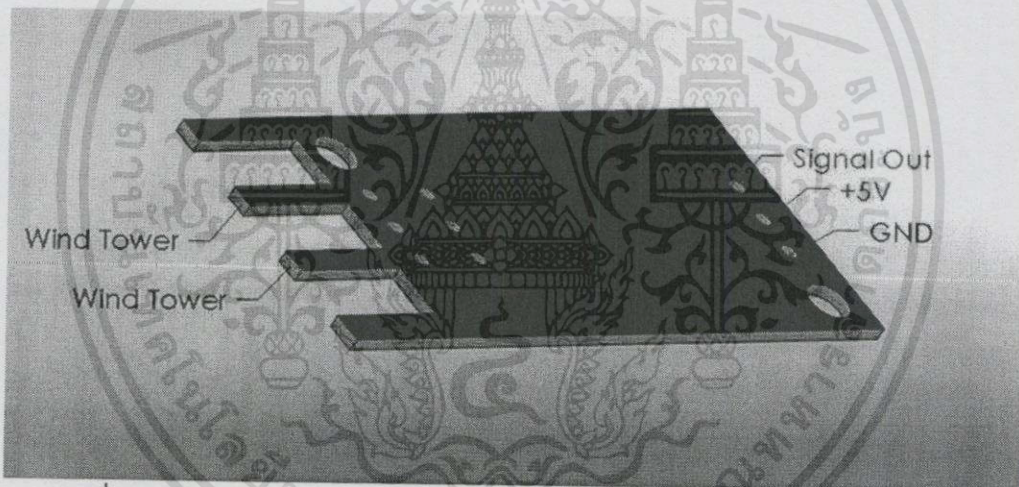
รูปที่ 4.1 Wind Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 หลักการทำงานของ Wind Sensor

หลักการทำงานของอุปกรณ์ Wind Sensor นี้ใช้หลักการแบบ Hot Wire มาประยุกต์ใช้ ซึ่ง Hot Wire เป็นการนำหลักการวัดความสูญเสียความร้อนของลวดที่ถูกทำให้ร้อนโดยใช้ไฟ 5-10V ซึ่งลวดนี้จะเย็นลงเมื่อมีกระแสลมพัดผ่าน อัตราการเย็นลงของลวดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเคลื่อนที่ของกระแสลมที่พัดผ่านเซนเซอร์ ซึ่งหลักการชนิดนี้สามารถตอบสนองการวัดได้อย่างรวดเร็ว ใช้วัดได้ค่าที่ละเอียดมาก และใช้ได้แม้กระทั่งกับกระแสลมที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาๆ แบบ Hot Wire จึงเหมาะกับการวัดความเร็วลมต่ำและความเร็วลมปานกลางคือช่วง 0-40 m/s

Wind Sensor ตัวนี้เหมาะกับการวัดใน indoor ขณะที่แบบ Spinning Cup Anemometers ที่ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยาจะมีประสิทธิภาพละเอียดไม่เท่านี้ และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก ระยะห่างในการวัดระหว่างลมประมาณ 18-24 นิ้ว (เซนเซอร์ตัวนี้สามารถใช้กับเครื่องตรวจจับลมหายใจ, เครื่องมือที่ติดในห้องที่ต้องการตรวจจับคน, HVAC system (ระบบปรับอากาศและทำความเย็น): Heating Ventilation (ระบายอากาศ) & Air Conditioning System, Weather Station ฯลฯ ได้)

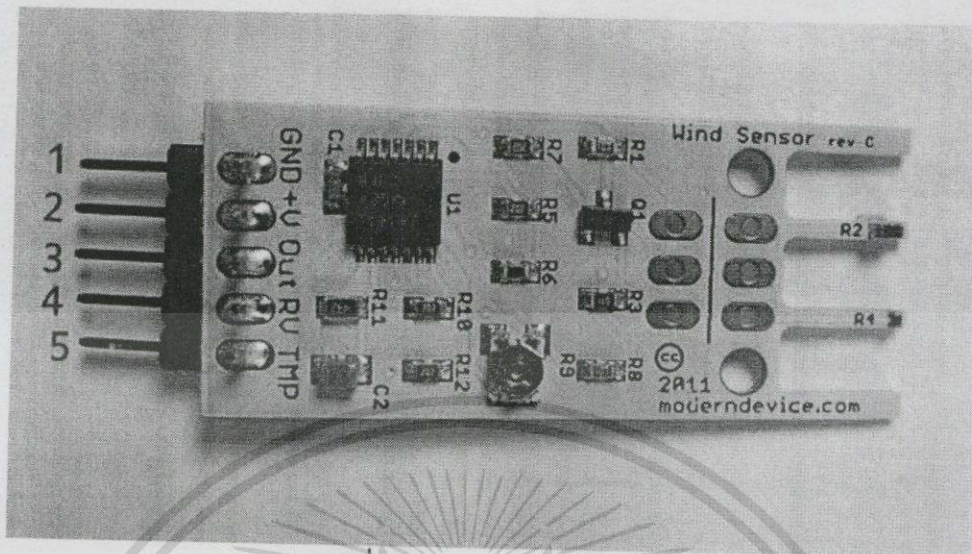


รูปที่ 4.2 แสดงส่วนตรวจจับกระแสลมตามหลักการ Hot Wire ของ Wind Sensor

### 4.2.1 Specification

- ขนาด: 0.68" × 1.590" × 0.25"
- Supply Voltage: 5 – 10 volts
- Supply current: 20 – 40 mA (ขึ้นอยู่กับความเร็วลม)
- ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาในรูปแบบ Analog, 0 ถึง VCC
- มีระยะในการวัดความเร็ว 0-60 miles/hr หรือ 0-26.8224 m/s

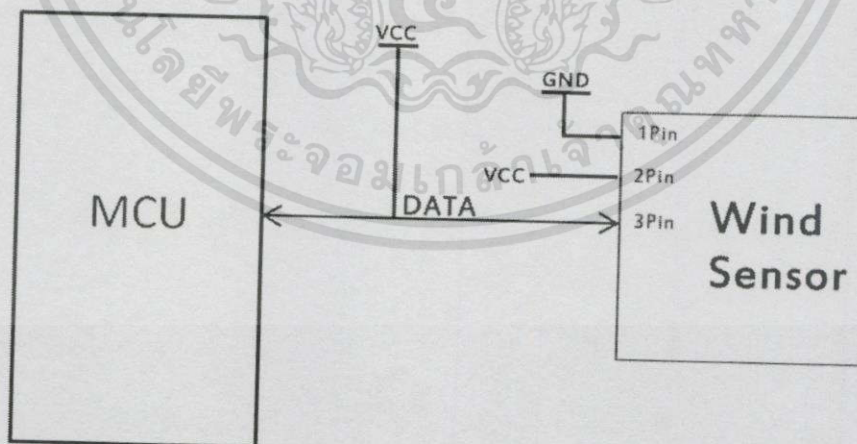
#### 4.2.2 การต่อใช้งานของ Wind Sensor



รูปที่ 4.3 Wind Sensor PINS

Wind Sensor PINS ดังแสดงในรูปที่ 4.3

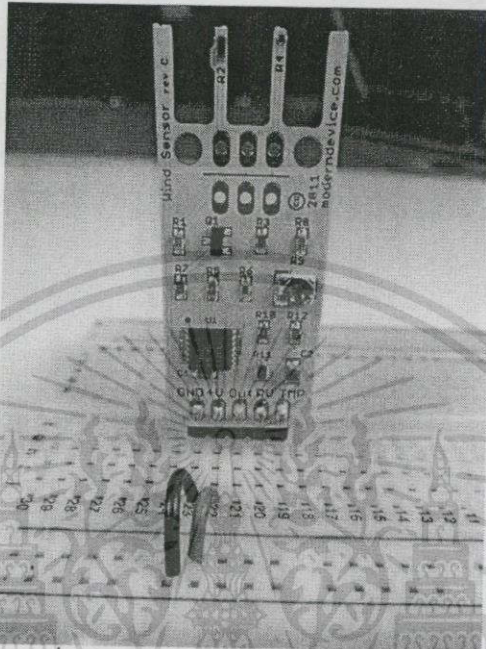
1. Ground
2. Power Supply 5-10 Volt
3. Output Voltage ( $V_{out}$ ) ในรูปแบบ Analog Signal
4. The raw loop voltage
5. Temperature Output (อ่านค่าเป็นแรงดันไฟฟ้า 2.8 โวลต์ที่อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 4.4 การต่อสัญญาณของ Wind Sensor กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

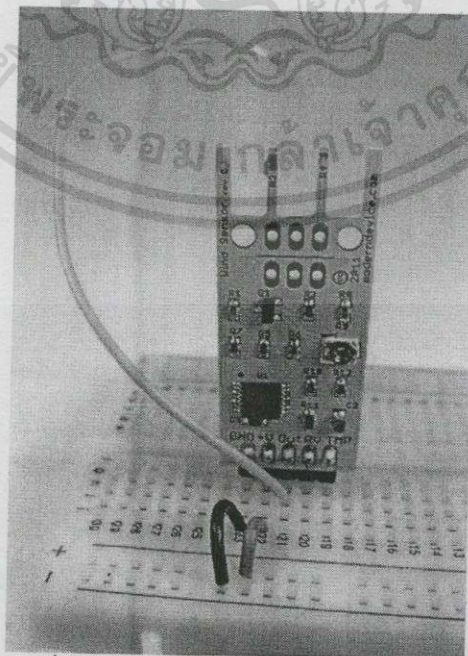
### 4.3 วิธีการทดลองหาค่าความเร็วลม

1. ทำการต่อ Wind Sensor บน Breadboard และจ่ายไฟเลี้ยง 5 โวลต์ให้กับตัวเซนเซอร์ และต่อสาย Ground



รูปที่ 4.5 การทดลองหาค่าความเร็วลม(1)

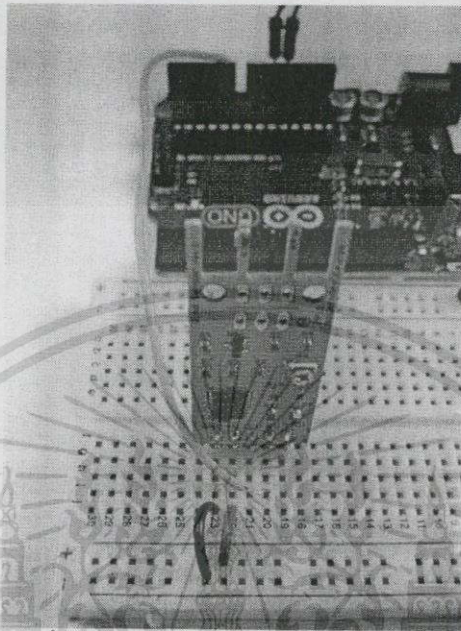
2. ต่อสายสัญญาณเอาท์พุทเพื่อเตรียมพร้อมในการต่อกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ Arduino Board ในการทดลอง



รูปที่ 4.6 การทดลองหาค่าความเร็วลม(2)

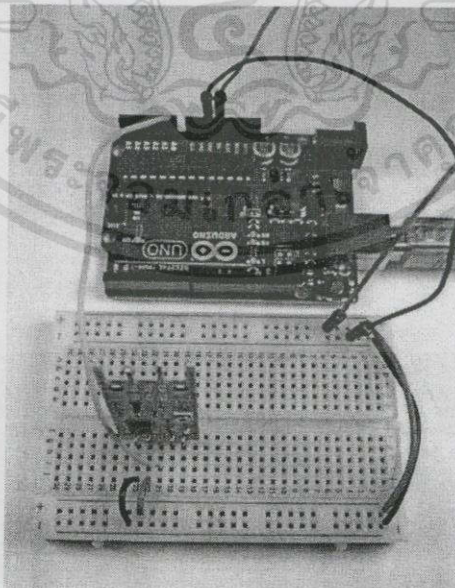
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำสายสัญญาณเอาต์พุตจาก Wind Sensor ไปต่อกับช่องอะนาล็อกอินพุต (A0-A5) ของ Arduino Board



รูปที่ 4.7 การทดลองหาค่าความเร็วลม(3)

4. นำ USB Printer มาต่อที่ Arduino Board เข้ากับช่อง USB ของคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก เพื่อเข้าโปรแกรมของ Arduino และแสดงผลการทดลองวัดความเร็วลม



รูปที่ 4.8 การทดลองหาค่าความเร็วลม(4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

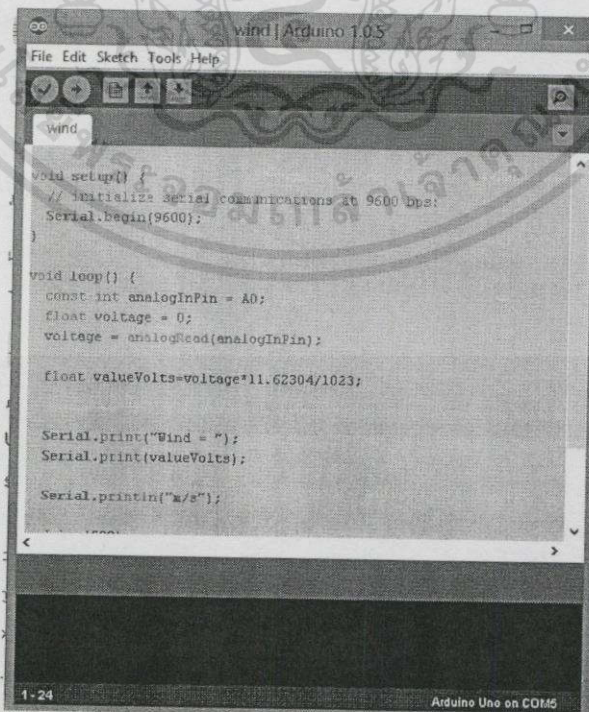
#### 4.4 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล

ในการออกแบบโปรแกรมนี้นี้เป็นการเขียนโปรแกรม Arduino รับค่าความเร็วลมที่วัดได้จากเซนเซอร์ Wind Sensor เพื่อนำผลที่วัดได้ส่งไปคำนวณและแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW

##### 4.4.1 โปรแกรม Arduino

```
void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);
}

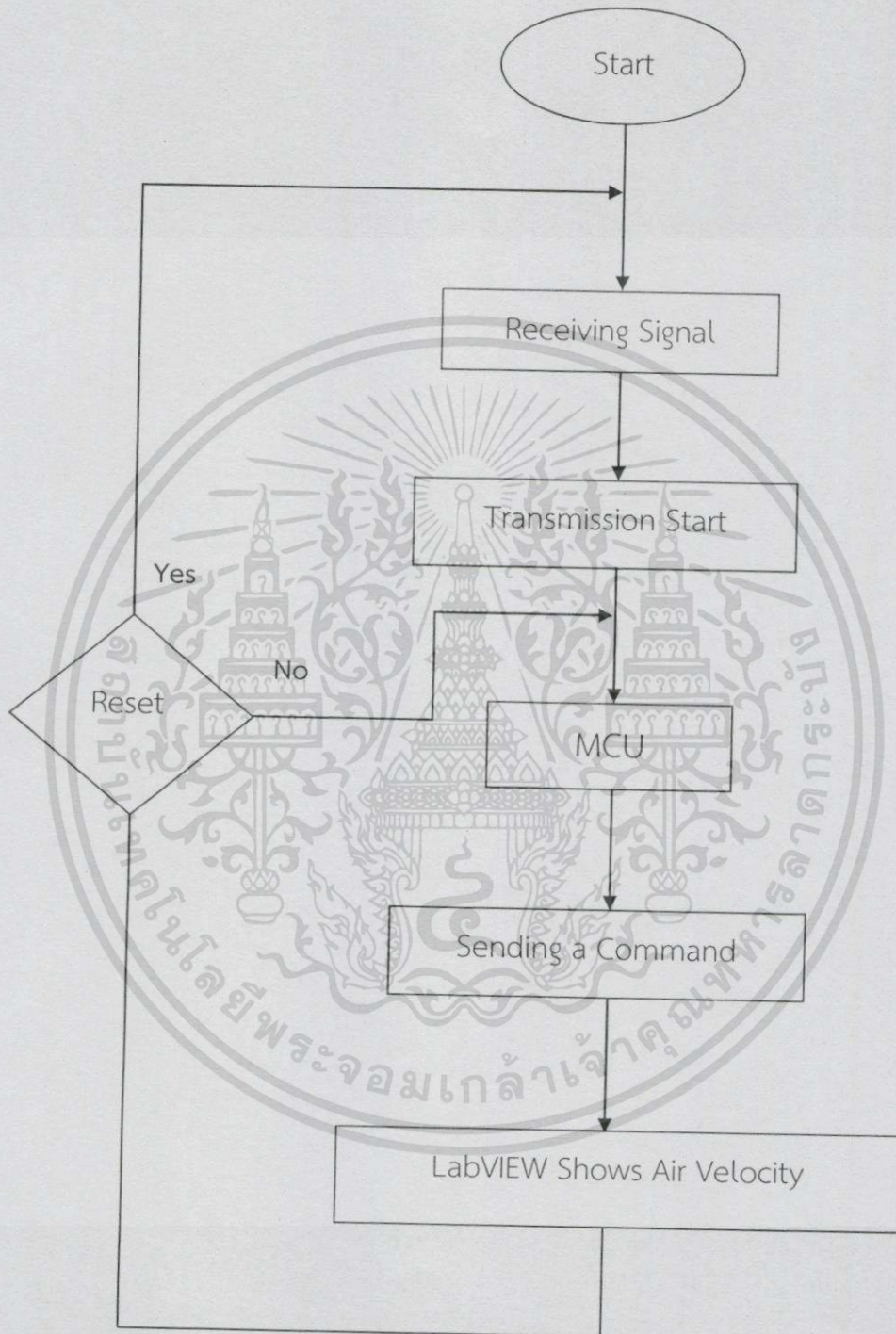
void loop() {
  const int analogInPin = A0;
  float voltage = 0;
  voltage = analogRead(analogInPin);
  float valueVolts=voltage*11.62304/1023;
  Serial.print("Wind = ");
  Serial.print(valueVolts);
  Serial.println("m/s");
  delay(500);
}
```



รูปที่ 4.9 หน้าต่างโปรแกรม Arduino ของตัว Wind Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

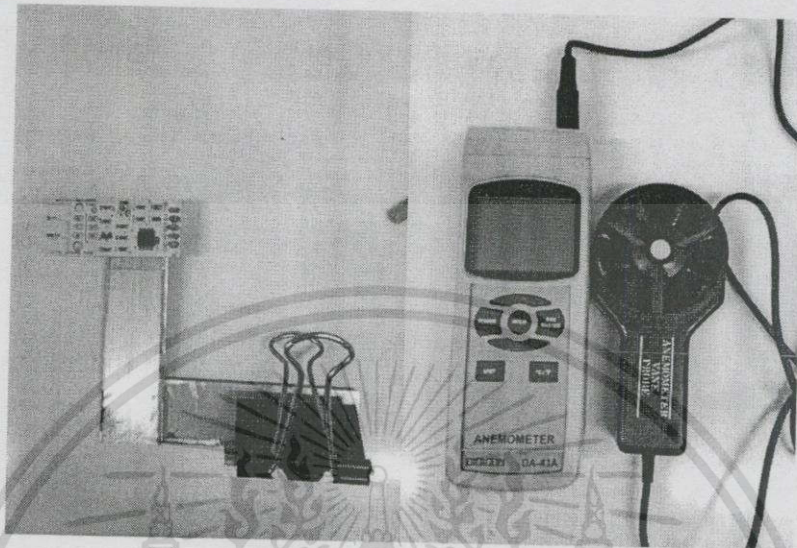
## 4.4.2 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4.10 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ Wind Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การทดลองความแม่นยำในการวัดค่าความเร็วของ Wind Sensor เทียบกับ เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.11 การทดลองความแม่นยำของ Wind Sensor

(ก) Wind Sensor

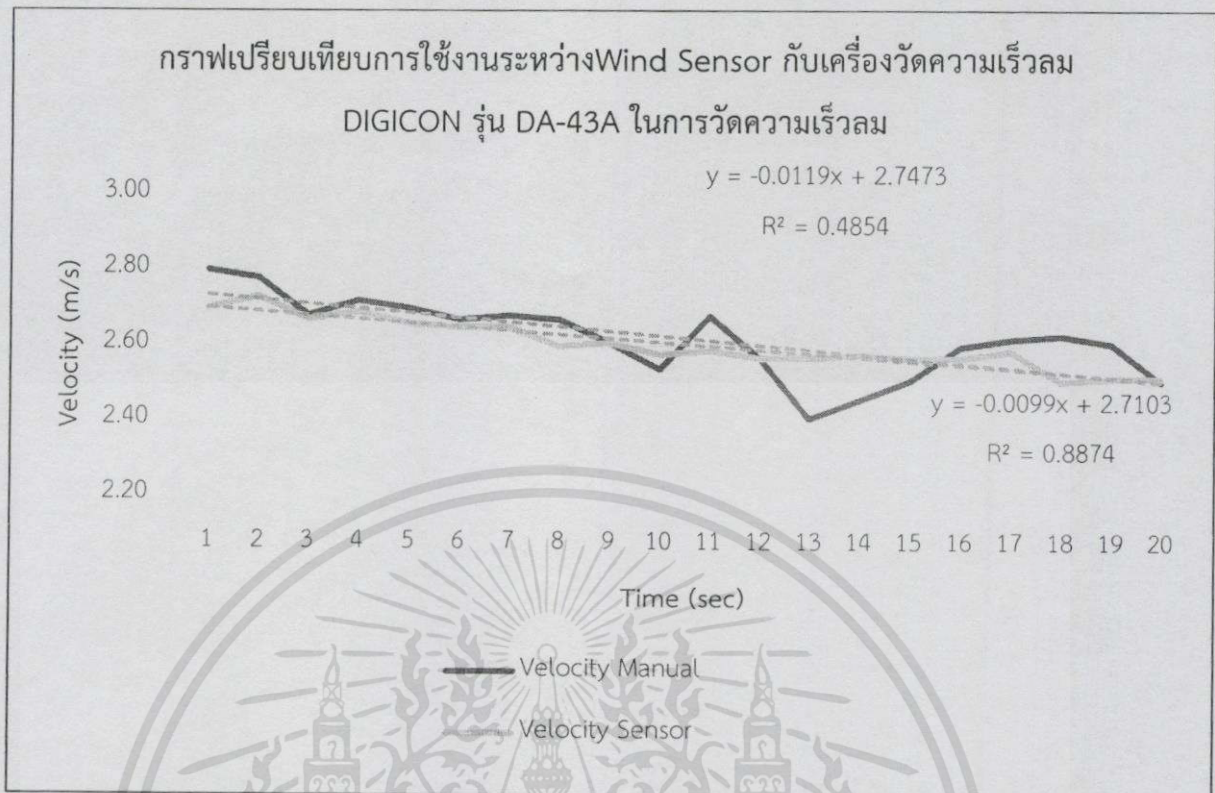
(ข) เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A

(ค) การวัดความเร็วลมที่ด้านหน้าลมจ่าย

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของ Wind Sensor

เวลา (sec)	V (m/s)	
	DA-43A	WIND SENSOR
10	2.80	2.70
20	2.78	2.73
30	2.68	2.67
40	2.72	2.69
50	2.70	2.66
60	2.67	2.65
70	2.68	2.65
80	2.67	2.60
90	2.61	2.61
100	2.54	2.58
110	2.68	2.59
120	2.57	2.57
130	2.41	2.57
140	2.46	2.58
150	2.51	2.57
160	2.60	2.57
170	2.62	2.59
180	2.63	2.51
190	2.61	2.52
200	2.51	2.52
AVG	2.62	2.61
Error (%)	0.61	
Accuracy (%)	99.39	
Precision (%)	98.05	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลม (m/s) กับ เวลาที่ผ่านไป (วินาที) เปรียบเทียบค่าระหว่าง Wind Sensor กับเครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A

#### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางเก็บผล และกราฟเปรียบเทียบค่า จะเห็นว่า ค่าความเร็วลมที่วัดได้จาก ตัว Wind Sensor มีค่าใกล้เคียงกับ เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON รุ่น DA-43A มาก ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความเร็วลมที่วัดได้จาก Wind Sensor มาคำนวณค่าประสิทธิภาพ (EER) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้

## บทที่ 5

# เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

การเลือกเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์เพื่อนำมาใช้วัดกำลังไฟฟ้า ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเครื่องทำความ-เย็นในงานวิจัยนี้ จะต้องเลือกให้เหมาะกับแบบมอเตอร์เฟสเดียว และค่าที่วัดได้จะต้องเป็นแบบ TRUE RMS เพื่อความแม่นยำในการคำนวณหาประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้เลือก KWH METER FOR APARTMENT จากบริษัท SME INTERNATIONAL CO.,LTD มาใช้

### 5.1 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์

วัตต์มิเตอร์ [15] ส่วนใหญ่เป็นเครื่องวัดที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อวัดปริมาณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งในบ้านเรือน และในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (KWH) สามารถแยกประเภทตามระบบไฟฟ้าได้ 2 ประเภท ดังนี้

- วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส (Single Phase Watt-Hour Meter) → ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้
- วัตต์มิเตอร์ 3 เฟส (Three Phase Watt-Hour Meter)

จะพิจารณาที่เป็น เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า 1 เฟส (เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 2 สาย นั่นก็คือ ไฟฟ้าที่เราใช้กันทั่วไปตามบ้านเรือน) เท่านั้น แต่ถ้าเป็นระดับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ ใช้กำลังไฟสูง จะต้องใช้ เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า 3 เฟส (เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 380/220 โวลต์ 4 สาย) ซึ่งจะเกินขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้

### 5.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดที่ได้ค่าแบบ RMS กับ True RMS [14]

#### 5.2.1 ปัญหาที่พบเจออยู่บ่อยครั้ง

สำหรับการทำงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในโอกาสต่างๆ อุปกรณ์กลุ่มหนึ่งที่ไม่สามารถขาดได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ นั่นก็คือเครื่องมือวัด (instrument) เช่น Volt Meter (เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า) หรือ Amp Meter (เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า) เป็นต้น แต่ปัญหาที่บุคลากรทางไฟฟ้ามักประสบอยู่บ่อยครั้ง นั่นคือค่าที่ได้จากการวัดไม่สมเหตุสมผลกับความเป็นจริง เช่น พบว่าสายไฟร้อนผิดปกติทั้งๆที่เมื่อตรวจวัดกระแสด้วย Amp Meter แล้วไม่พบว่ามีการใช้กระแสเกินพิกัดใช้งานของสายไฟ หรืออาจจะพบว่าเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าวัดแรงดันได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นอยู่ถึง 40% โดยไม่ทราบสาเหตุ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ อาจเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัด ที่ไม่ได้ใช้การวัดแบบ True RMS

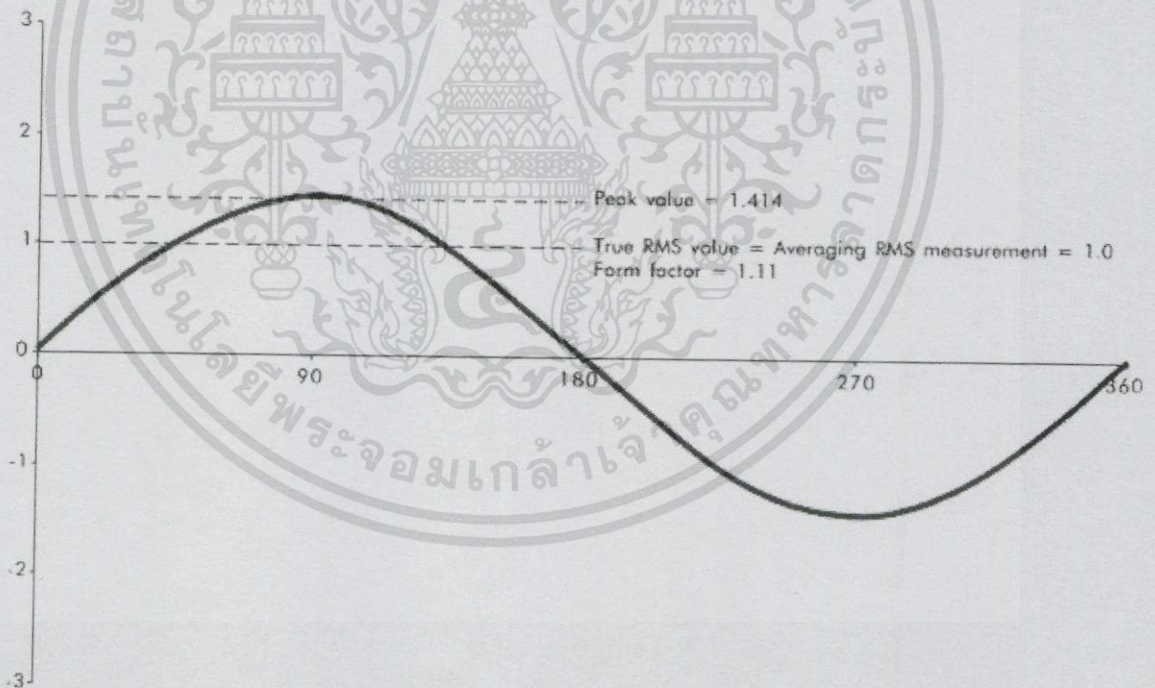
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 ค่า RMS

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันตลอดเวลาตามคาบของเวลา ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องมีการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สมการ RMS (Root Mean Square) เพื่อให้มีค่าที่สัมพันธ์กับปริมาณความร้อนหรือค่าพลังงานที่กระทำต่อภาระทางไฟฟ้า (Load) ชนิดตัวต้านทาน โดยทั่วไปแล้วสำหรับสัญญาณแบบคลื่น Sine แท้ (Pure Sine) จะมีค่าของ RMS เป็น 0.707 เท่าของแรงดันสูงสุดของคลื่น Sine (Peak) หรือแรงดันต้นสูงสุดของคลื่น Sine จะมีค่าเป็น 1.414 ของแรงดัน RMS เช่นคลื่น Sine วัดค่ากระแสสูงสุดได้ 1 Amp ก็จะมีกระแส RMS เท่ากับ 0.71 Amp โดยสามารถศึกษาความสัมพันธ์ได้จากสมการนี้

$$\text{Peak factor} = \frac{\text{Peak value}}{\text{RMS value}} = 1.414 \quad (5.1)$$

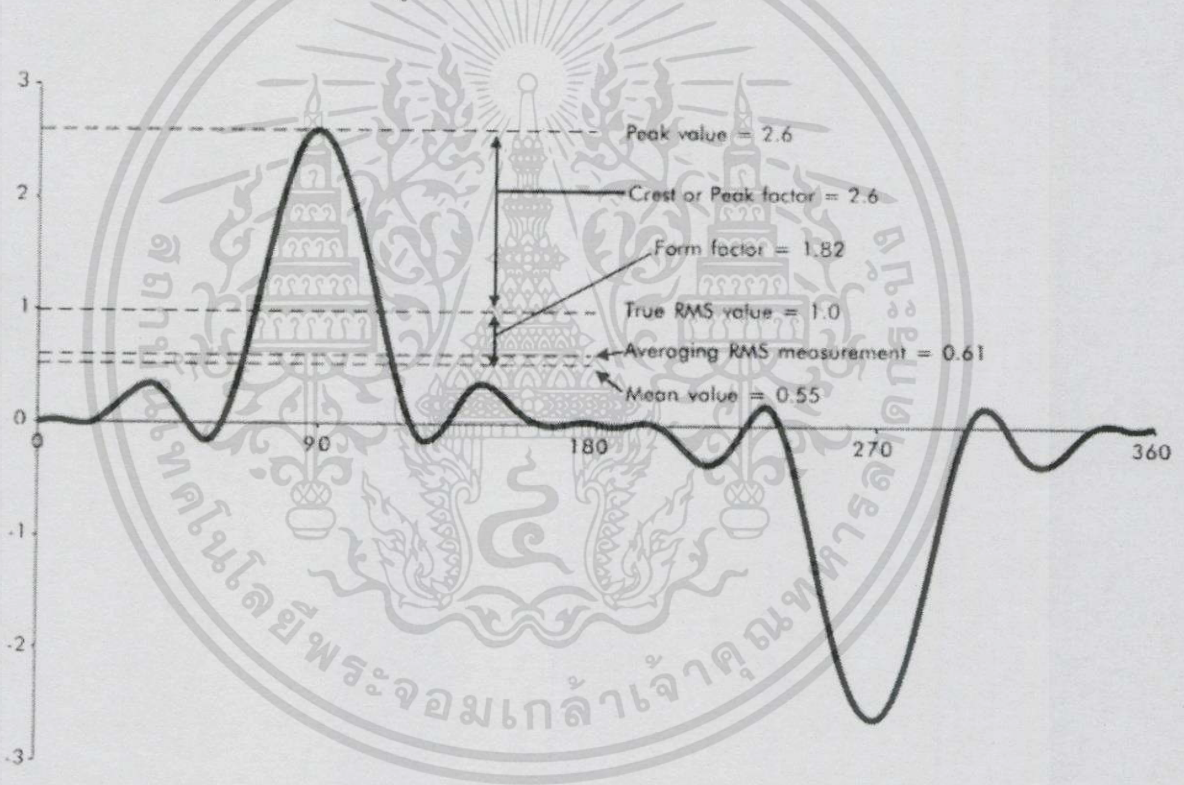
$$\text{Form factor} = \frac{\text{RMS value}}{\text{Mean value}} = 1.111 \quad (5.2)$$



รูปที่ 5.1 สัญญาณแบบคลื่น Sine แท้

### 5.2.3 ความสำคัญของการวัดค่าได้แบบ True RMS





อย่างที่ทราบแล้วว่าในการวัดแบบ RMS นั้นในกรณีของสัญญาณแบบ Sine สามารถที่จะวัดระดับแรงดันบริเวณจุดที่สูงสุดของแรงดันแล้วนำมาคูณเข้ากับ 0.707 เพื่อให้ได้ค่าของ RMS ออกมาได้ อย่างถูกต้อง ซึ่งค่าที่ถูกต้องนี้จะสัมพันธ์ถึงพลังงานที่แท้จริงของสิ่งนั้นๆ เช่นสัมพันธ์กับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น สัมพันธ์กับกำลังงานที่เกิดขึ้น เป็นต้น แต่ในโลกแห่งความจริงแล้วสัญญาณที่เป็นคลื่น Sine แท้ (Pure Sine) นั้นจะพบได้เพียงในภาวะไฟฟ้าบางประเภทเท่านั้น เช่น หลอดไฟแบบไส้ หรือภาระทางไฟฟ้าอื่นๆที่เป็นชนิดตัวต้านทานในกรณีของภาระทางไฟฟ้าชนิดอื่นๆเช่น ขดลวดไฟฟ้า พัดลม หม้อแปลง และอื่นๆ สัญญาณที่ได้จะไม่เกิดเป็นรูป sine แต่จะเกิดเป็นสัญญาณรูปอื่นๆที่ยากจะคาดเดาขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำเอาแรงดันสูงสุดของคลื่นมาคูณด้วย 0.707 เพื่อหาค่า RMS ได้



รูปที่ 5.2 สัญญาณที่เกิดจากเพาเวอร์ซัพพลายคอมพิวเตอร์ (ไม่ใช่ Pure Sine)

อย่างไรก็ดีเครื่องมือวัดที่ไม่ได้เป็นแบบ TRUE RMS นั้นจะใช้วิธีการวัดแบบ average-rectified โดยเครื่องมือวัดจะสนใจเพียงแรงดันที่จุดยอดเท่านั้นและนำมาคูณเข้ากับ 0.707 เพื่อนำไปแสดงผล ทำให้ในกรณีที่สัญญาณที่เกิดขึ้นไม่ใช่สัญญาณแบบ sine เครื่องมือวัดแบบ TRUE RMS นั้นจะให้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง Meter แบบธรรมดา และแบบ True RMS

Multimeter type	Response to sine wave	Response to square wave	Response to single phase diode rectifier	Response to 3 $\phi$ diode rectifier
				
Average responding	Correct	10 % high	40 % low	5-30 % low
True-rms	Correct	Correct	Correct	Correct

ซึ่งค่าการวัดที่ผิดพลาดนี้จะทำให้ค่าที่วัดได้นั้นไม่สัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่แท้จริงที่เกิดขึ้น เช่น ในวงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่งเครื่องมือวัดแบบไม่ใช่ True RMS วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 100A แต่พบปัญหาว่าเกิดความร้อนเป็นปริมาณเทียบเท่ากับพลังงาน 150A จนทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในระบบโดยไม่สามารถตรวจวัดเจอได้ในเครื่องมือวัดแบบไม่ใช่ True RMS เป็นต้น ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการวัดแบบ Average-Rectified (ไม่ใช่ True RMS) นั้นจะเป็นการวัดที่แรงดันเพียงจุดเดียว จึงทำให้เกิดการวัดที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงและสามารถวัดได้เพียงสัญญาณ Pure Sine เท่านั้น โดยที่การวัดแบบ True RMS สามารถที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้ โดยอุปกรณ์จะออกแบบให้มีการพิจารณาแรงดันทั้งลูกคลื่น (ทั้ง Cycle) แล้วนำมาเข้าสมการ RMS ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถหาระดับแรงดัน True RMS ได้ถูกต้องในทุกชนิดของสัญญาณ

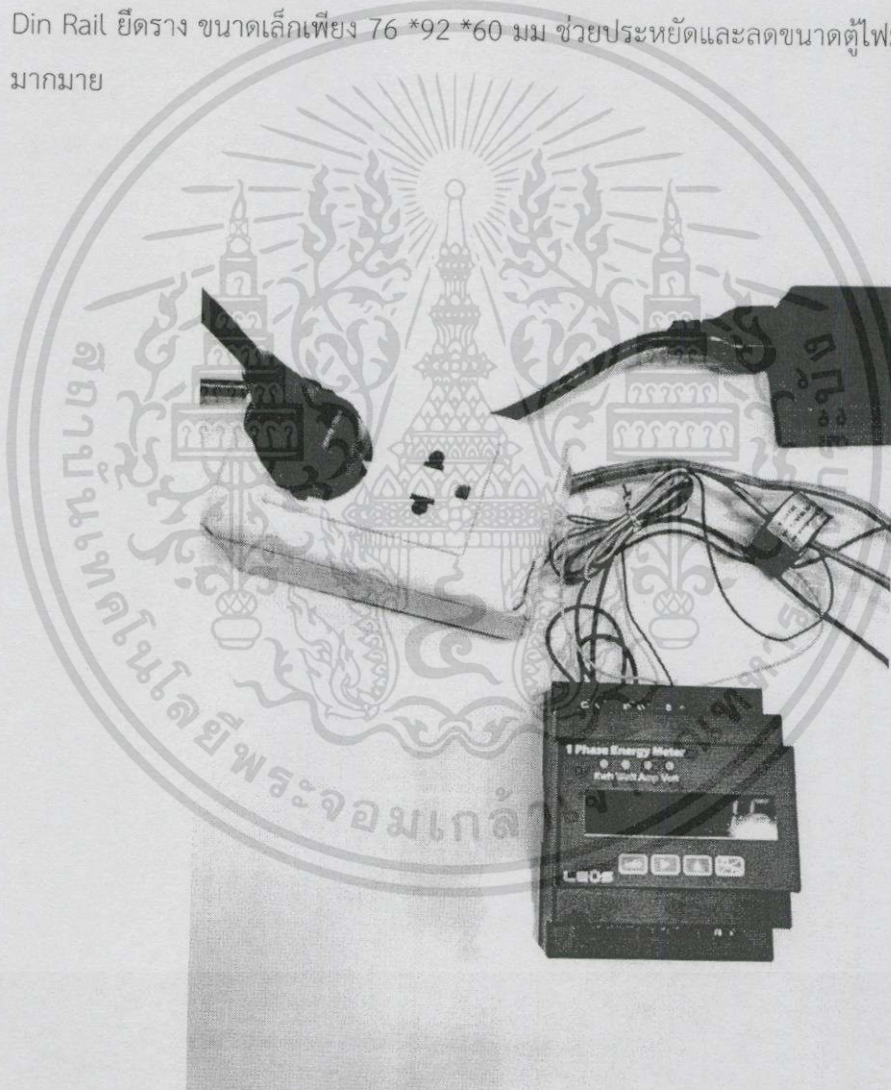
#### 5.2.4 สรุป

การวัดแบบ TRUE RMS นั้นมีความได้เปรียบกว่าการวัดที่ไม่ใช่ True RMS คือสามารถที่จะวัดสัญญาณได้อย่างถูกต้องในทุก Wave Form ในขณะที่การวัดแบบไม่ใช่ True RMS นั้นจะให้ค่าการวัดที่ถูกต้องใน Wave Form แบบ Pure Sine เท่านั้น ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้ จากข้อมูลที่ผิดพลาดที่ได้รับจากเครื่องมือวัด

### 5.3 รายละเอียดของวัตต์มิเตอร์

- Product of Thailand , Brand: LEOS ( ลีออส )
- KWH Meter for Apartment
- ราคาถูก

- ออกแบบเพื่อ บ้าน /ห้องเช่า/ อพาร์ทเมนต์เซอร์วิส
- วัดด้วยความแม่นยำ ระดับ 0.5%
- วัดค่า KWH, KW, Amp ,Volt แบบ True RMS
- รองรับการต่อ RS485 Network Modbus RTU Protocol
- สามารถตรวจจับขนาดกระแสต่ำตั้งแต่ระดับ 30mA
- มาพร้อมกับ CT ขนาด 20A โดยสามารถคล้องที่ตู้ LOAD CENTER ได้เลย
- Din Rail ยึดราง ขนาดเล็กเพียง 76 \*92 \*60 มม ช่วยประหยัดและลดขนาดตู้ไฟมิเตอร์ได้มากมาย



รูปที่ 5.3 วัดตมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.1 ตัวอย่างการใช้งาน

วัดค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดไฟ LED โดยให้แสดงค่าเป็น mili-Amp และ mili-Watt

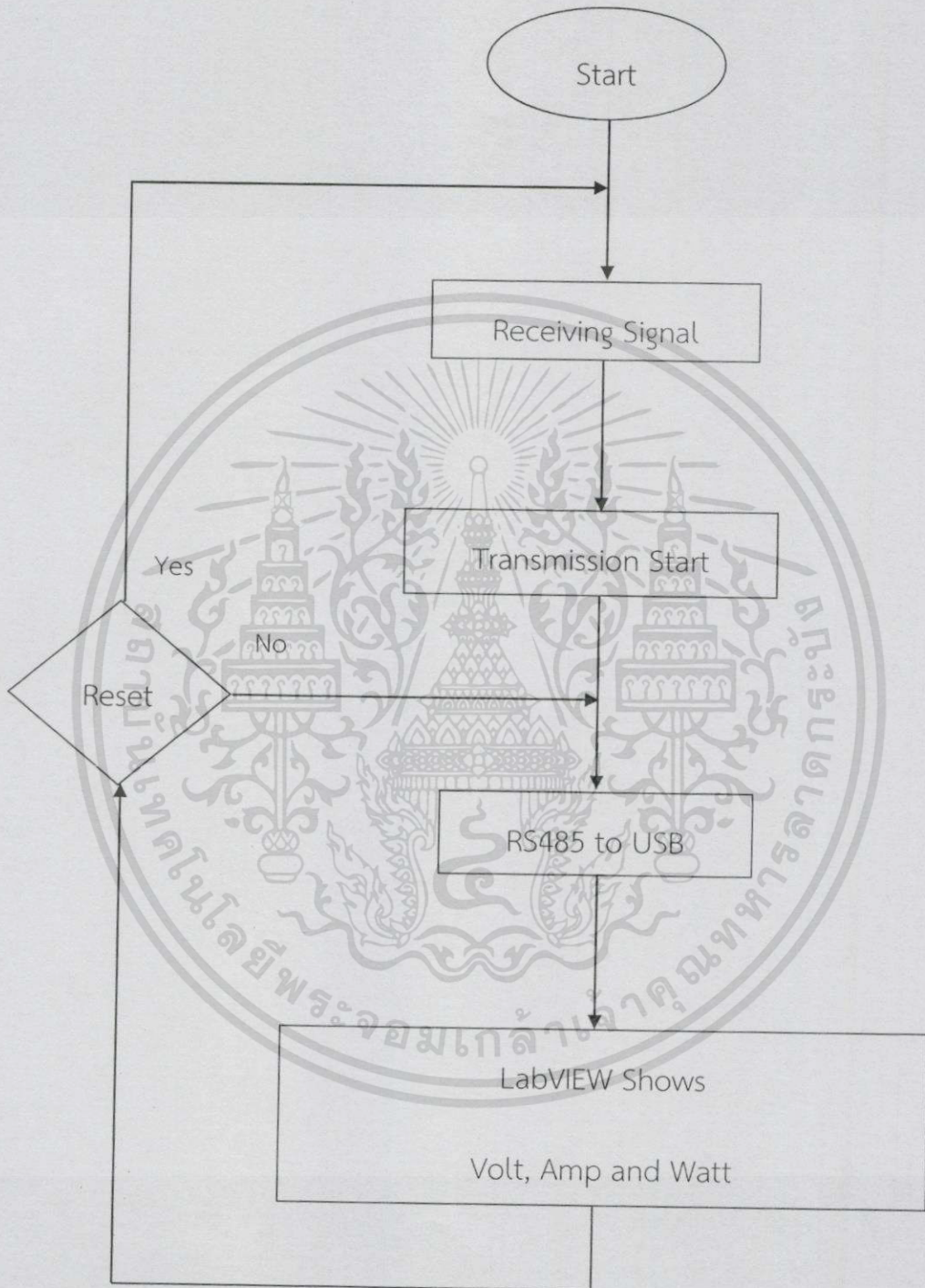
**หมายเหตุ** ใช้งานร่วมกับ CT ภายนอกขนาด 20Amp ชนิดภายในพัน 2500 รอบ จะได้เอาท์พุทที่ 8mA(20/2500) มาต่อเข้ากับมิเตอร์

กรณีใช้ CT xxx/mA 2500 Turn ภายนอก ---> ให้ใส่ค่า CT= 5 ในรุ่นนี้ทาง LEOS มี CT ประเภทนี้อยู่ 3 ขนาดให้เลือกใช้ คือ ขนาด 20A , 50A , 100A Accuracy 0.2 ทั้ง 3 รุ่นพัน 2500 รอบด้าน Secondary อยู่ภายใน ดังนั้น รุ่น 20A/2500--> I2 = 8mA, รุ่น 50A/2500--> I2 = 20mA, รุ่น 100A/2500--> I2 = 40mA ดังนั้นถ้าต้องการวัดค่าที่มีความแม่นยำสูง ไม่เกิน 100 A ให้เลือกรุ่นนี้

ในกรณีนี้ โดยปกติจะตั้งค่าตัวแปร CT = 5 แต่ว่ากระแสไหลต่ำมาก เป็นระดับ mA เราสามารถเพิ่มความละเอียดในการวัด ด้วยการพัน สายด้าน Primary ของ CT จาก 1 รอบเป็น 5 รอบ ดังนั้นค่าตัวแปร CT จากเดิม คือ 5 จึงเปลี่ยนเป็น = 1 หน่วยเป็น Amp แต่ถ้าต้องการให้หน้าจอแสดงผล จาก Amp เป็น mili-Amp แทน ให้ใช้เทคนิค  $\times 1000$  เข้าไป ดังนั้นให้ตั้งค่าตัวแปร CT ในมิเตอร์ จากเดิมคือ 1 เปลี่ยนเป็น 1000 (กรณีพัน Primary 5 รอบ ) หรือเป็น 5000 กรณีพัน Primary 1 รอบ

- การแสดงผลที่หน้าจอจะแสดงค่ากระแส หน่วยเป็น mA ช่วง 0.000 - 999.999 มิลลิแอมป์
- การแสดงผลที่หน้าจอจะแสดงค่ากำลังไฟฟ้า หน่วยเป็น mW ช่วง 0 - 999999 มิลลิ-วัตต์
- การแสดงผลที่หน้าจอจะแสดงค่าพลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น WH ช่วง 0 - 999999 วัตต์-ชั่วโมง

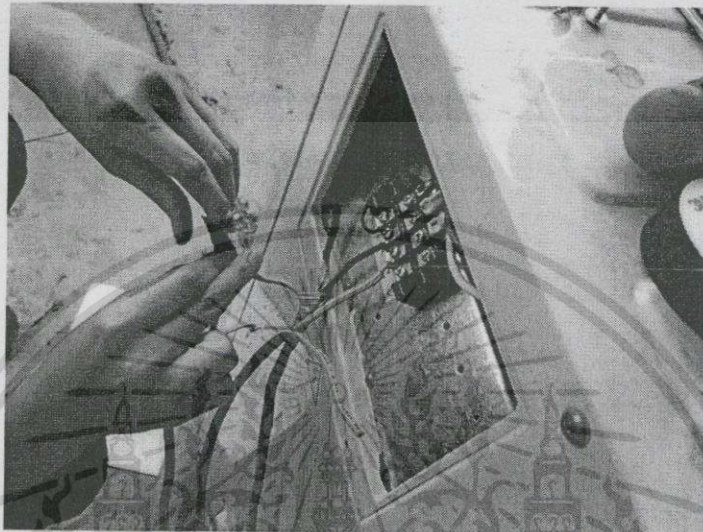
## 5.4 FLOW CHART การทำงานของวัตต์มิเตอร์



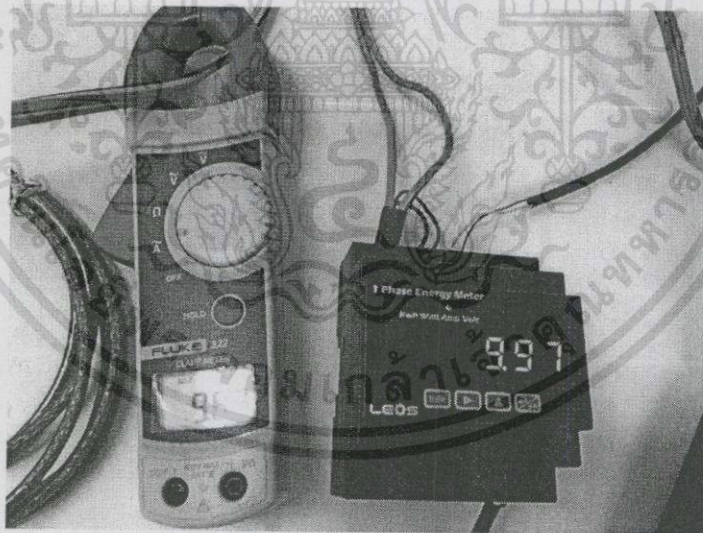
รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ KWH METER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5 การทดสอบความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้าของ WATT METER เมื่อเปรียบเทียบกับ FLUKE CLAMP



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.5 การทดสอบความแม่นยำของวัตต์มิเตอร์

(ก) ต้องจิ้มสายไฟที่ตัวคอมเพรชเซอร์

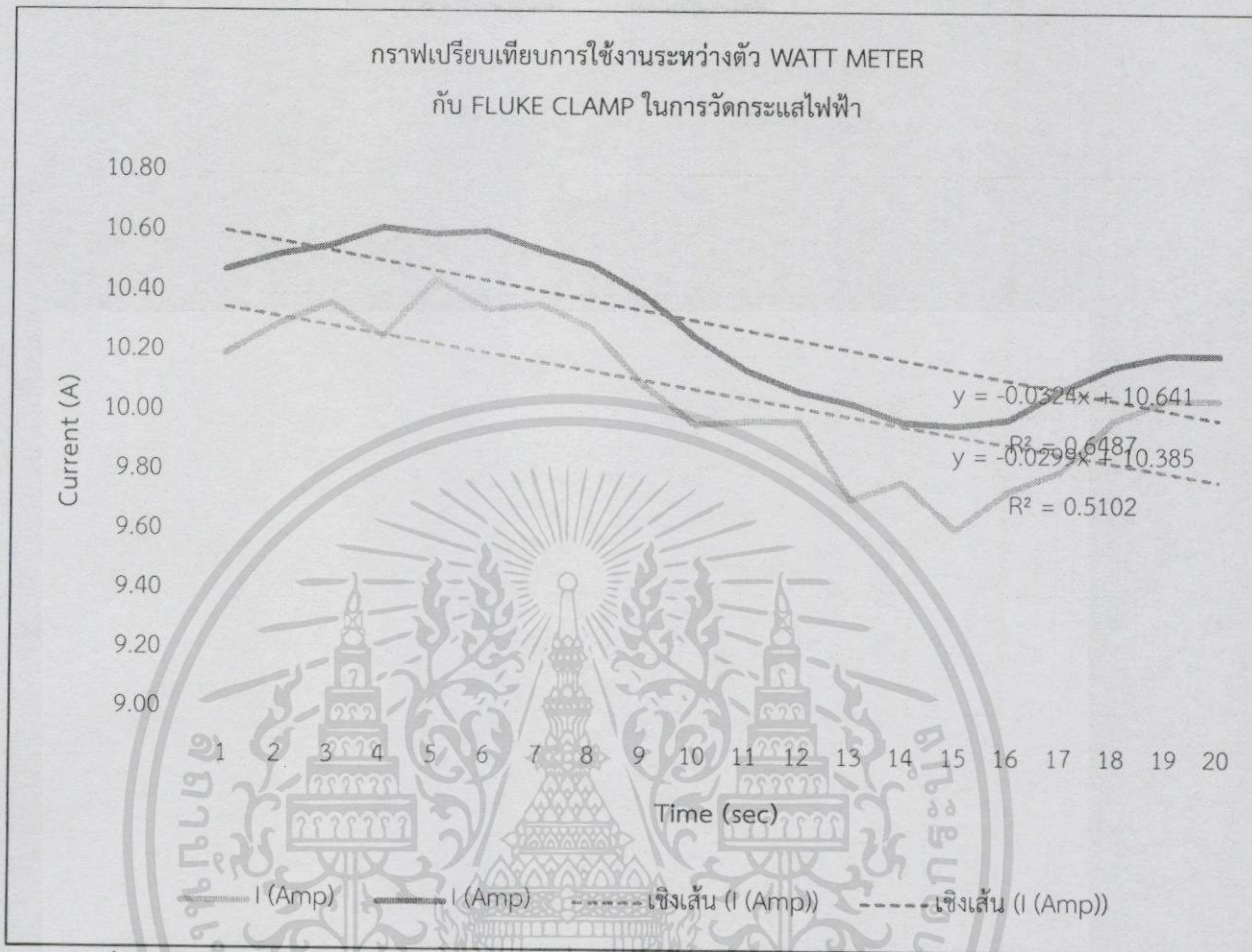
(ข) ตัวซ้าย คือ FLUKE CLAMP และตัวขวา คือ WATT METER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์

เวลา (sec)	I (Amp)	
	FLUKE CLAMP	WATT METER
10	10.20	10.48
20	10.30	10.53
30	10.37	10.56
40	10.26	10.62
50	10.45	10.60
60	10.35	10.61
70	10.37	10.55
80	10.29	10.50
90	10.10	10.40
100	9.97	10.26
110	9.98	10.15
120	9.98	10.08
130	9.72	10.04
140	9.78	9.98
150	9.62	9.97
160	9.75	9.99
170	9.82	10.09
180	9.99	10.17
190	10.06	10.21
200	10.06	10.21
AVG	10.07	10.30
Error (%)	2.27	
Accuracy (%)	97.73	
Precision (%)	97.91	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) กับ เวลาที่ผ่านไป (วินาที) เปรียบเทียบค่าระหว่าง WATT METER กับ FLUKE CLAMP

#### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางเก็บผล และกราฟเปรียบเทียบค่า จะเห็นว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก ตัว กิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์ มีค่าใกล้เคียงกับ เครื่องมือวัด FLUKE CLAMP มาก ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก กิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์ มาคำนวณค่าประสิทธิภาพ (EER) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้

## การเขียนโปรแกรมการคำนวณ

ในส่วนของโปรแกรมคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ทางผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม LabVIEW [11] เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม (LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม) ดังนั้น จุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้อีกคือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายจึงมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ และที่สำคัญลักษณะของภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้นี้เป็น “ภาษารูปภาพ” หรือเรียกอีกอย่างว่า “ภาษา G (Graphical Language)” ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราค้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น ภาษา C, Visual Basic ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ทำให้มีความเหมาะสมสะดวก และสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม สำหรับโปรแกรมที่เราได้เขียนขึ้นนั้น เป็นโปรแกรมการคำนวณพื้นฐานและส่งค่าที่วัดและคำนวณได้ออกไปเก็บที่ Microsoft Excel ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

### 6.1 ขอบเขตของการออกแบบโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น [15]

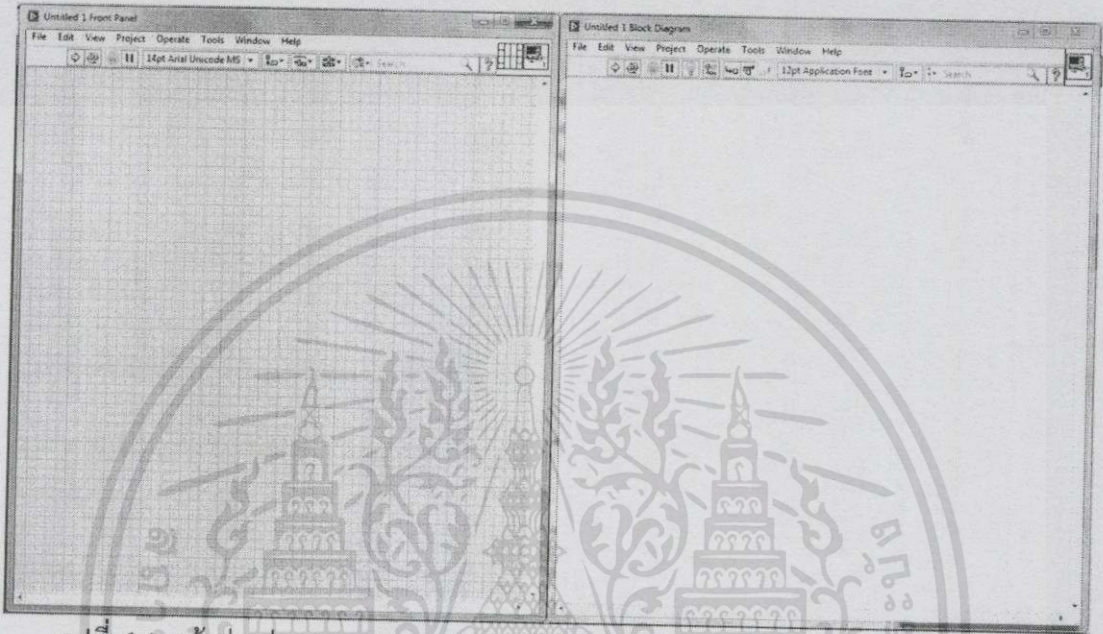
ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโปรแกรมโดยมีการกำหนดขอบเขตเอาไว้ ดังนี้

1. ต้องการให้โปรแกรมทำอะไรบ้าง
2. ลักษณะของข้อมูลที่เข้ามาในโปรแกรม (input specification) ว่าทำการรับข้อมูลอย่างไร ข้อมูลเป็นชนิดใด
3. ลักษณะของรูปแบบผลลัพธ์ (output specification) ว่ามีการแสดงผลทางหน้าจอเป็นรูปร่างอย่างไรโดยคำนึงถึงผู้ใช้เป็นหลักในการออกแบบโปรแกรม
4. กำหนดวิธีการประมวลผล (Process Specification) ว่าจะให้โปรแกรมประมวลผลอย่างไรจึงได้ผลลัพธ์ตามต้องการ โดยต้องวางแผนวิธีการคิดต่าง ๆ และนำมาเรียงเป็นลำดับให้ถูกต้องเพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ

ในส่วนของโปรแกรมที่ผู้วิจัยต้องการคือคำนวณค่าความสามารถทำความเย็น (Q) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) ระดับ(เบอร์)แสดงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก.1155-2536 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปต่อเดือนและต่อปี

## 6.2 ฟังก์ชันเครื่องมือต่างๆที่ใช้งาน

ทางผู้วิจัยทำการเรียนรู้ฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรมก่อนเพื่อให้ง่ายและสะดวกในการทำ ความเข้าใจและการเริ่มเขียนโปรแกรม



รูปที่ 6.1 หน้าต่างส่วน Front Panel และส่วน Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

6.2.1 ฟังก์ชันการคำนวณค่าต่างๆที่ต้องการและฟังก์ชันการเปรียบเทียบระดับ (เบอร์) ตามมาตรฐาน มอก.1155-2536

จากการออกแบบโปรแกรมเราใช้สมการคำนวณต่างๆมาเป็นต้นแบบในการประยุกต์เป็น ฟังก์ชันการบวก ลบ คูณ หาร เพื่อให้ได้ตามสมการ และทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดชนิดของตัวแปร จากสมการ

ความสามารถทำความเย็น (Q)

$$Q = \frac{3.968V}{4.18V} (h_r - h_s) \quad (6.1)$$

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

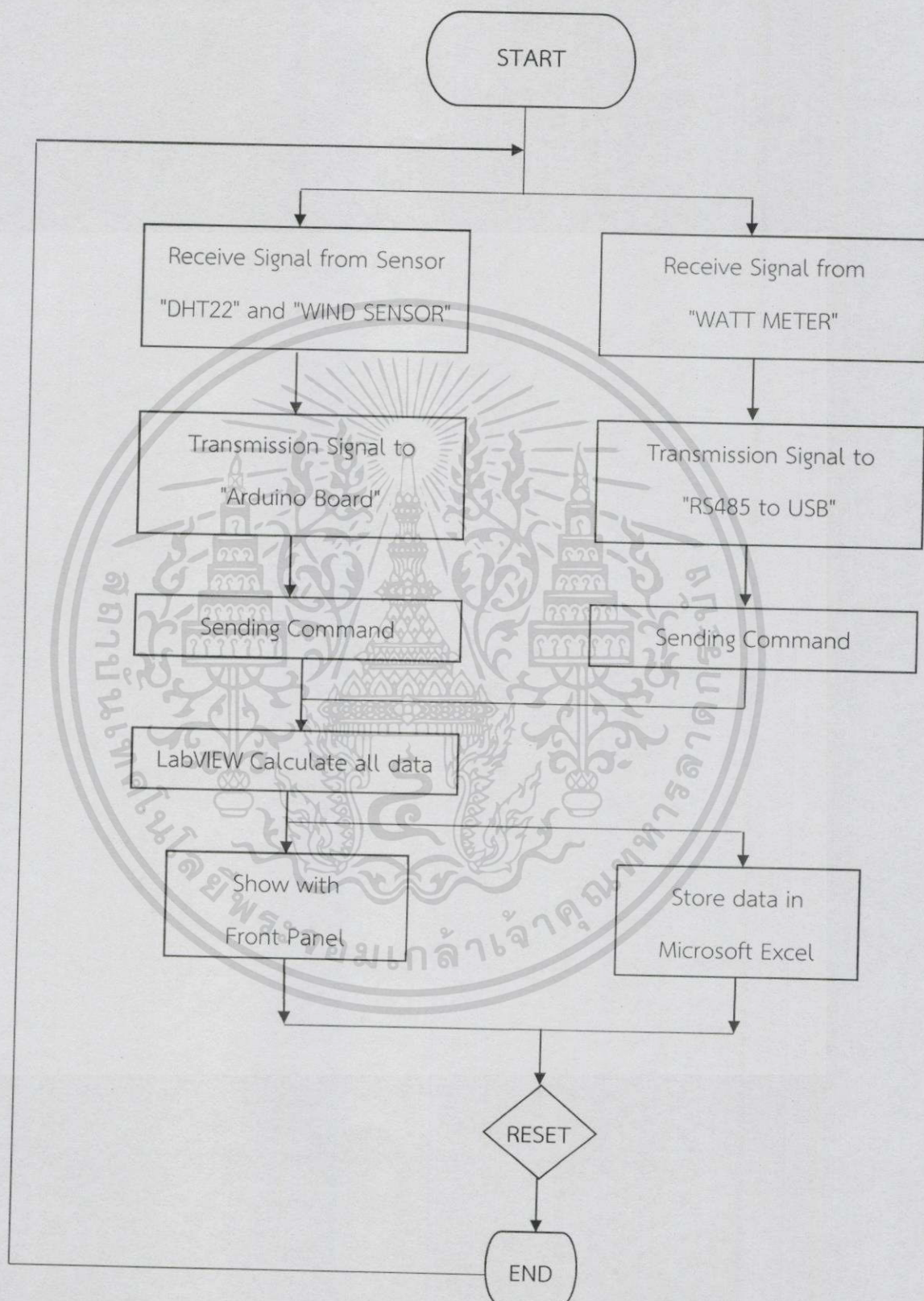
$$COP = \frac{Q}{3.41266P_e} \quad (6.2)$$

อัตราส่วนประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER)

$$EER = \frac{Q}{P_e} \quad (6.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

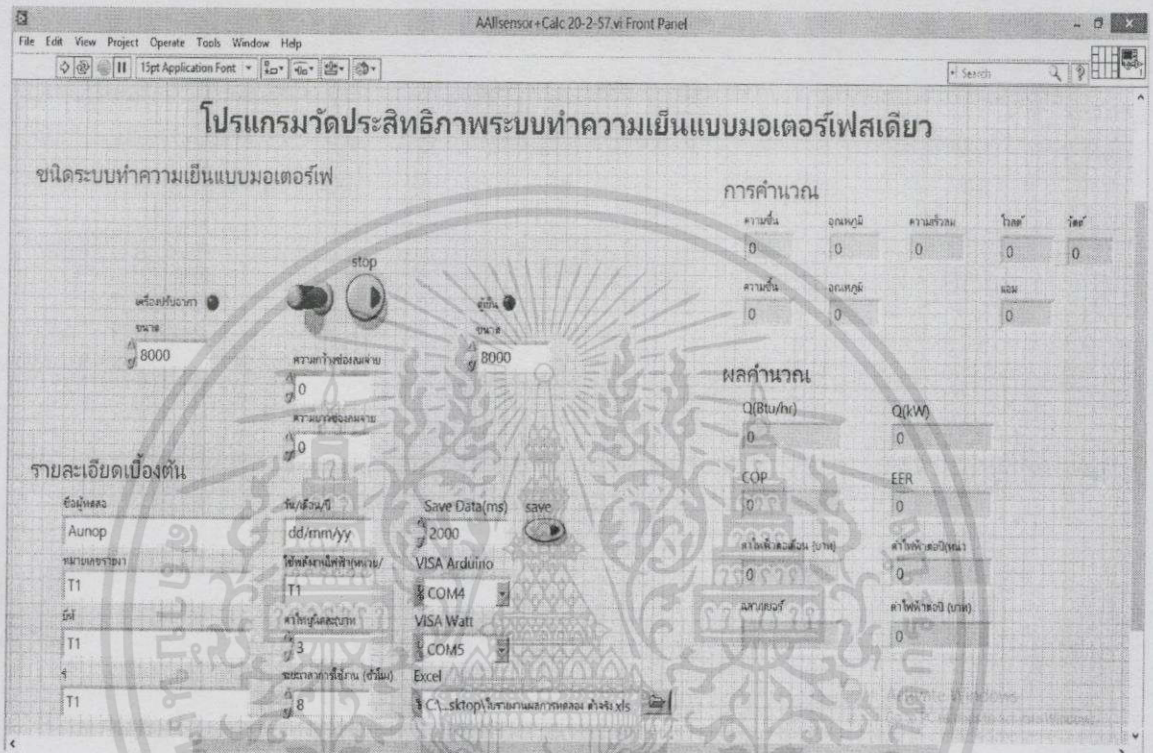
6.2.2 FLOW CHART การทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าประสิทธิภาพ  
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 6.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนเทียบผลากเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนการสร้างโปรแกรมดังกล่าว เราสามารถสร้างโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และตู้เย็น ซึ่งมีหน้าต่างของโปรแกรมในส่วนแสดงผลดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 หน้าต่างส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือวัด

### และการคำนวณค่าโดยโปรแกรมวัดประสิทธิภาพ

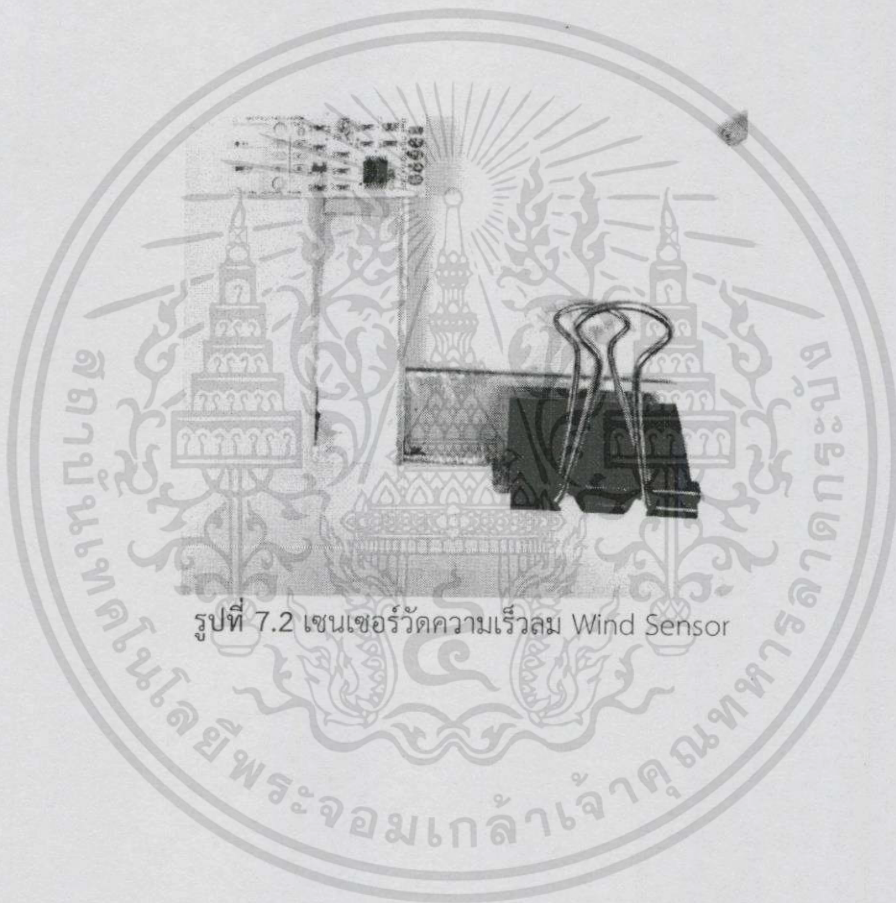
#### 7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

7.1.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 สามารถวัดค่าอุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วย (%RH)



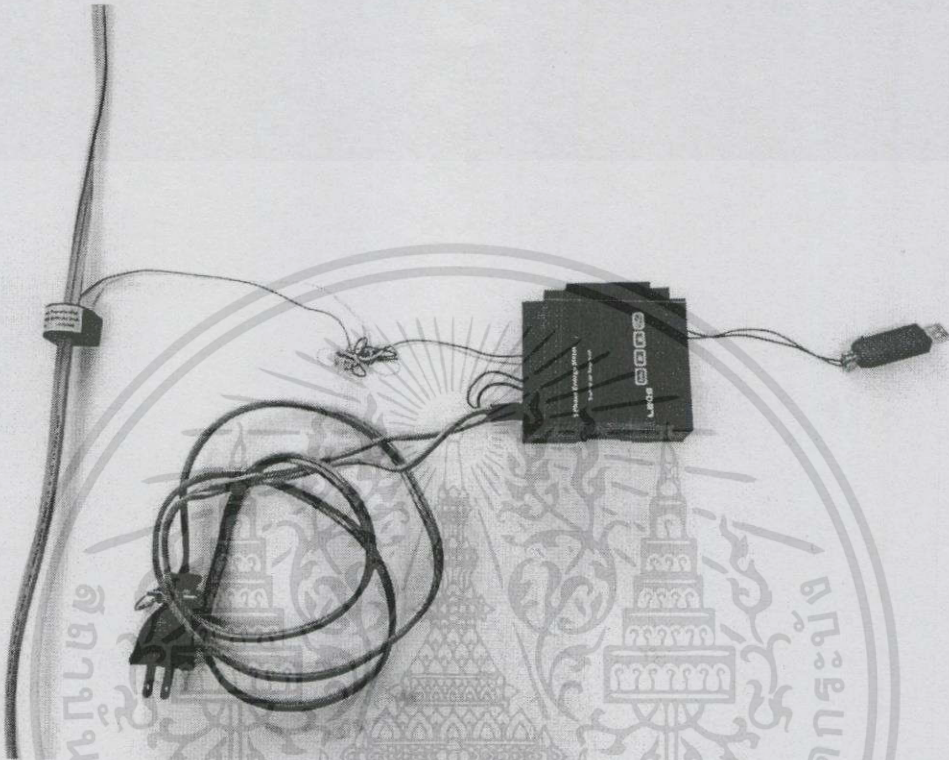
รูปที่ 7.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22

7.1.2 เซนเซอร์วัดความเร็วลม โดยใช้ Wind Sensor เป็นตัวส่งสัญญาณเป็นแอนาล็อก ซึ่งจะนำค่าความแตกต่างแรงดันไฟฟ้ามาคำนวณหาค่าความเร็วลม โดยแปลงผ่านโปรแกรม Arduino ให้อยู่ในหน่วย เมตร/วินาที



รูปที่ 7.2 เซนเซอร์วัดความเร็วลม Wind Sensor

7.1.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (WATT METER) มีหน่วยเป็น วัตต์ ซึ่งคำนวณได้จากการวัด กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และค่าเฟาเวอร์แฟคเตอร์ คำนวณออกมาเพื่อให้ได้ค่าแบบ True RMS



รูปที่ 7.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (WATT METER)

7.1.4 ตลับเมตร ใช้ในการวัดพื้นที่ ช่องลมง่าย ในหน่วย ตารางเมตร



รูปที่ 7.4 ตลับเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

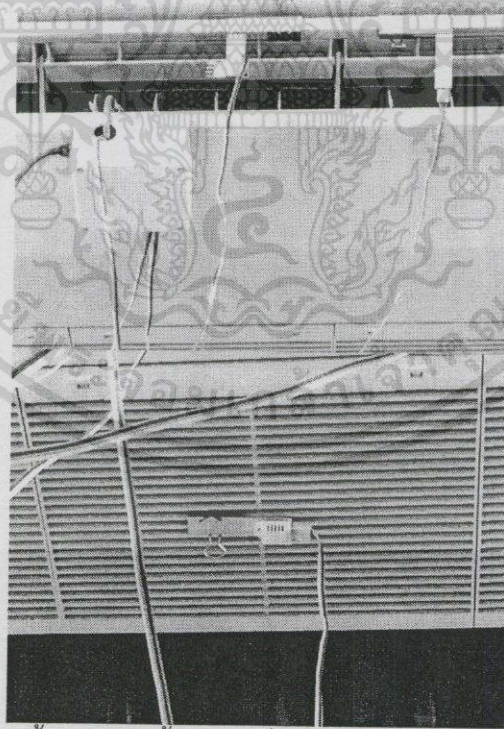
## 7.2 วิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

### 7.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

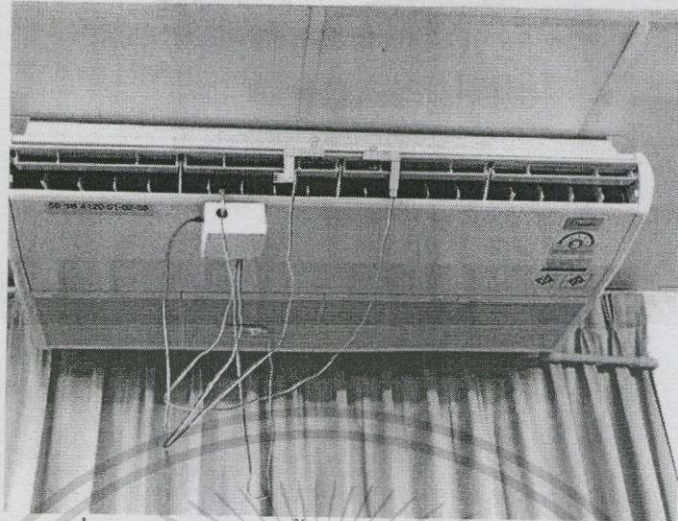
1. ปรับตั้งระดับความแรงของพัดลมในเครื่องปรับอากาศที่ตำแหน่งแรงสุด (High Speed)
2. ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ตำแหน่งอุณหภูมิห้อง 24-25°C
3. ตรวจสอบไม่ให้เกิดการกีดขวางทางด้านลมจ่ายหน้าคอยด์เย็น

### 7.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

1. วัดขนาดความกว้างและความยาวของช่องลมจ่าย (Cooled air's vent) ด้วยตลับเมตร เพื่อใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัด ( $A=m^2$ ) ในหน่วยตารางเมตร
2. ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) "DHT22" และเซนเซอร์วัดความเร็วลม "Wind Sensor" ตรงกึ่งกลางของอากาศทางด้านช่องลมจ่าย (Cooled air's vent) ส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) "DHT22" อีกตัว จะทำการติดตั้งที่ด้านช่องลมกลับ (Room air's vent) ซึ่งเซนเซอร์ทุกตัวจะต่อกับสายคอนเน็กเตอร์ ถูกเชื่อมโยงเข้าบอร์ด Arduino ที่อยู่ในกล่องสีขาว

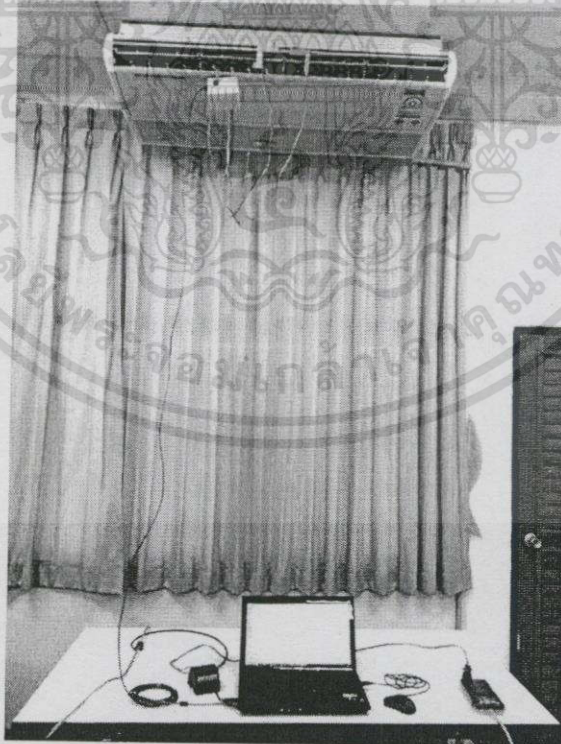


รูปที่ 7.5 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว ที่ด้านหน้าช่องลมจ่าย (Cooled air's vent) และด้านช่องลมกลับ (Room air's vent)



รูปที่ 7.6 แสดงการติดตั้งโดยรวมที่ตัวเครื่องปรับอากาศ

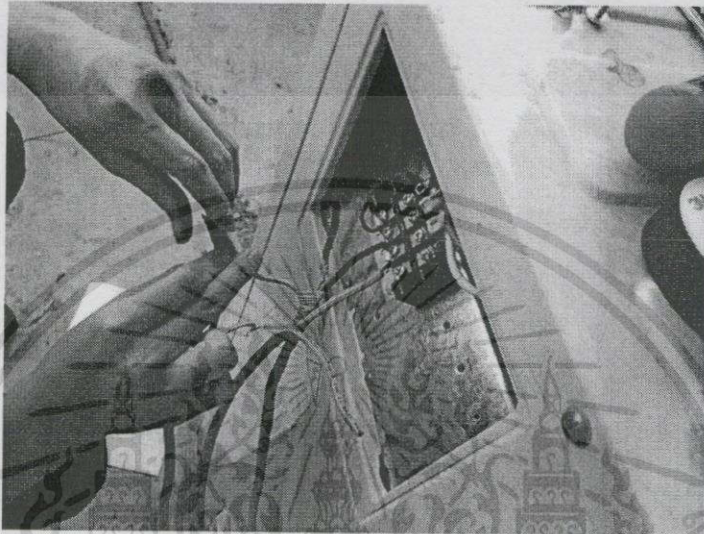
3. ใช้สาย USB Printer เชื่อมต่อบอร์ด Arduino ลงมายังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ โดยผ่านโปรแกรมรับค่าของ Arduino และส่งข้อมูลต่อไปยังโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพ ซึ่งถูกพัฒนาโดยโปรแกรม LabVIEW



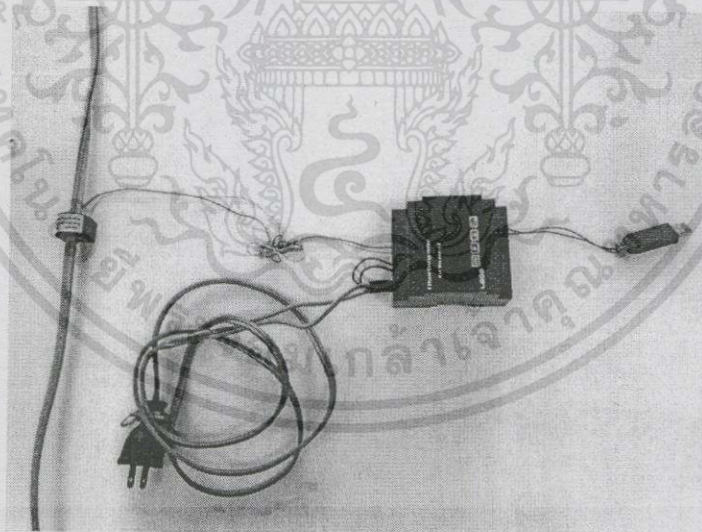
รูปที่ 7.7 แสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อสายระหว่างเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว จากเครื่องปรับอากาศไปคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ติดตั้งวัตต์มิเตอร์ โดยการเชื่อมสายไฟ ที่เข้าตัวคอมเพรสเซอร์ เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า โดยจะให้สัญญาณเป็น RS-485 และใช้ตัว RS-485 to USB ต่อเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งข้อมูลเข้าโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้คำนวณต่อไป



(ก)



(ข)

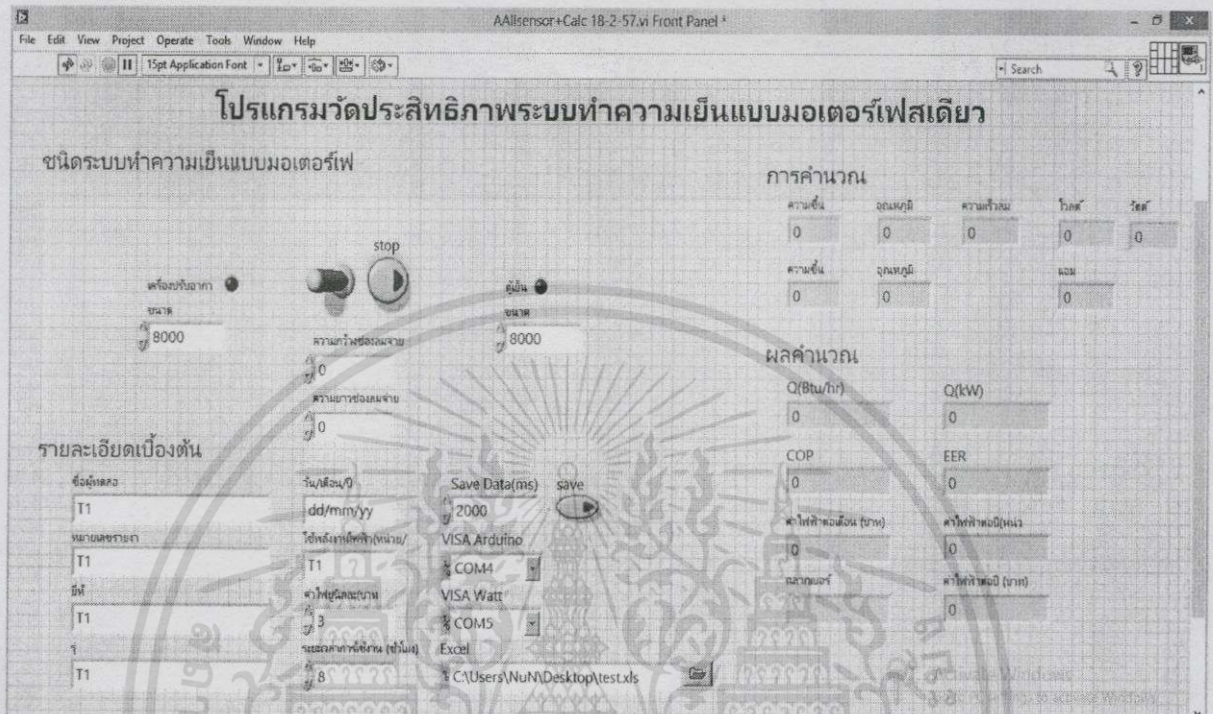
รูปที่ 7.8 แสดงวิธีการจิ้มสายไฟจากคอมเพรสเซอร์ เพื่อสอดเข้า Current Transformer

(ก) จิ้มสายไฟจากตัวคอมเพรสเซอร์

(ข) การต่อวัตต์ WATT METER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. คำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศได้จากโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 7.9 หน้าต่าง Front Panel ของโปรแกรม


### 7.2.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

1. เลือกโหมดระหว่าง เครื่องปรับอากาศ กับ ตู้เย็น
2. ใส่ขนาด BTU
3. ใส่ความกว้าง ความยาวของช่องลมจ่าย
4. ใส่รายละเอียดเบื้องต้นต่างๆ ตั้งแต่ ชื่อผู้ทดสอบ, หมายเลขรายงาน, ยี่ห้อ, รุ่น, วันที่, ใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/ปี), ค่าไฟยูนิตละ (บาท), ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง), ช่วงเวลาในการหน่วงเวลาการส่งข้อมูล (ms), VISA Arduino, VISA Watt, เลือกไฟล์ Excel

หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยจะได้ค่าความสามารถทำความเย็น (Q) ซึ่งมีหน่วยเป็น Btu/hr, ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP), ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 มีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศออกเป็น 5 ระดับตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 นอกจากนี้ยังทำการคำนวณจำนวนค่าไฟฟ้า (หน่วย/ปี) ค่าไฟฟ้าต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือน (บาท) ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท) เพื่อแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแต่ละเดือนหรือแต่ละปีเราเสียค่าใช้จ่ายไปเป็นจำนวนเท่าไร และเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นนั้นๆยังคงมีความคุ้มค่าในการใช้งานต่อหรือไม่ ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นใบรายงานการทดสอบดังรูปที่ 7.10



**ใบรายงานการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

หมายเลขรายงาน	
ชื่อผู้ใช้	
รายละเอียดเครื่อง	ชื่อเครื่องปรับอากาศ รุ่นเครื่องปรับอากาศ ขนาดเครื่องปรับอากาศ ค่าไฟ ใช้พลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาการใช้งาน
	Btu บาท/ปี หน่วย/ปี ชั่วโมง/วัน
วันที่เดือน/ปี ที่ทดสอบ	
มาตรฐานที่ทดสอบ มอก. 2134-2545	
ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	
ความสามารรถทำความเย็น	Btu/ชั่วโมง
กำลังไฟฟ้า	วัตต์
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)	(Btu/ชั่วโมง)/วัตต์
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)	
ระดับอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (เบอร์)	
ใช้พลังงานไฟฟ้า	หน่วย/ปี
ค่าไฟฟ้า	บาท/ปี

หมายเหตุ : ค่าไฟฟ้า 3 บาท/หน่วย  
คำนวณนำ

รูปที่ 7.10 ใบรายงานการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

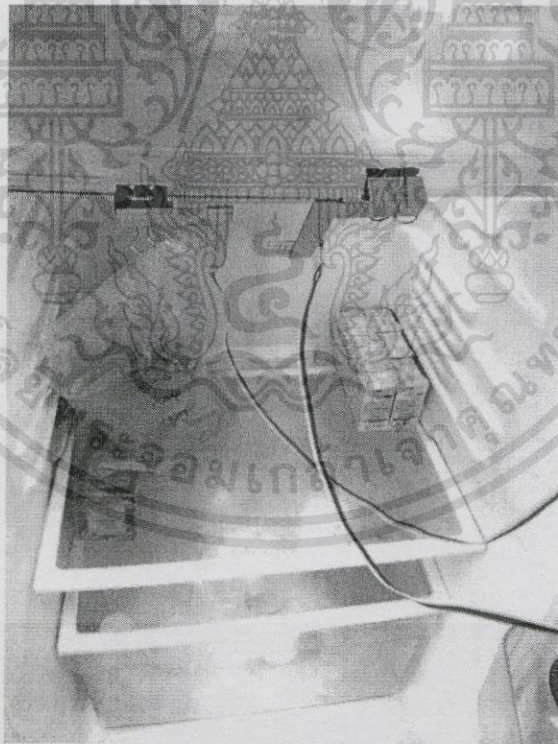
## 7.3 วิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

### 7.3.1 ขั้นตอนในการเตรียมการวัดประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น

1. ปรับตั้งระดับความแรงของพัดลมในเครื่องปรับอากาศที่ตำแหน่งแรงสุด (High Speed)
2. ปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ตำแหน่งแรงสุด และรอนกว่าอุณหภูมิจะคงที่
3. ตรวจสอบไม่ให้เกิดการกีดขวางทางด้านลมจ่ายหน้าคอยด์เย็น

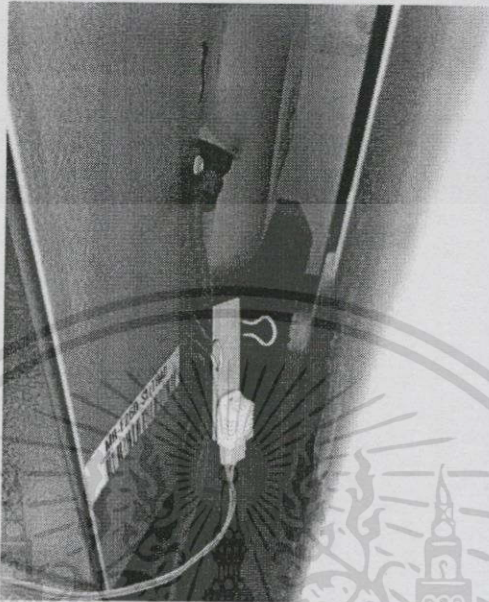
### 7.3.2 ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น

1. วัดขนาดความกว้าง, ความยาวและความสูงของตู้เย็น ด้วยตลับเมตร เพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรของตู้เย็น ในหน่วยตารางเมตร ( $m^3$ )
2. ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) "DHT22" ไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องลมจ่าย (Cooled air's vent) จำนวน 1 ตัว และทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็วลม "Wind Sensor" ตรงกึ่งกลางของอากาศทางด้านช่องลมจ่าย (Cooled air's vent) ซึ่งอยู่ภายในตู้เย็นดัง รูปที่ 7.10



รูปที่ 7.11 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น "DHT22" และเซนเซอร์วัดความเร็วลม "WIND SENSOR" ที่ด้านหน้าช่องลมจ่าย (Cooled air's vent)

และด้านช่องลมกลับ (Room air's vent) อีก 1 ตัวที่อยู่ด้านนอกเครื่องทำความเย็น ดังรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น "DHT22" ที่ด้านช่องลมกลับ (Room air's vent)

3. และนำเซนเซอร์ทั้งสองตัวต่อกับสายคอนเนกเตอร์เพื่อเชื่อมโยงเข้าบอร์ด Arduino ต่อกับเซนเซอร์ทั้งสามตัวกับสายคอนเนกเตอร์เพื่อเชื่อมโยงเข้าบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 7.13

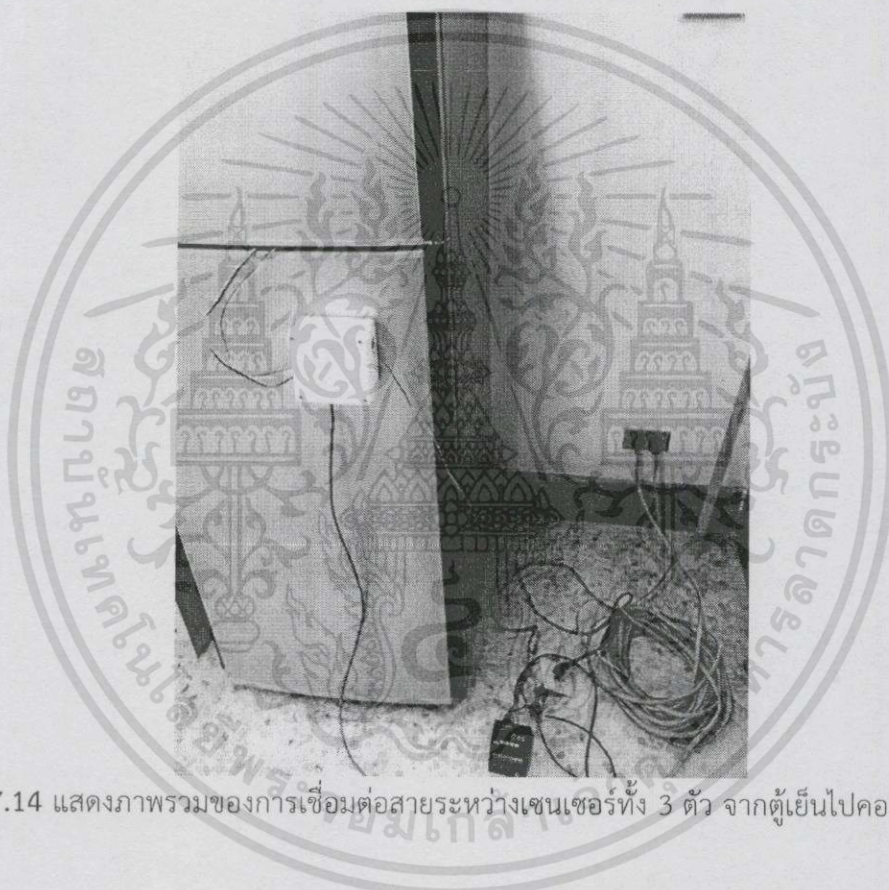


รูปที่ 7.13 การติดตั้งกล่องคอนโทรลเลอร์โดยใช้แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้สาย USB Printer เชื่อมต่อบอร์ด Arduino ลงมายังคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ โดยผ่านโปรแกรมรับค่าของ Arduino และส่งข้อมูลต่อไปยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการคำนวณ

5. ติดตั้งวัดค่ามิเตอร์ โดยจิ้มสายไฟที่เข้าตัวคอมเพรสเซอร์ เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า โดยจะให้สัญญาณเป็น RS-485 และใช้ตัวอุปกรณ์ RS-485 to USB ต่อเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งข้อมูลเข้าโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการคำนวณ ดังรูปที่ 7.13



รูปที่ 7.14 แสดงภาพรวมของการเชื่อมต่อสายระหว่างเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว จากตู้เย็นไปคอมพิวเตอร์

6. คำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นได้จากโปรแกรม LabVIEW และส่งข้อมูลออกมาเป็นใบรายงานการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น ดังรูปที่ 7.15



ใบรายงานการทดสอบผู้ยื่น  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หมายเลขรายงาน	
ชื่อผู้ใช้	
รายละเอียดเครื่อง	ยี่ห้อเครื่องปรับอากาศ รุ่นเครื่องปรับอากาศ ขนาดเครื่องปรับอากาศ ค่าไฟ ใช้พลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาการใช้งาน
วัน/เดือน/ปี ที่ทดสอบ	Btu บาท/ปี หน่วย/ปี ชั่วโมง/วัน
มาตรฐานที่ทดสอบ มอก. 2134-2545	
ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	
ความสามารถทำความเย็น	Btu/ชั่วโมง
กำลังไฟฟ้า	วัตต์
สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)	
ใช้พลังงานไฟฟ้า	หน่วย/ปี
ค่าไฟฟ้า	บาท/ปี

หมายเหตุ : ค่าไฟฟ้า 3 บาท/หน่วย

คำแนะนำ

รูปที่ 7.15 ใบรายงานการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### ผลการทดลอง

#### 8.1 ข้อมูลที่ต้องการบันทึก

1. อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศทางช่องลมจ่าย โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DHT22 จากบริษัท Arduino
2. อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศทางช่องลมกลับ โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น DHT22 จากบริษัท Arduino
3. ความเร็วลม (m/s) ของอากาศทางช่องลมจ่าย โดยใช้เซนเซอร์ Wind Sensor จากบริษัท ModernDevice
4. กำลังไฟฟ้า (W) ที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าวัตต์มิเตอร์ รุ่น KWH METER FOR APARTMENT จากบริษัท SME INTERNATIONAL CO.,LTD
5. ค่าความสามารถในการทำความเย็น  $Q$  (Btu/hr) ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW
6. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW
7. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER (Btu/Whr) ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW (เป็นกรณีเฉพาะของเครื่องปรับอากาศเท่านั้น)
8. ระดับแสดงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศออกเป็น 5 ระดับตามมาตรฐาน มอก. 1155-2536 [4, 8, 9] ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW (เป็นกรณีเฉพาะของเครื่องปรับอากาศเท่านั้น)
9. จำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (หน่วย) ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW
10. จำนวนค่าไฟฟ้ารวมต่อปี (บาท) ที่ได้จากการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาคำนวณโดยโปรแกรม LabVIEW

จากการทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองในบทที่ 7 โดยทำการทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 5 ครั้ง และทำการทดลองเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น) จำนวน 5 ครั้ง ณ อาคารเรียน 12 ชั้น ห้อง E12-209 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 10

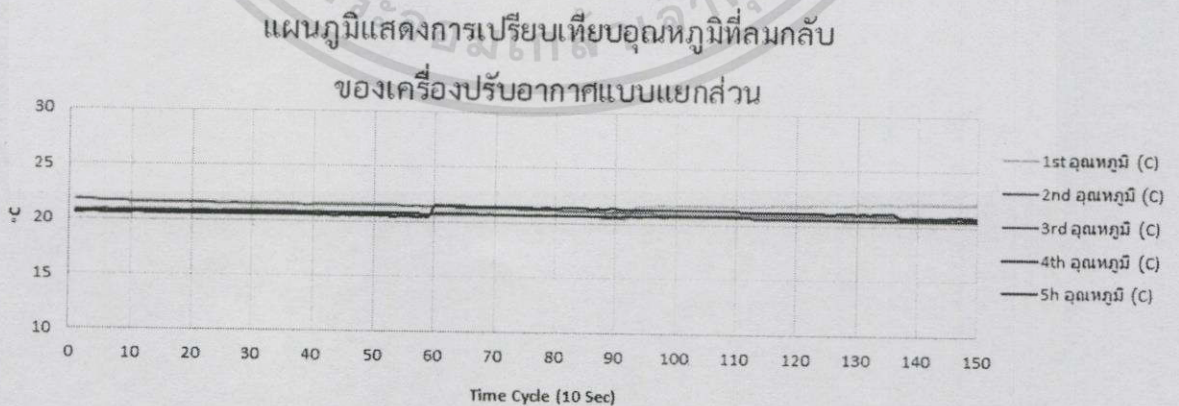
วินาที ในเวลา 30 นาที จึงได้ผลการทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในรูปแบบตารางใน Microsoft Excel จากโปรแกรมตามภาคผนวก ก.

ทางผู้ทำการทดลองจึงทำการแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบข้อมูลต่างๆดังกล่าวของการทำการทดลองทั้ง 5 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) ของเซนเซอร์และโปรแกรมจากค่าที่วัดได้ ดังนี้

## 8.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

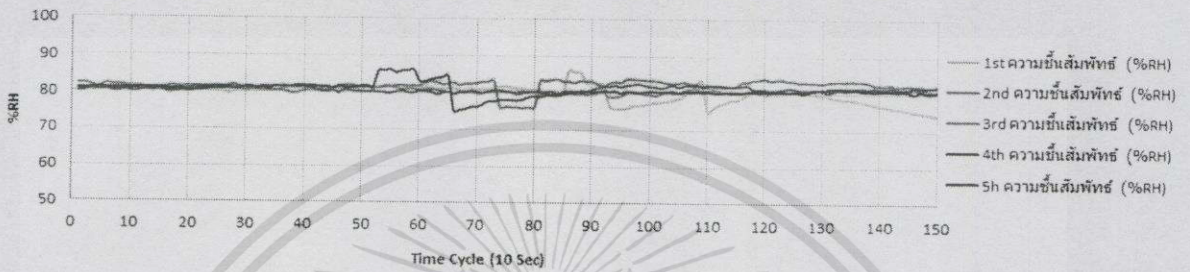


จากกราฟรูปที่ 8.1 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ช่วงเวลาแรกๆจะมีค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน แต่ช่วงหลังจะมีค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันบ้างโดยมีแนวโน้มไม่เกิน  $\pm 10^{\circ}\text{C}$



จากกราฟรูปที่ 8.2 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง อุณหภูมิลมกลับแทบไม่มีความแตกต่างกันเลย

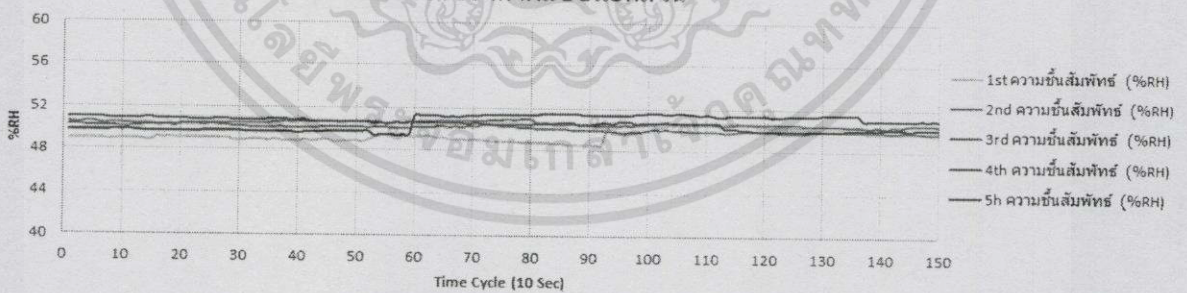
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.3 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ในช่วงเวลาแรกๆจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ช่วงหลังจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่างกันอย่างมีแนวโน้มไม่เกิน  $\pm 10\%RH$

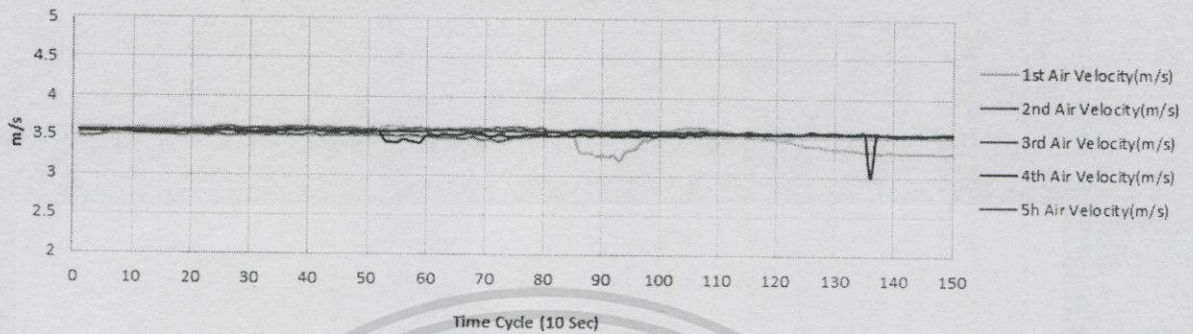
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมกลับ  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมกลับ  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.4 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมกลับมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

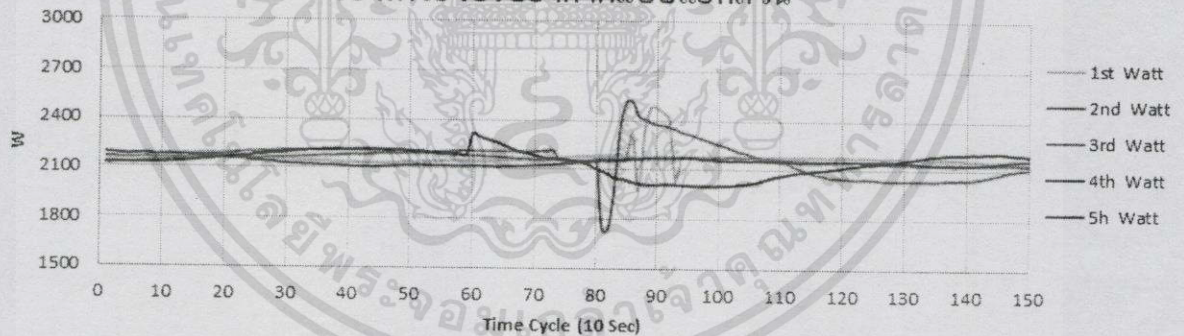
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม (m/s) ที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.5 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความเร็วลมที่ช่องลมจ่ายมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยจะมีความแปรปรวนในส่วนท้ายของการทดลองครั้งแรก

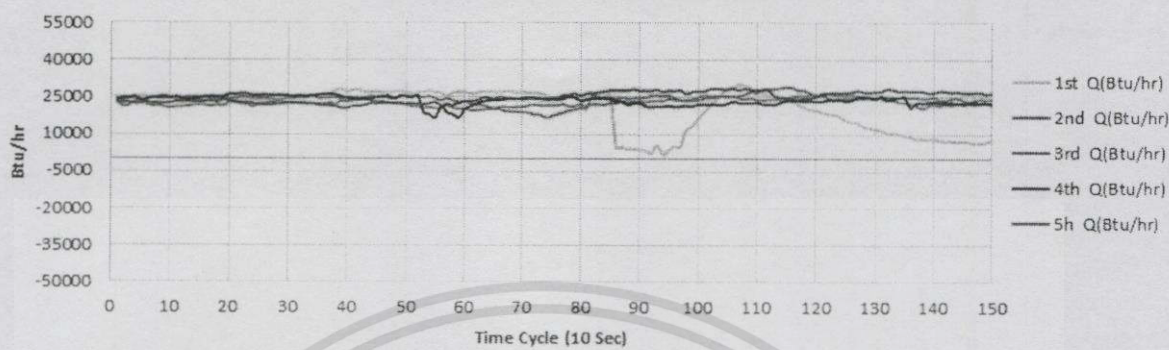
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าวัตต์มิเตอร์  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า (W) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.6 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละครั้งในช่วงกลางๆ ของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง แต่ช่วงหลังจากนั้นก็จะมีค่าใกล้เคียงกันเหมือนช่วงแรก เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

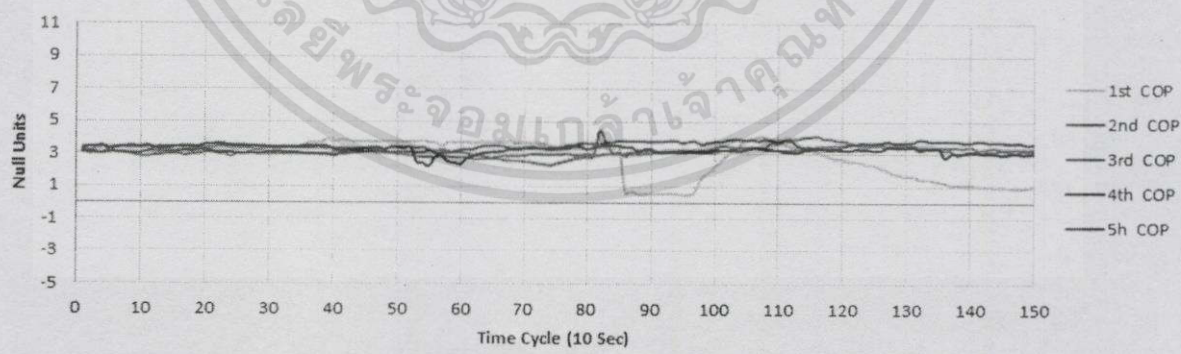
### แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น (Btu/hr.W)  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.7 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความสามารถในการทำความเย็นในแต่ละครั้งในช่วงกลางไปจนถึงช่วงหลังของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

### แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

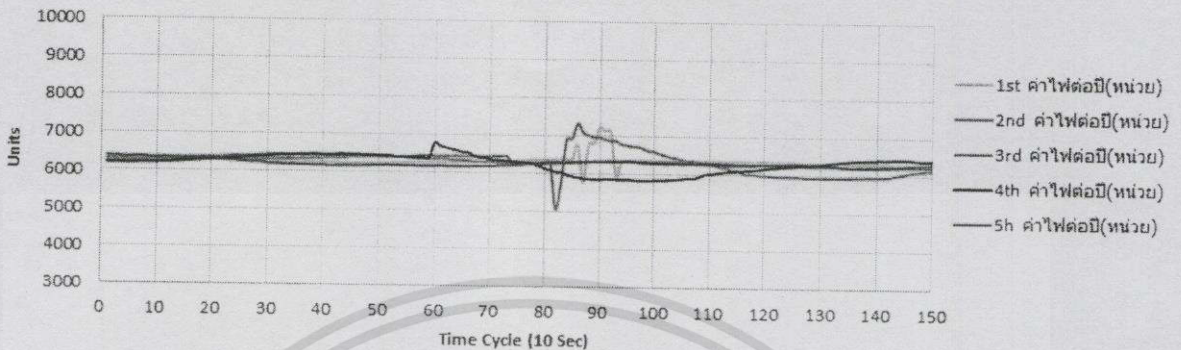
จากกราฟรูปที่ 8.8 จะเห็นได้ว่าในการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในแต่ละครั้ง ในช่วงกลางไปจนถึงช่วงหลังของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น



รูปที่ 8.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/hr.W) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.9 จะเห็นได้ว่าในการทดลองทั้ง 5 ครั้ง อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานในแต่ละครั้งในช่วงกลางไปจนถึงช่วงหลังของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

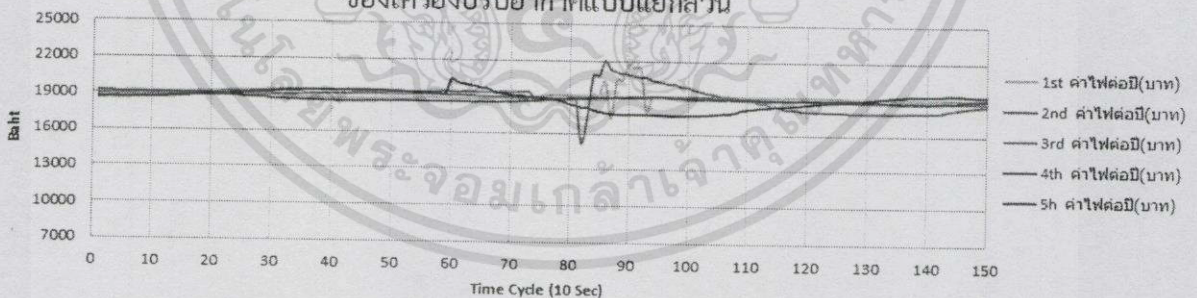
## แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 8.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Units)  
ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.10 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง จำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีในแต่ละครั้งในช่วงกลางของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

## แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบจำนวนค่าไฟฟ้ารวมต่อปี (บาท) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

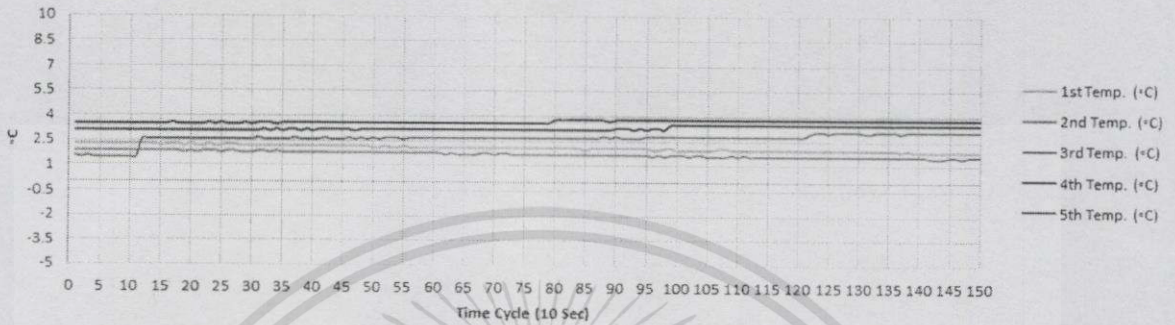


รูปที่ 8.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากกราฟรูปที่ 8.11 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง จำนวนค่าไฟรวมต่อปีในแต่ละครั้งในช่วงกลางของการทดลองจะมีค่าความแปรปรวนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

### 8.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

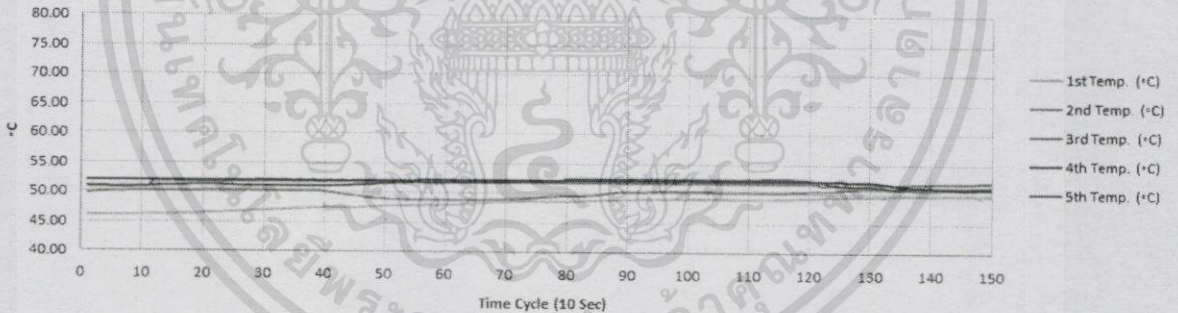
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิลมจ่ายของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ (°C) ที่ช่องลมจ่ายของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.12 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง อุณหภูมิที่ช่องลมจ่ายมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

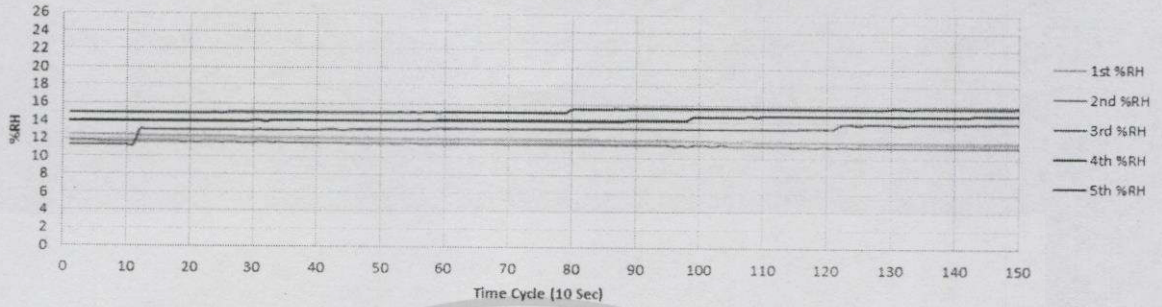
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิลมกลับของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิลมกลับ (°C) ที่ช่องลมกลับของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.13 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง อุณหภูมิที่ช่องลมกลับมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

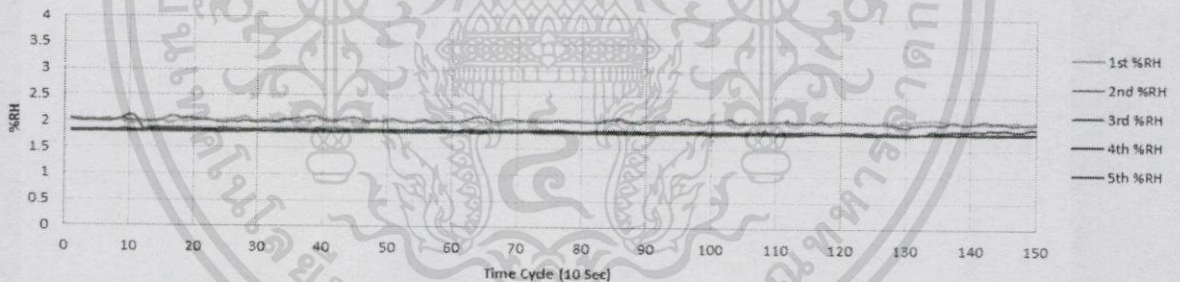
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.14 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมจ่ายมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

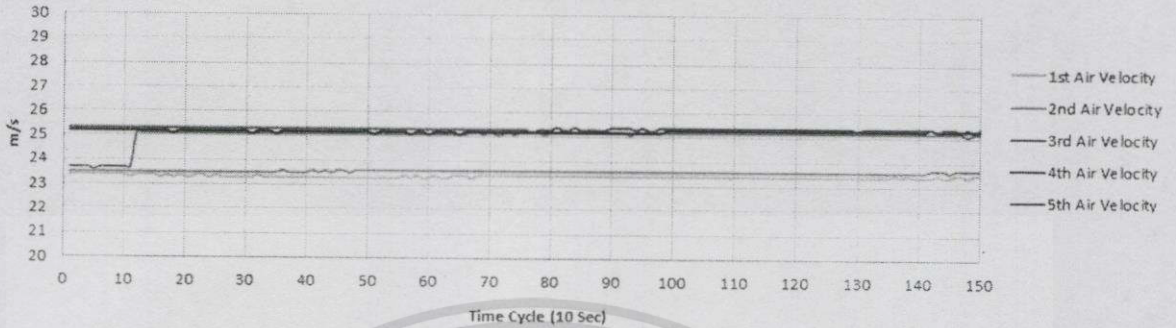
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมกลับ  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ที่ช่องลมกลับ  
ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.15 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ช่องลมกลับแทบไม่มีความแตกต่างกันเลย

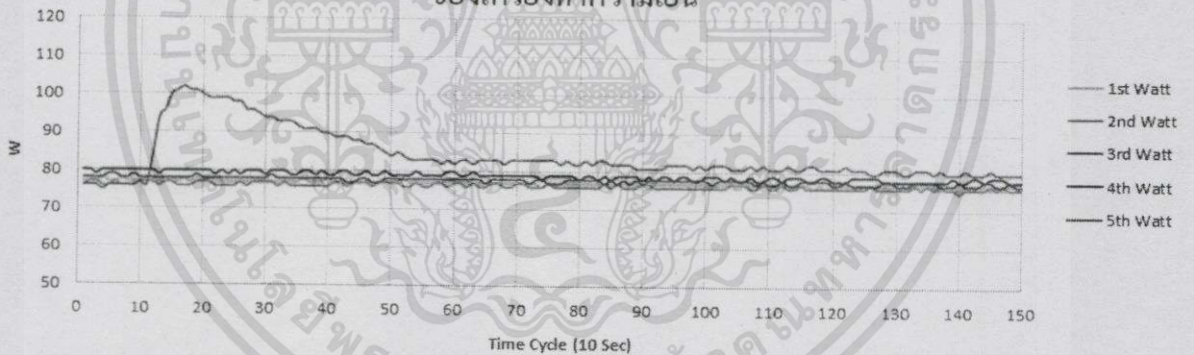
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมที่ช่องลมจ่าย  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม (m/s) ที่ช่องลมจ่ายของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.16 จะเห็นได้ว่าในการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความเร็วลมที่ช่องลมจ่ายมีความแตกต่างกันในแนวโน้มไม่เกิน  $\pm 3\text{m/s}$

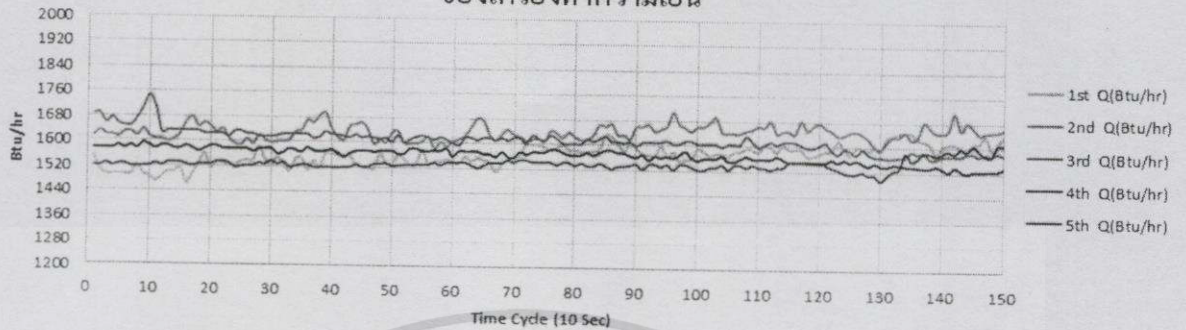
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า (W) ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.17 จะเห็นได้ว่าในการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่ากำลังไฟฟ้ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในช่วงการทดลองครั้งที่สาม มีการโดดของค่าที่วัดได้สูงประมาณ 20W เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

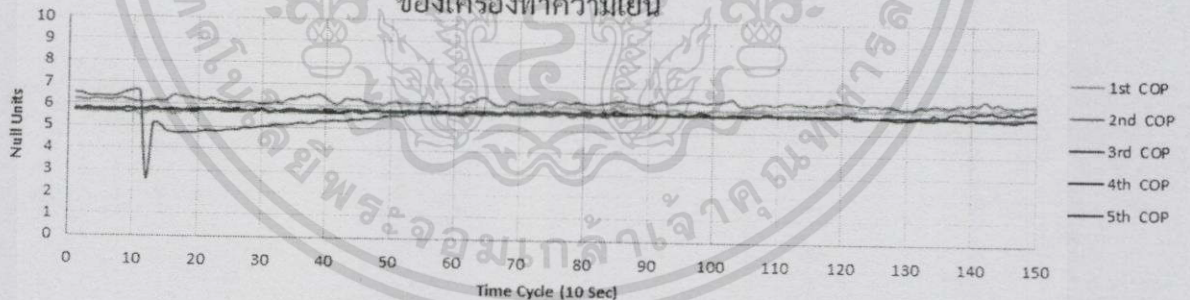
### แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสามารถการทำความเย็น (Btu/hr.W)  
ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.18 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าความสามารถการทำความเย็นมีความแตกต่างกันมาก อาจมีสาเหตุมาจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

### แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ของเครื่องทำความเย็น

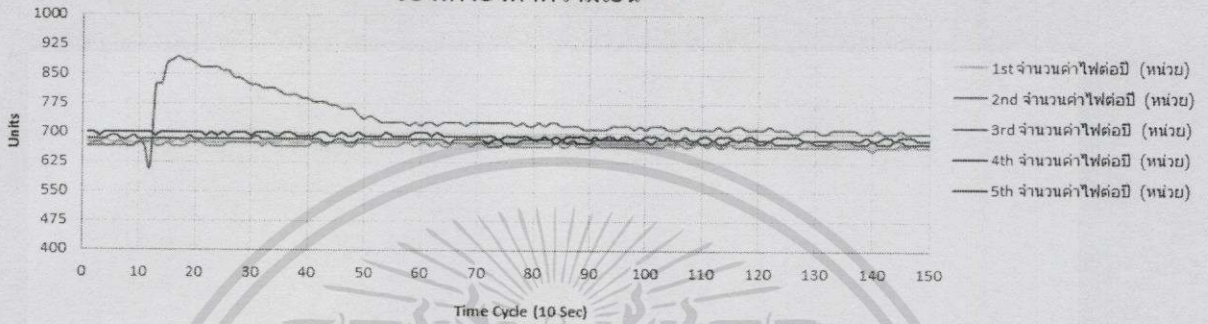


รูปที่ 8.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น  
ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.19 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในช่วงการทดลองครั้งที่สาม มีการลดลงของค่าที่วัดได้ประมาณไม่เกิน 4 เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

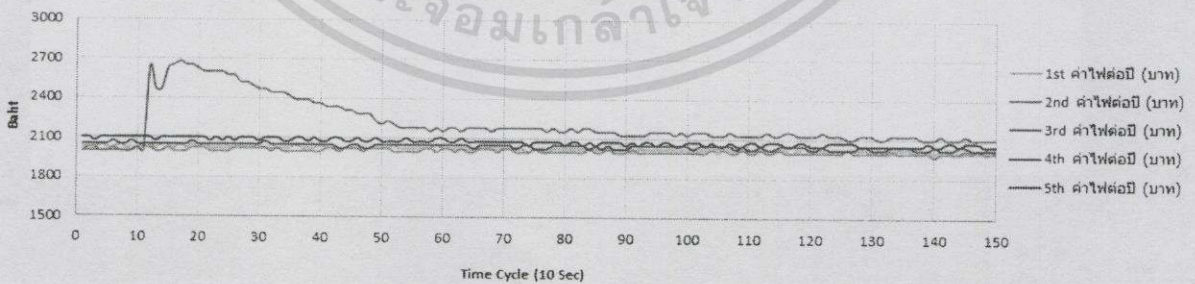
แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบจำนวนค่าไฟต่อปี  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Units)  
ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.20 จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้ง 5 ครั้ง จำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าต่อปีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในช่วงการทดลองครั้งที่สาม มีการโดดของค่าที่วัดได้สูงมาก เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น

แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท)  
ของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 8.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (บาท) ของเครื่องทำความเย็น (ตู้เย็น)

จากกราฟรูปที่ 8.21 จะเห็นได้ว่าในการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในช่วงการทดลองครั้งที่สาม มีการโตของค่าที่วัดได้สูงมาก เนื่องจากความเป็นไปได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในช่วงที่ทำการทดลอง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการรับค่าของตัวเซนเซอร์ เช่น สภาพอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงไป การเปิด-ปิดประตูของผู้ทดลอง จำนวนผู้ทำการทดลอง เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

โปรแกรมหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น เป็นการรับข้อมูลจากเซนเซอร์มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมเพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นที่มีการใช้งานมาเป็นระยะเวลาอันแล้วให้รู้ถึงความสามารถในการทำความเย็นว่าอยู่ในสภาวะที่ทำงานได้ดี มีสมรรถนะในการทำความเย็นสูงสุด ยังคงประหยัดพลังงานและมีความคุ้มค่าแก่การใช้งานอยู่หรือไม่ และมีการเก็บข้อมูลของการวัดค่าไว้ในรูปแบบตารางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการวัดครั้งต่อไป เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ว่าควรใช้เครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นนั้นๆต่อไปหรือควรเปลี่ยนเครื่องเพื่อความคุ้มค่าในระยะยาว และเป็นการวางแผนการซ่อมบำรุงให้เครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นในกรณีที่สามารถแก้ไขได้

ในส่วนขององค์ประกอบที่ใช้ในวิเคราะห์และคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดความเร็วลม วัตต์มิเตอร์ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมสนับสนุนในส่วนการคำนวณค่าจากสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

การทดสอบโปรแกรมหาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น เมื่อเซนเซอร์รับข้อมูลส่งมาที่โปรแกรมเพื่อทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพ แสดงข้อมูลผลการคำนวณทางหน้าจอ (Front Panel) แบบเรียลไทม์ (Real Time) หลังจากนั้นจะทำการบันทึกผลการคำนวณในฐานข้อมูลในรูปแบบตาราง โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆตามวงรอบที่กำหนดจากผู้ใช้งานตลอดเวลาจนกว่าผู้ใช้งานจะสั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงาน และสามารถอภิปรายงานการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและใบรายงานการทดสอบเครื่องทำความเย็นได้

ในกรณีของเครื่องปรับอากาศเมื่ออุณหภูมิห้องมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ผู้ใช้ตั้งค่าเอาไว้ (โดยทั่วไปคือ  $24^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการทำงานของโหลดต่ำกว่า 500W เครื่องปรับอากาศจะทำการจะหยุดเดินคอมเพรสเซอร์ จึงทำการเขียนโปรแกรมยกเว้นการคำนวณ แสดงผล และเก็บข้อมูลในกรณีนี้ เนื่องจากช่วงที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานส่งผลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ที่มีผลต่อเนื่องถึงการคำนวณหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และการคำนวณค่าไฟฟ้า (ต่อปี) ได้

จากผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นที่ได้ทำการทดลองโปรแกรมกับเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นเบอร์ 5 (ใช้งานมาไม่เกิน 1 ปี) ได้ผลลัพธ์ออกมาอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกับค่าต่างๆตามฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าเบอร์ 5 ที่ออกโดยกระทรวงพลังงานที่ติดอยู่กับเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นดังกล่าว

การนำเอาโปรแกรมที่เราได้ออกแบบ และพัฒนาขึ้นมา นี้ โดยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถือว่ามีมูลค่าสูง จะมีค่าใช้จ่ายตามโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ซื้อโปรแกรมนี้มาใช้ เพราะโปรแกรม LabVIEW สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ในเวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับภาษาซอฟต์แวร์อื่นๆ แต่โปรแกรมของพวกเรา มีวัตถุประสงค์ว่า จะนำเอาไปใช้ได้ตามบ้านเรือนทั่วไป เพราะฉะนั้น ทางกลุ่มเราจะทำการแปลงเป็นสกุลไฟล์ .exe ทำให้สามารถเป็นเหมือนโปรแกรมทั่วไปที่ทำการติดตั้งโปรแกรมที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องมีโปรแกรม LabVIEW ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ก็ได้

แต่ถึงอย่างไรก็ตามอุปกรณ์เซนเซอร์ต่างๆ เมื่อมีการใช้งานบ่อยครั้งหรือมีอายุการใช้งานเป็นเวลายาวนาน มีผลต่อการอ่านค่าที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงและส่งผลให้ข้อมูลทั้งหมดผิดพลาดได้ จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบตามระยะเวลาที่กำหนด หรือมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ อีกแล้ว และทำการเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยการทำการพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมให้ดียิ่งขึ้น

## 9.1 ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยวัดค่าตัวแปรตรงกลางช่องลมจ่ายและตรงกลางช่องลมกลับเป็นหลัก หากเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และเซ็นเซอร์วัดความเร็วลมอีก 2 ชุด โดยวัดด้านซ้ายและด้านขวาของแนวช่องลมจ่าย คือวัดสัญญาณด้านลมจ่าย 3 ชุดและนำมาหาค่าเฉลี่ย ก่อนนำไปใช้คำนวณด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น จะทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่มีความแม่นยำสูงขึ้น แต่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นอีก 2 เท่าของงานวิจัย
2. โปรแกรมที่สร้างขึ้นมีการกรองข้อมูลของเครื่องปรับอากาศในขณะที่คอมเพรสเซอร์ถูกตัดทำให้ค่าที่ได้ออกมามีความเสถียรสูง ไม่มีการตก (Drop) ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)
3. โปรแกรมที่สร้างขึ้นเมื่อนำไปเชื่อมต่อระบบควบคุมจะทำให้ข้อมูลที่ไต่จากการวัดเป็นสัญญาณป้อนกลับเพื่อทำการควบคุมคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็นได้
4. โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นจัดเก็บข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการบริหารงานบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็นได้
5. โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดรูปแบบการแสดงผลในรูปแบบของหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) หรือรูปแบบการสร้างเว็บเพจ (Webpage) เพื่ออ่านค่าแบบออนไลน์ (Online) ได้

## บรรณานุกรม

- [1] Harrison, L.P. 'Fundamental concepts and definitions relations relating to humidity. In Humidity and moisture measurement and control in science and industry' 3:289. A. Wexler and W.H. Wildhack, eds. Reinhold Publishing Corp., New York, 1965.
- [2] NASA. U.S. Standard atmosphere, 1976. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration, and the United States Air Force, Superintendent of Documents. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1976.
- [3] ASHRAE standard. 1993 ASHRAE HANDBOOK, FUNDAMENTALS SI edition, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1791, Ullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, 404-636-8400.
- [4] ผศ. ชูชัย ต. ศิริวัฒนา. การทำความเย็นและการปรับอากาศ. : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ, 2547.
- [5] รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ. พื้นฐานการทำความเย็นและการปรับอากาศ (ภาคทฤษฎี) : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : กรุงเทพฯ, 2547.
- [6] ผศ. ดร. ศิริพรรณ ธงชัย และ ดร. พิชัย อัมภมมงคล. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า. : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
- [7] Christopher M. Frenz, Visual Basic and Visual Basic .NET for Scientists and Engineers, Apress, 2002.
- [8] ผลิตภัณฑ์เบอร์ 5. โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า. : ฝ่ายปฏิบัติการด้านการใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545.

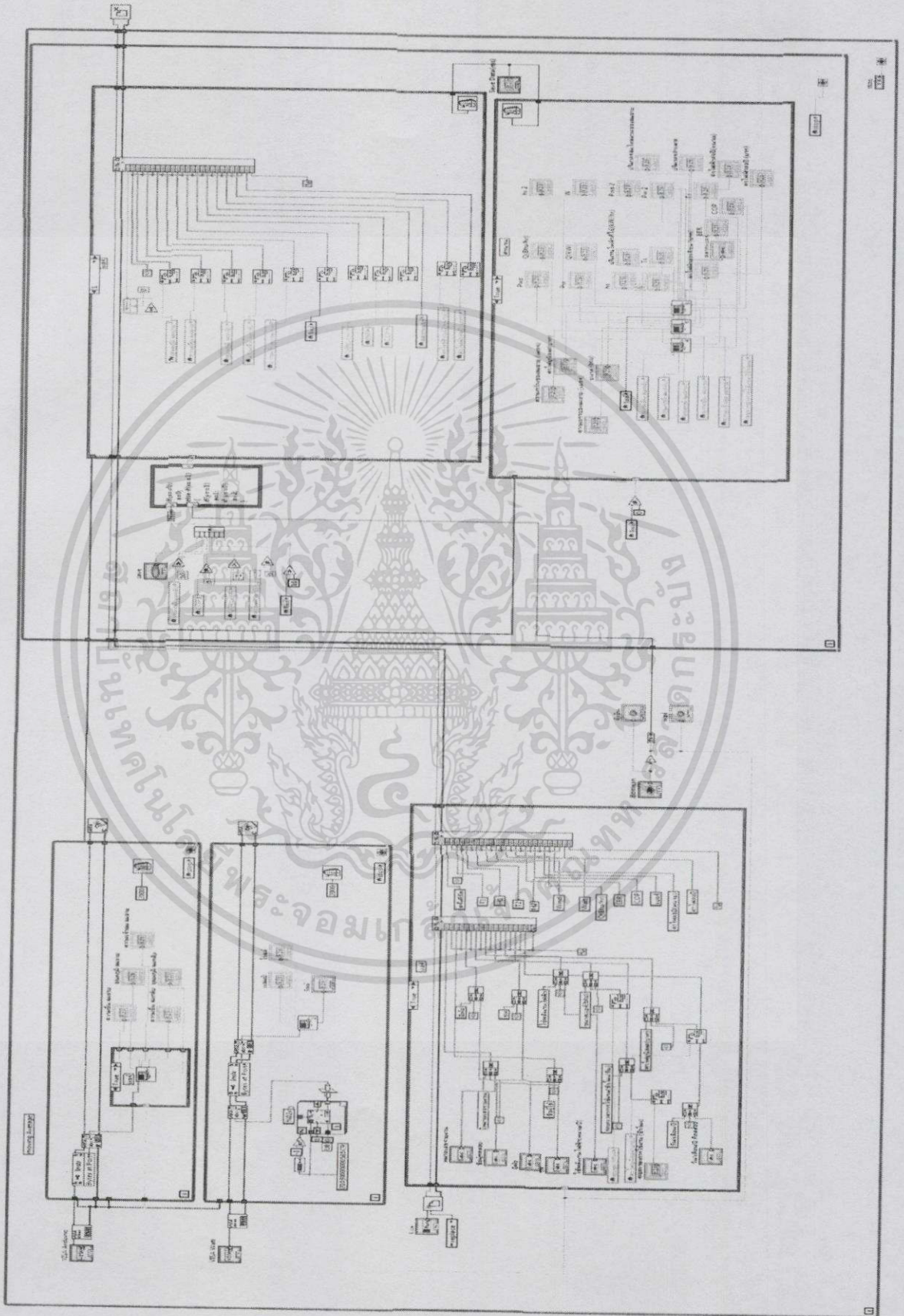
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 1155-2536.,กรุงเทพ, 2536.
- [10] Available: <http://www.tisi.go.th/>, (16/02/2557), มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็น
- [11] นายกฤตย์ ทองเหลือ และนายทศพร ชนะศิริวัฒน์. 2549. "การพัฒนาโปรแกรม LabVIEW ในระบบอัตโนมัติชั้นในอุตสาหกรรม." ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (16/02/2557), การเขียนโปรแกรมการคำนวณ
- [12] Available: <http://www.arduitronics.com/product/177/dht22-am2302-high-accuracy-digital-temperature-and-humidity-sensor>, (17/02/2557), DHT22 High Accuracy Digital Temperature and Humidity Sensor
- [13] Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>, (17/02/2557), การใช้งาน Arduino
- [14] Available: <http://true-rms-measurement.blogspot.com>, (18/02/2557), ความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดที่ได้ค่าแบบ RMS กับ True RMS
- [15] Available: <http://www.smeinter.co.th/>, (20/02/2557), Power Meter
- [16] Available: <http://sites.google.com/a/ttc.ac.th/tuktang/gui-2/naew-kar-sxn> (20/02/257), ขอบเขตของการออกแบบโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องทำความเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

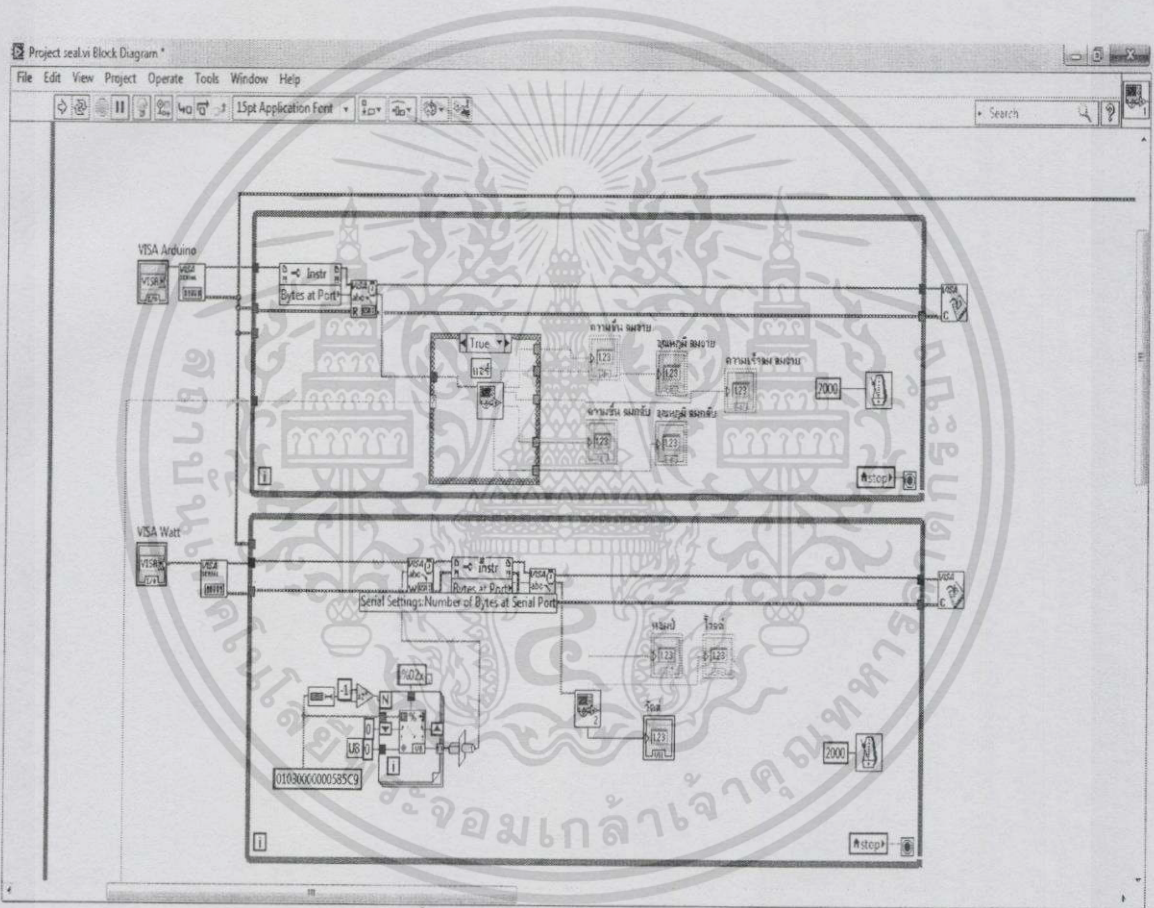


ภาคผนวก ก  
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณจากส่วน Block Diagram ของ  
โปรแกรม LabVIEW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมดังกล่าวเขียนขึ้นเพื่อเป็นส่วนรับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆมาทำการคำนวณ แสดงผลที่หน้าจอ Front Panel และบันทึกผลการคำนวณที่โปรแกรมอื่นๆ เช่น Microsoft Excel, Microsoft Word หรือโปรแกรม Notepad เป็นต้น จากรูปที่ ก.1 ซึ่งเป็นส่วนของ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้ในการเขียนโค้ดต่างๆ โดยจะมีการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาพารูปภาพ ทำให้มีความง่ายในการเขียนโปรแกรม จากรูปนั้นจะทำการแบ่งเป็น 2 ฟังก์ชันย่อยๆคือส่วนการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและส่วนการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น ซึ่งจะทำการแบ่งเป็นส่วนการทำงานย่อยๆเพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจ ดังนี้

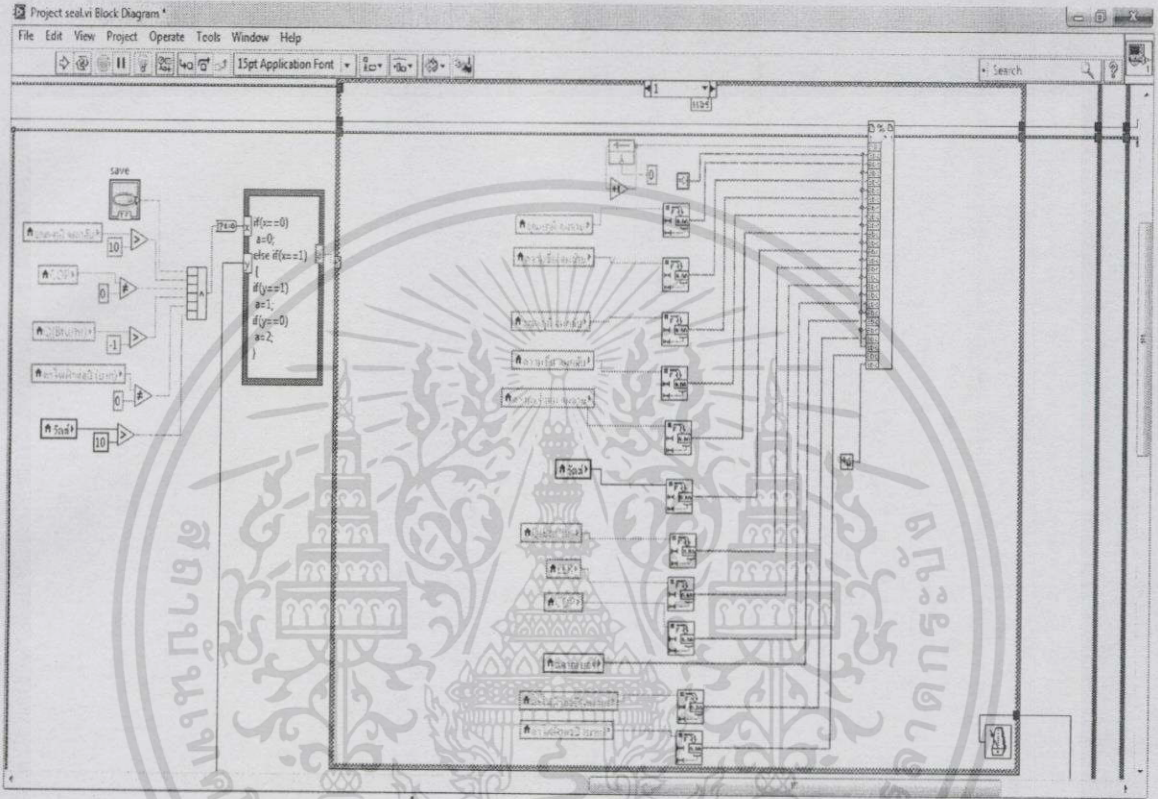


รูปที่ ก.2 ส่วนของ Block Diagram(1)

ส่วนรับข้อมูล เป็นส่วนที่จะรับข้อมูลพารามิเตอร์จากเซนเซอร์ต่างๆ โดยจะรับผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 และ RS485 โดยแบ่งเป็น

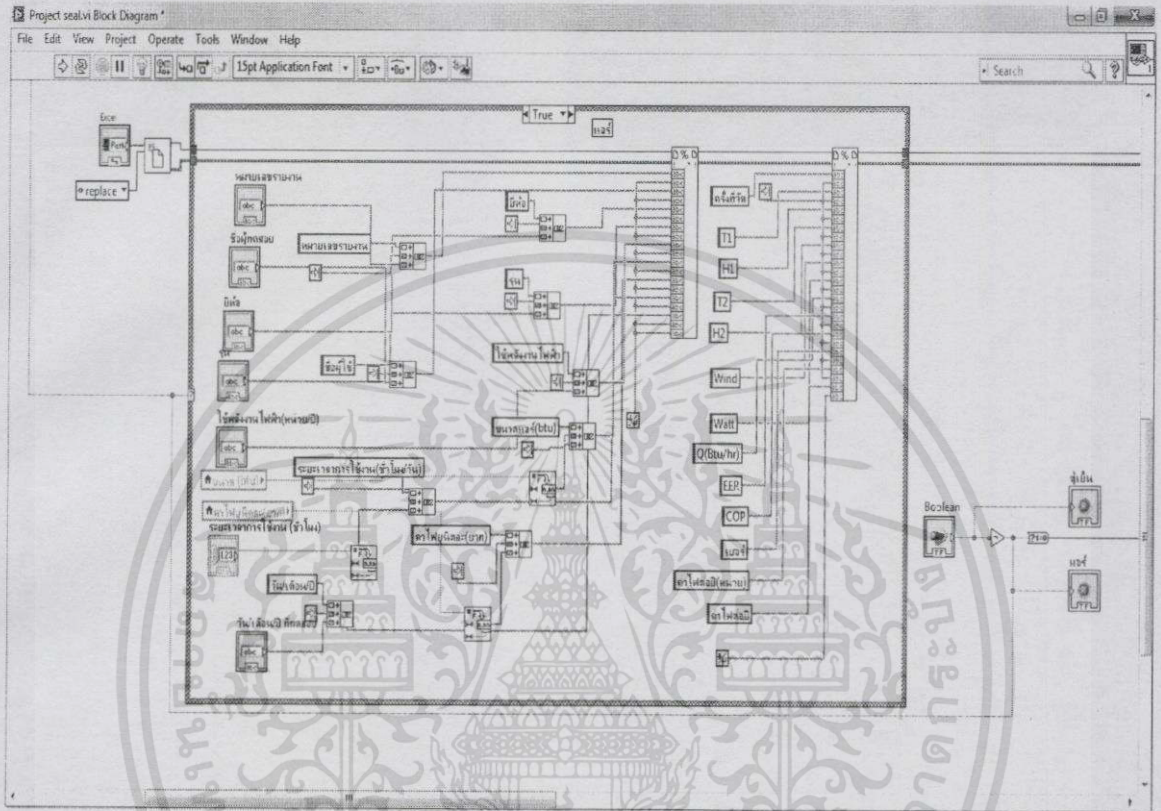
1. จาก Arduino Board ซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์คือ ค่าความชื้นลมจ่าย, ค่าความชื้นลมกลับ, ค่าอุณหภูมิลมจ่าย, ค่าอุณหภูมิลมกลับ และค่าความเร็วลมจ่าย





รูปที่ ก.4 ส่วนของ Block Diagram(3)

ส่วนบันทึกผล ในส่วนนี้เป็นส่วนที่รับค่าข้อมูลจากผู้ใช้ ในส่วนของข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เช่น ขนาด ยี่ห้อ รุ่น เป็นต้น โดยจะนำไปรวมกับส่วนบันทึกของการคำนวณ เพื่อที่จะออกใบรายงานผล (Certificate) ต่อไป



รูปที่ ก.5 ส่วนของ Block Diagram(4)

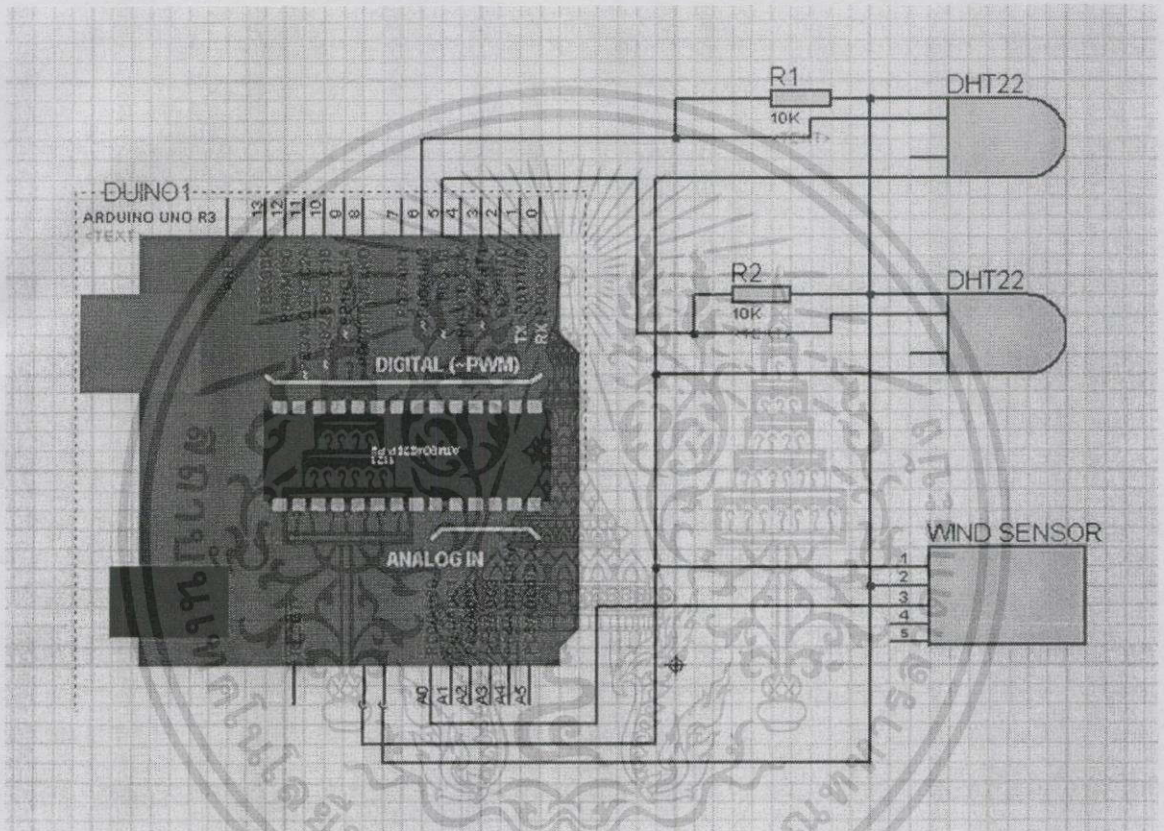
ส่วนของการบันทึกผล เป็นส่วนที่ได้จากการคำนวณ โดยที่เมื่อมีการคำนวณแต่ละรอบ จะมีการเก็บข้อมูลที่ได้นบันทึกลงในโปรแกรม Microsoft Excel โดยที่ผู้ใช้สามารถกรอกรายละเอียดของผู้ใช้งานเพื่อ ออกใบรายงานผล (Certificate) ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ DHT22

จำนวน 2 ตัว และ Wind Sensor จำนวน 1 ตัว



รูปที่ ข.1 วงจรแสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ DHT22 และ Wind Sensor