สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

AIR CONDITIONER EFFICIENT MEASUREMENT

4

นายภาณุวัฒน์ ย่งกลับ
นายสฤษดิ์พงศ์ มังบุญมอบ
นายสหชาติ พันธุ์วรรณ์

วน.
ล4347
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72232
วัน,เดือน,ปี 12 มิ.ย. 2550

.b 11765109
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AIR CONDITIONER EFFICIENT MEASUREMENT

PHANUWAT YONGKLAB

SAREADPONG MONGBUNMOB

SAHACHART PHANVAN

THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KINGMONGKUT`S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

AIR CONDITIONER EFFICIENT MEASUREMENT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายภาณุวัฒน์ ย่งกลับ **รหัสนักศึกษา** 46010577

นายสฤษดิ์พงศ์ มังบุญมอบ **รหัสนักศึกษา** 46010815

นายสหชาติ พันธุ์วรรณ์ **รหัสนักศึกษา** 46010818

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ. เชื้อ นกอยู่	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ
AIR CONDITIONER EFFICIENT MEASUREMENT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายภาณุวัฒน์ ย่งกลับ **รหัสนักศึกษา** 46010577
นายสฤษดิ์พงศ์ มังบุญมอบ **รหัสนักศึกษา** 46010815
นายสหชาติ พันธุ์วรรณ์ **รหัสนักศึกษา** 46010818

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.เชื้อ นกอยู่

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอหลักการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ การทำงานของระบบทำความเย็น การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม: ประสิทธิภาพพลังงาน ซึ่งการตรวจสอบนี้แบ่งเป็นการตรวจสอบในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ในทางทฤษฎีจะเป็นการตรวจสอบถึงประสิทธิภาพการทำงานของสารทำความเย็นซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้จริง เพราะว่าระบบที่จะทำการตรวจสอบจำเป็นต้องเป็นระบบปิดที่ไม่มีผลของแสงแดด ลม และความร้อนจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ในทางปฏิบัติจะเป็นการตรวจสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งสามารถทำได้ในห้องใดก็ได้ที่มีเครื่องปรับอากาศ โดยการคำนวณหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศว่าเครื่อง ปรับอากาศยังอยู่ในมาตรฐานหรือไม่

การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) จำเป็นต้องทราบถึงค่าอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ป้อนให้เครื่องปรับอากาศ ความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น และพื้นที่ปล่อยลมหน้าคอยล์เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Air Conditioner Efficient Measurement	
Authors	Mr. Panuwat	Youngklub
	Mr. Sareadpong	Mongbunmob
	Mr. Sahachart	Pounwon
Thesis Advisor	Asst.Prof Chuae	Nokyoo
Year	2006	

ABSTRACT

These articles want to present the Verification for Efficiency of Air condition, the process of cooling system, the process of Air condition (separated type) and standard of Air condition industrial for environment : Efficiency power verify by theory and process for calculate the coefficient of power (COP) and ratio of Efficiency of power (EER) by theory is Verification for Efficiency for substance so we can not Verify because the system could be close system and don't have effective by sunlight wind and atmosphere by process is Verification for Air condition (separated type) it can do any where have Air condition by calculate ratio of Efficiency power (EER) and compare the answer with standard and judge it.

Calculation of ratio of Efficiency of power (EER) we could to know temperature coefficient of moist power of electric speed of wind in front of coin and area of coin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะการและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก ผศ.เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบของพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ รศ.ไสว พงสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และให้กำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณห้องสมุดและภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลและเป็นสถานที่ใช้ในการทำงานวิจัย ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือพร้อมทั้งอนุเคราะห์เป็นสถานที่ใช้ทดสอบ งานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุมแม่ที่สั่งสอนและอบรมให้เป็นคนดี รวมทั้งเป็นผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาของข้าพเจ้า และให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....IX

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ.....4

2.1 ประวัติและความเป็นมาของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ.....4

2.2 ระบบทำความเย็นและประโยชน์ของระบบทำความเย็น.....5

2.3 ชนิดของระบบทำความเย็น.....6

2.3.1 ระบบอัดไอ (The Vapour -Compression System).....7

2.4 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นและปรับอากาศ.....9

2.4.1 ความหมายของการปรับอากาศ.....9

2.4.1.1 การทำความร้อน(heating).....10

2.4.1.2 การทำความเย็น (cooling).....10

2.4.1.3 การระบายอากาศ(ventilation).....11

2.4.2 วงจรพื้นฐานของระบบทำความเย็น.....11

2.4.3 การทำงานของระบบปรับอากาศ.....12

2.4.4 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....13

2.4.4.1 การทำงานของระบบ Inverter ในเครื่องปรับอากาศ.....14

2.5 สถานะของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ.....16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6 ราสามารถแบ่งความดันของระบบออกได้ 2 ด้าน....17
2.6.1 ด้านความดันสูง (high side)....17
2.6.2 ด้านความดันต่ำ (Low side)....17
2.7 สารทำความเย็น InorganicCompounds InorganicCompounds....18
2.7.1 สารทำความเย็น Inorganic Compounds....18
2.7.2 สารทำความเย็นประเภท Chlorofluorocarbons (CFCs)....19
2.7.3 สารทำความเย็นประเภท Hydrochlorofluorocarbons(HCFCs)....20
2.7.4 สารทำความเย็นประเภท Hydrofluorocarbons (HFCs)....20
2.7.5 ODP & GWP....21
2.8 ภาระการปรับอากาศ....21
2.8.1 ภาระในอาคาร....21
2.8.2 ภาระเครื่องปรับอากาศ....23
2.8.3 ภาระแหล่งความร้อน....24
2.9 ลักษณะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีด้วยกัน 2 แบบ....24
2.9.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง....24
2.9.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน(Sli type)....25

บทที่ 3 อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย Sensor SHT 15....30

3.1 Sensor SHT 15....30
3.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของ Sensor SHT 15....30
3.1.2 การต่อใช้งานขา ของ Sensor SHT 15....31
3.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ Sensor SHT 15....32
3.2.1 การส่งคำสั่ง (sending a Command)....32
3.2.2 การรีเซตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)....33
3.2.3 ขั้นตอนการอ่านอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์....33
3.3 การคำนวณค่าอุณหภูมิ (Temperature)....34
3.4 การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)....35
3.5 ชุดคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการติดต่อกับ Sensor SHT 15 ประกอบด้วย....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....36

3.6.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 (AT89C52)...37

3.6.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (AT89C52).....37

3.7 จอแสดงผล LCD 16*2.....39

3.7.1 การติดต่อกับ LCD Module.....39

3.7.2 หลักการทำงาน.....39

3.8 การทำงานของชุด Supply.....40

3.9 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล.....40

3.9.1 FLOW SHART การทำงานของโปรแกรม.....41

3.10 ตัวอย่างฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการควบคุมโมดูล SHT 15.....42

3.11 การทดลองความแม่นยำในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโมดูล.....43

3.12 การหาค่าเอนธาลปีจาก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่วัดได้จาก SHT15.....44

บทที่ 4 เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer.....45

4.1 หลักการทำงาน.....45

4.2 การทดลองหาอัตราความเร็วลม.....46

4.3 การทดลองความแม่นยำในการวัดความถี่ของสัญญาณ.....46

4.4 หลักการคำนวณค่าอัตราความเร็วลม.....49

บทที่ 5 วัตต์มิเตอร์.....51

5.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power).....51

5.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power).....52

5.3 การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Maximum Average Power Transfer).....53

5.4 ตัวประกอบกำลัง (The Power Factor).....55

5.5 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power).....55

5.6 การวัดกำลังไฟฟ้า (Power Measurement).....58

5.7 การใช้งานเครื่องมือวัด.....59

5.7.1 ลักษณะการใช้งาน.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.7.2 รายละเอียดของเครื่องมือวัด.....59

บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมการคำนวณ.....60

6.1 ขอบเขตการออกแบบโปรแกรมตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....60

6.2 ทำความรู้จักกับเครื่องมือต่างๆที่เราจำเป็นต้องใช้.....61

6.2.1 ฟังก์ชันการคำนวณ.....61

6.2.2 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบ.....62

6.2.3 จากโปรแกรมข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า.....63

6.2.4 โฟรชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....63

บทที่ 7 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และเทคนิคการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....65

7.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....65

7.1.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศในทางทฤษฎี.....65

7.1.1.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance; COP)...65

7.1.1.2 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio; EER).....66

7.1.2 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศในทางปฏิบัติ.....67

7.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม : ประสิทธิภาพพลังงาน.....67

7.2.1 ขอบข่าย.....67

7.2.2 บทนิยาม.....67

7.2.3 คุณลักษณะที่ต้องการ.....68

7.2.4 เครื่องหมายและฉลาก.....69

7.2.5 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน.....70

7.2.5.1 รุ่น.....70

7.2.5.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน.....70

7.2.6 การทดสอบ.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

7.3 เทคนิคและขั้นตอนในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....71

7.3.1 เครื่องวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....71

7.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมการวัด.....74

7.3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....74

7.3.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....75

7.3.4.1 คำนวณจากสูตรประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER).....75

7.3.4.2 คำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) ได้จากโปรแกรม MICROSOFT VISUAL BASIC.....76

7.3.5 ผลการทดลอง.....77

บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์.....78

บรรณานุกรม.....80

ภาคผนวก.....81

ภาคผนวก ก. ภาพแสดงวงจรการวัดอุณหภูมิและความชื้น.....82

ภาคผนวก ข. ภาพการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท.....18

2.2 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Chlorofluorocarbons (CFCs).....19

2.3 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Hydrochlorofluorocarbons.....20

2.4 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Hydrofluorocarbons.....20

2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารทำความเย็นแต่ละประเภท.....21

3.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของโมดูล SHT 15.....32

3.2 แสดงค่าเวลาที่โมดูล SHT 15 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล.....33

3.3 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 และ 2 ($d1$ และ $d2$) เพื่อ
คำนวณหาค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้.....34

3.4 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้.....35

3.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของ SHT15.....43

4.1 เปรียบเทียบความถี่ที่วัดได้จากAnemometer.....47

7.1 แสดงการจัดระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศด้วยค่า EER.....66

7.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำตามมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ.....69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 Sadi Nicolas Leonard Carnot.....7

2.2 Carnot Cycle.....7

2.3 แผนภูมิความดัน-เอนธาลปี.....8

2.4 แสดง 5 ปัจจัยควบคุมหลักของการปรับ.....9

2.5 การทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ.....11

2.6 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....13

2.7 ระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศ.....15

2.8 แสดงความแตกต่างระหว่างระบบควบคุมการปรับอากาศแบบธรรมดา
กับการควบคุมแบบ Inverter.....15

2.9 สถานะสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ.....16

2.10 กระบวนการของแสงอาทิตย์ที่ส่องไปยังหน้ากระจก.....22

2.11 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง.....24

2.12 เครื่องปรับอากาศแบบ CASSETTE TYPE.....25

2.13 Condensing Unit แบบระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ.....26

2.14 Condensing Unit แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.....26

2.15 เครื่องส่งลมเย็น.....28

3.1 Sensor SHT 15.....30

3.2 block Diagram ของ Sensor SHT 15.....31

3.3 การติดต่อสัญญาของ SHT 15 กับส่วนคอนโทรลเลอร์.....31

3.4 Transmission start.....32

3.5 การรีเซตการเชื่อต่อข้อมูล.....33

3.6 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 (AT89C52).....36

3.7 การจัดขาของ MCS-51 (AT89C52).....37

3.8 จอแสดงผล LCD 16*2.....39

3.9 วงจร Supply.....40

3.10 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ SHT15.....41

3.11 ชุดคอนโทรลเลอร์ที่ใช้แสดงผลของโมดูล SHT15.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.12 การทดสอบความแม่นยำของ SHT15.....43

3.13 (Psychometric Chart).....44

4.1 Anemometer.....45

4.2 การหาความเร็วลมด้วย Anemometer.....46

4.3 Anemometer มาตรฐาน.....46

4.4 สัญญาณความถี่ที่ได้จาก Anemometer มาตรฐาน.....47

4.5 สัญญาณความถี่ที่ได้จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นเอง.....47

4.6 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณความถี่ของ Anemometer.....48

4.7 ลักษณะของใบพัด.....49

5.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....51

5.2 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....53

5.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....55

5.4 แผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....56

5.5 (a) ,(b) สามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า.....57

5.6 (a) ,(b) การต่อเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าเข้ากับวงจร.....58

5.7 วัตต์มิเตอร์.....59

6.1 หน้าต่างโปรแกรม Visual Basic 6.....61

6.2 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม.....63

6.3 โปรแกรมคำนวณและเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ.....64

7.1 แผนภาพ ความดัน-เอนธาลปี.....65

7.2 เซนเซอร์ SHT15.....71

7.3 Anemometer.....72

7.4 Power meter.....72

7.5 ตลับเมตร.....73

7.6 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต.....73

7.7 การวัดอุณหภูมิด้านลมกลับ.....74

7.8 การวัดอุณหภูมิได้ลมจ่าย.....74

7.9 ลักษณะการวัดกำลังที่เครื่องปรับอากาศใช้งาน.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

7.10 หน้าโปรแกรมในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....76
7.11 หน้าโปรแกรมในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศจากผลการทดลอง.....77
ก.1 แสดงวงจรการวัดอุณหภูมิและความชื้น.....82
ข.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีราคาสูงมาก ทั้งราคาน้ำมัน ค่าไฟฟ้า ดังนั้นการจะประกอบการใดหรือทำกิจกรรมใด ๆ ควรคำนึงถึงพลังงานที่เสียไปว่ามีความเหมาะสมกับสิ่งที่ได้ รับ หรือไม่ และเครื่องปรับอากาศก็เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งสำคัญกับมนุษย์มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม (ส่วนสำนักงาน) บ้านพักที่อยู่อาศัยรวมถึงในส่วนราชการมักนิยมติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เนื่องจากข้อดีหลายประการเช่น กะทัดรัด ดูแลง่าย มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง มีหลายหน้าตา และขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของห้องต่าง ๆ กัน หาซื้อง่ายและไม่ต้องใช้เทคนิคในการติดตั้งสูงนัก เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก เมื่อเทียบกับขนาดความเย็นที่ทำได้ (สมรรถนะในการทำความเย็นที่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบอื่น) จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ใช้งาน เจ้าหน้าที่ส่วนซ่อมหรือวิศวกรในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศประเภทนี้ ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการใช้งานที่ประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงสุด ดังนั้นถ้าหากเราทราบว่าเครื่องปรับอากาศที่กำลังใช้งานอยู่นี้มีค่าสมรรถนะการทำความเย็นเป็นเท่าไร เราก็จะสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสมกับระยะเวลาและงบประมาณที่มีอยู่และสามารถนำผลที่ได้ไปประเมินผลต่อในเชิงของการประหยัดพลังงาน

ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (Energy Efficiency Ratio:EER) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถการทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ

โครงงานการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ เป็นโครงงานที่ใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เพื่อพิจารณาว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องนี้สามารถทำความเย็นได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ชนิดติดผนังห้อง มาตรฐานเลขที่ มอก.1155 หรือไม่ โดยอาศัยเซนเซอร์และเครื่องมือดังต่อไปนี้ในการหาค่าประสิทธิภาพ เครื่องปรับอากาศ

1. เซนเซอร์ SHT15 ใช้ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) และค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (^{0}C)
2. เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer ที่มี Photomicrosensors
3. Power meter วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่คออมเพลสเซอร์ ในหน่วย กิโลวัตต์
4. ตลับเมตร เพื่อวัดพื้นที่ด้านจ่ายลมเย็น (หน้าคอยล์เย็น)
5. แผนภูมไซโครเมตริก (Psychometric chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกับการพัฒนาโปรแกรมภาษาระดับสูงในการประยุกต์ (MICROSOFT VISUAL BASIC) ขึ้นมาสนับสนุนการทำงานในส่วนการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและค่าความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น ภาษาที่เลือกใช้ในการควบคุมเซ็นเซอร์ SHT15 วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ วัดค่าอุณหภูมิ ก็คือภาษา ซี เนื่องจากเป็นภาษาที่ใช้ง่ายและมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ

2. เพื่อให้มีความรู้ถึงสิ่งที่ผลกระทบต่อการทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ เช่น แสง ลม อุณหภูมิภายนอกห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

3. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

4. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในการวัดค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) ทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติ

5. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะงานต่าง ๆ ที่ต้องการตรวจสอบ

6. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในการใช้ภาษาซีในการควบคุมเซนเซอร์ และการแสดงผลผ่านจอ ของ LCD

7. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในการพัฒนาโปรแกรมภาษาระดับสูงใน การประยุกต์ (MICROSOFT VISUAL BASIC) ในส่วนการแสดงผลค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER)

8. นำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาตามหัวข้อต่าง ๆ ประยุกต์ใช้ในการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถออกแบบและสร้างเซนเซอร์ตรวจสอบหาค่า อุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในหน่วย เปอร์เซ็นต์

2. สามารถออกแบบและสร้าง โมดูลตรวจสอบหาค่า ความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น

3. สามารถใช้ Power meter ตรวจสอบหาค่า กำลังงานที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำงานในหน่วย กิโลวัตถ์

4. สามารถเขียนโปรแกรม MICROSOFT VISUAL BASIC ในส่วนของการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) และความเร็วลมหน้าคอยเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในส่วนของขั้นตอนการศึกษานั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนแรก จะทำการวางแผนงาน โดยการกำหนดออกมาเป็นรูปแบบของตารางเวลาและหน้าที่ แล้วทำการหาข้อมูลที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ อาทิเช่น หลักการของระบบทำความเย็น การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ การทำงานของเซนเซอร์ และเครื่องมือต่างที่ใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) เพื่อให้มีเข้าใจถึงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และนำความรู้เบื้อต้นนี้ไปใช้ในการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยทำการศึกษาจากหนังสือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศ หนังสือที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น ศึกษาถึงการทำงานของไมโครคอลโทรเลอร์ตระกูล AT89C52 และการแสดงผลผ่านจอ LCD

ส่วนที่สอง เมื่อได้เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการได้ในระดับหนึ่ง จึงทำการพิจารณาถึงเซนเซอร์ที่ต้องการใช้งานให้มีความเหมาะสม ใช้งานง่ายและมีความแม่นยำในการวัดสูง ซึ่งก็ได้เซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ คือ Sensor SHT15 ของบริษัท Sensirion และโมดูลที่ใช้วัดความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น Anemometer ที่มี Photomicrosensors (653-EE-570) ของ OMRON เป็นตัวส่งสัญญาณพัลส์ (Pulse) ต่อจากนั้นทำ การจัดหาซื้อเซนเซอร์ต่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น เมื่อทำการจัดหาเซนเซอร์ต่าง ๆได้ครบแล้ว จึงทำการออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์ที่จะใช้ในการควบคุมเซนเซอร์และทำการควบคุมเซนเซอร์ โดยใช้ไมโครคอลโทรเลอร์ตระกูล AT89C52 ที่มีโปรแกรมภาษาซีในการติดต่อระหว่าง ตัวเซนเซอร์และชุดแสดงผล LCD

ส่วนที่สาม เป็นส่วนของการสอบเทียบว่าเซนเซอร์ตัวต่าง ๆ ที่ได้ทำขึ้นมามีค่าความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดขนาดไหน มีค่าแตกต่างจากตัว Standard มากน้อยเพียงใด เมื่อทำการปรับแต่งจนเซนเซอร์จนมีความแม่นยำ จึงทำการเก็บค่าจากเซนเซอร์ และทำการการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยมีโปรแกรมภาษาระดับสูงในการประยุกต์ (MICROSOFT VISUAL BASIC) ช่วยในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ

2.1 ประวัติและความเป็นมาของระบบทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ

ในปี 1902 หนึ่งปีหลังจาก Willis Havilland Carrier สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ทางวิศวกรรม จาก Cornell เครื่องทำความเย็นเครื่องแรกของโลกก็ถือกำเนิดขึ้นโดยสามารถปรับอุณหภูมิ และความชื้นให้แก่โรงพิมพ์ใน Brooklyn เขาได้กลายเป็นบิดาแห่งเครื่องปรับอากาศในเวลาต่อมา Willis Havilland Carrier ได้ฉุกคิดถึงระบบปรับอากาศโดยบังเอิญขณะที่เขากำลังนั่งรถไฟคืนที่มีหมอกมาก ๆ ทำให้เขานึกถึงปัญหาของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและอุณหภูมิในอากาศขณะที่รถไฟมาถึง เขาก็เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นและจุดควบแน่น (Dew Point) ประเภทโรงงานที่ต้องการการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เช่น โรงงานยาสูบ ฟิล์ม เนื้อสัตว์ โรงงานทอผ้า และอื่นๆ ระบบทำความเย็นสำหรับผู้คนแทนที่จะเป็นสินค้าเริ่มขึ้นเมื่อปี 1924 เมื่อเครื่องปรับอากาศถูกติดตั้งที่ห้างสรรพสินค้า J.L. Hudson ที่ Detroit ในช่วงปี 1920 ระบบทำความเย็นได้ถูกติดตั้งตามอาคารประเภทต่าง ๆ เช่น โรงละคร โรงแรมและห้างสรรพสินค้า แต่ในอาคารสำนักงานยังไม่เป็นที่นิยมนัก ช่วงกลางทศวรรษซึ่งเป็นช่วงที่วงการก่อสร้างในอเมริกามีความตื่นตัวอย่างมาก อาคารสำนักงานมีการแข่งขันกันมากขึ้นแต่ยังคงเน้นที่รูปลักษณ์ความยิ่งใหญ่ อาคารสูงอย่างเช่น Woolworth Building และ Chrysler Building ยังคงเป็นอาคารที่พึ่งพาแสงและการระบายอากาศแบบธรรมชาติอยู่ การออกแบบอาคารสำนักงานในสมัยนั้นจะต้องคำนึงถึงการรับแสงจากธรรมชาติเป็นหลัก การพัฒนาประสิทธิภาพของอาคารในแง่ของความสบายในการใช้งานได้รับความสนใจมากขึ้นจากการออกแบบที่พึ่งพาธรรมชาติมาเป็นแบบที่ผนวกเอาเครื่องจักรเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ อาคารสำนักงานที่ปรับอากาศ ทั้งหลังเกิดขึ้นครั้งแรกที่เมือง San Antonio มลรัฐ Texas ในปี 1929 อาคาร Milam ถูกโฆษณาว่าเป็นอาคารหลังแรกของอเมริกาที่สามารถสร้างอากาศที่สบายสำหรับผู้ ใช้งานได้ตลอดทั้งปี

ระบบทำความเย็นได้รับความสนใจอย่างสูง Condenser ซึ่งใช้น้ำจากแม่น้ำมาทำน้ำเย็น ซึ่งน้ำเย็นจะถูกเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ ก่อนที่จะถูกส่งไปเป่าให้พื้นที่ในอาคาร ผ่านทางท่อส่งเหนือทางเดิน อากาศจะถูกหมุนเวียนกลับโดยพัดลมผ่านท่อตามทางเดิน

Le Corbusier ประกาศว่าเขาจะออกแบบระบบปรับอากาศ โดยใช้ช่องว่างระหว่างกระจกสองชั้นเป็นท่อส่ง อุณหภูมิของอากาศที่ส่งไปยังพื้นที่ต่าง ๆ จะมีอุณหภูมิประมาณ 18 องศาเซลเซียส เท่ากันหมด เขาเรียกระบบนี้ว่า Lemurneutralisant (Neutralizing Wall) ระบบนี้ถูกใช้ในผนังทางทิศใต้ของอาคาร Salvation Army ที่ปารีส เขาคาดหวังว่าแสงอาทิตย์ในหน้าหนาวจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศระหว่างกระจกมีความอบอุ่น ก่อนที่จะถูกส่งไปตามพื้นที่ภายในอาคาร อาคารถูกเปิดใช้งานในปี 1933 อากาศภายในอาคารในช่วงหน้าหนาว ได้ผลตามที่ต้องการหากแต่หน้าร้อนเป็นสภาพที่ทรมานกับความร้อนที่สูงมากของผนังกระจกซึ่ง Le Corbusier พยายามที่จะใช้เป็นช่องท่อสำหรับระบบทำความเย็น แต่งบประมาณสำหรับก่อสร้างมากเกินไป ไม่เหลือพอที่จะสร้างระบบทำความเย็นได้ ผลสรุปสุดท้ายทำให้ต้องเปลี่ยนเป็นหน้าต่างแบบเปิดได้ และติดเพิ่มแผงกันแดดเข้าไป เพื่อบังแดดให้ผนังทางทิศใต้นี้ และนี่ก็เป็นจุดที่ทำให้พัฒนาการของแผงกันแดดหรือ brise-soleil ได้รับความสนใจมากขึ้น

ในปี 1928 Willis Havilland Carrier ได้พัฒนาเครื่องปรับอากาศสำหรับใช้ในบ้านเรือนที่เรียกว่า Weather maker แต่สงครามโลก ครั้งที่ 2 ทำให้ความสนใจในระบบปรับอากาศนี้ชะงักอยู่ระยะหนึ่งก่อนที่จะกลับมาสู่วงจรแห่งการพัฒนาหลังจากนั้นอาคาร PSFS สูง 32 ชั้นที่ Philadelphia ในปี 1932 ได้ออกแบบให้มีห้องเครื่องที่ชั้น 21 ชั้นดาดฟ้าและชั้นใต้ดิน เพื่อเป็นการลดพื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับช่องท่อ ทำให้เหลือพื้นที่สำหรับใช้งานมากขึ้น การออกแบบทางสถาปัตยกรรม ได้พึ่งพาความได้เปรียบในการสร้างอากาศโดยเครื่องจักรจนทำให้การออกแบบรูปทรงอาคารไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับการระบายอากาศโดยธรรมชาติหรือแสงธรรมชาติอีกต่อไป

2.2 ระบบทำความเย็นและประโยชน์ของระบบทำความเย็น

การทำความเย็นคือ การลดและรักษาระดับอุณหภูมิของเนื้อที่ว่างหรือของเคหะวัตถุต่าง ๆ ให้ต่ำกว่าปกติ เช่น การทำความเย็นในตู้เย็น ตู้น้ำเย็น ตู้แช่ ห้องเย็น โรงน้ำแข็ง เป็นต้น

การเกิดความเย็นในเครื่องทำความเย็นรวมทั้งเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็นตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เครื่องปรับอากาศในบ้าน เครื่องปรับอากาศในอาคาร หรือการทำความเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป จะมีหลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดความเย็นเหมือนกันคือ การทำให้สารซึ่งเป็นตัวกลางในการทำความเย็น (refrigerant) เปลี่ยนสถานะ เพราะขณะเปลี่ยนสถานะสารทุกชนิดต้องการความร้อนแฝงเข้ามาช่วยเสมอ ดังนั้นถ้าเราทำให้สารนี้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอจะเกิดการดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลง จึงเกิดความเย็นขึ้น

ในปัจจุบันเราอาศัยระบบทำความเย็นมาใช้ในงานด้านต่างๆมากมายได้แก่

1. การผลิตอาหาร (food processing) เช่น การผลิตนม ไอศกรีม ซึ่งต้องอาศัยการทำความเย็นในการทำพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) ด้วยการให้ความร้อนแก่นมที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 80 ^{o}C หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นลงอย่างลวดเร็ว และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 - 3 ^{o}C เพื่อรักษาคุณภาพของนมก่อนส่งไปจำหน่าย การผลิตไอศกรีมก็จะต้องผ่านการพาสเจอร์ไรส์ และนำไปผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20 ถึง -28 ^{o}C การผลิตไวน์และเบียร์ในกระบวนการหมัก (fermentation) กระบวนการบ่ม (mellowing) ต้องทำภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 5 - 15 ^{o}C เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเก็บรักษาอาหาร (food storage) ในการเก็บรักษาหรือถนอมอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ให้มีอายุในการเก็บรักษานานขึ้นเพื่อการบริโภคหรือเพื่อการจำหน่าย สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ซึ่งเป็นการลดการแพร่ขยายของแบคทีเรียต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้อาหารเน่าเสีย เช่น อาจจะเก็บรักษาผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์ไว้ในสภาพอาหารสด (fresh food) จะต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ต้องสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) ซึ่งจะมีช่วงเวลาในการเก็บรักษาสั้นกว่าการเก็บรักษาในสภาพอาหารแช่แข็ง (fresh food) ซึ่งต้องนำผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์มาทำการแช่แข็งและเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิเยือกแข็ง

3. การผลิตในงานอุตสาหกรรม (industrial process) งานอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ต้องอาศัยการทำความเย็นช่วยในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี โรงกลั่น โรงแยกก๊าซ โรงงานสบู่

4. การทำความเย็นเพื่อนใช้ในการขนส่ง (transportation process) เช่น ห้องเย็นที่ใช้ในเรือประมง ห้องเย็นที่ใช้ในเรือเดินทะเล ซึ่งใช้ขนส่งอาหารแช่แข็งไปจำหน่ายในต่างประเทศ หรือรถห้องเย็นที่ใช้ขนส่งผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งระหว่างโรงงานผลิตไปยังจังหวัดที่อยู่ห่างไกล ซึ่งทั้งหมดจะทำงานโดยอาศัยหลักการของระบบทำความเย็น

5. การปรับอากาศ (Aircondition) เป็นสาขางานหนึ่งซึ่งอาศัยการทำความเย็น มาประยุกต์ใช้มากที่สุดโดยจะทำงานร่วมกับระบบควบคุมความชื้น การกรองอากาศ การทำให้อากาศหมุนเวียน การระบายอากาศ เพื่อความสุขสบายของคน เช่นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป หรืองานปรับอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงพิมพ์ โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานผลิตยา

2.3 ชนิดของระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นมีด้วยกันมากมายหลายแบบ บางแบบใช้งานแล้วให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงก็จะถูกพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ บางระบบถ้าใช้งานแล้วประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำก็จะถูกเลิกใช้ ในที่นี้หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบ่งได้ดังนี้

1. ระบบทำความเย็นโดยปล่อยสารทำความเย็นให้ระเหยตัว
2. ระบบคอมเพลสเซอร์อัดไอ)ระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ(
3. การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็ง
4. การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง
5. การทำความเย็นโดยใช้การระเหยตัวของน้ำ
6. การทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก
7. การทำความเย็นระบบสตรีมเจ็ด
8. การทำความเย็นแบบแอบเซอร์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในโครงนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้กันในเครื่องปรับอากาศและเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นค่อนข้างสูง

2.3.1 ระบบอัดไอ (The Vapor -Compression System)

The Vapor-Compression System ระบบอัดไอเป็นระบบที่ใช้ในการทำความเย็นและปรับอากาศทั่ว ๆ ไป จัดเป็นระบบที่มีความสำคัญที่สุดที่มีการจำหน่ายกันอยู่ในปัจจุบันนี้ ซึ่งไม่ว่าจะเป็น ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศ ที่ใช้ในบ้าน ในอาคาร ศูนย์การค้า และโรงภาพยนตร์ โรงงานทำน้ำแข็ง ห้องแช่แข็ง รวมทั้งโรงเย็นล้วนแต่เป็นระบบอัดไอ (The Vapor -Compression System) ทั้งสิ้นซึ่งมีการพัฒนามาจาก The Car not cycle

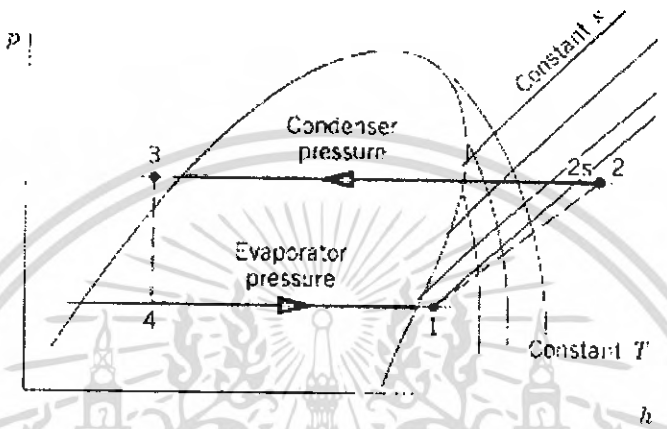
ภาพที่ 2.1 Sadi Nicolas Leonard Car not

Sadi Nicolas Leonard Car not นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้คิดเครื่องจักรกลความร้อน Car not Engine ซึ่งทำงานในระบบ The Car not cycle

ภาพที่ 2.2 Car not Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Car not Cycle เป็นเครื่องจักรกลความร้อนที่ต้องอาศัยแหล่งของความร้อน เมื่อเครื่องจักรได้รับความร้อน แก๊สที่อยู่ภายในกระบอกสูบจะขยายตัวดันลูกสูบเคลื่อนที่ลงส่งกำลังผ่านเพลาข้อเหวี่ยง แก๊สที่ขยายตัวนี้ถูกระบายความร้อนออกแล้วจึงหมุนดันลูกสูบเคลื่อนที่ ขึ้นมาที่ด้านบนอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 2.3 แผนภูมิความดัน-เอนธาลปี

หลักการทำงานของระบบ Car not Cycle

1. กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบ (Isentropic Compression) โดยคอมเพรสเซอร์ จะทำการอัดสารทำความเย็นในสภาวะไออิ่มตัว ให้มีความดันเท่ากับความดันที่คอยล์ร้อน (Condenser)

2. กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่แบบย้อนกลับได้ โดยทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอตง (Superheated Vapor) จะถูกทำให้เย็นลงจนเกิดการกลั่นตัวของสารทำความเย็น

3. กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัว หรือ กระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะถูกลดความดันลงมากลายเป็นของผสมที่ความดันที่คอยล์เย็น (Evaporator)

4. กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเดือดจนกลายเป็นไออิ่มตัว

เนื่องจาก Car not Cycle เป็น วัฏจักรที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดและตั้งแต่มนุษย์พยายามหาระบบต้นกำลังที่เคลื่อนที่ได้เอง ปรากฏว่ายังไม่มีใครที่จะสร้างเครื่องจักรCar not Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

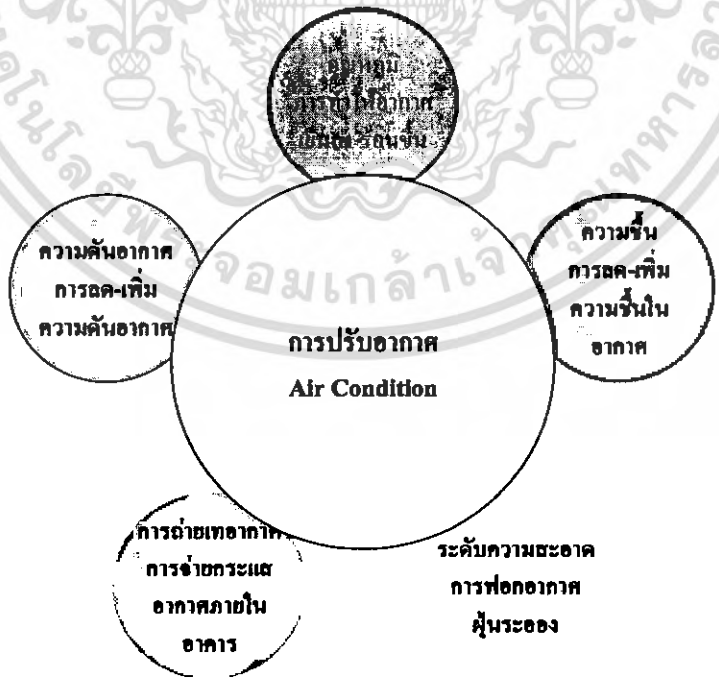
ได้เนื่องจากมีขีดจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น การระบายความร้อนออกอย่างมีประสิทธิภาพและที่สำคัญ คือการจัดลำดับขบวนการ จะต้องทำให้เกิดการที่ซ้ำแบบวัฏจักรได้เมื่อระบบเริ่มสตาร์ทได้แล้ว เครื่องจักรก็จะเดินเครื่องต่อเนื่องกัน

2.4 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

2.4.1 ความหมายของการปรับอากาศ

การปรับอากาศคืออะไร ถ้าจะกล่าวอย่างสั้นๆ ก็คือ การปรับและรักษาสภาพอากาศภายในอาคารโดยมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์สามารถอยู่ภายในอาคารนั้นได้อย่างมีความสุข และปัจจัยควบคุมที่ต้องมีเพื่อการปรับอากาศ ซึ่งรายละเอียดการปรับปัจจัยควบคุมแต่ละปัจจัยดังนี้

1. การปรับอุณหภูมิ: การทำให้อากาศเย็นลง หรือ ร้อนขึ้น
2. ความชื้น: การลดหรือเพิ่มความชื้นในอากาศ
3. กระแสอากาศ: การปรับความเร็วกระแส-การจ่ายกระแสอากาศภายในอาคาร
4. ระดับความสะอาด : การลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการกำจัดฝุ่นผง กลิ่นก๊าซพิษ เป็นต้น
5. ความดันอากาศ : การลด-เพิ่มความดันอากาศภายในอาคารและการรักษาสมดุล ของแรงดันอากาศที่เหมาะสมภายในอาคาร



ภาพที่ 2.4 แสดง 5 ปัจจัยควบคุมหลักของการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานเขียนทั่วไป หัวข้อที่ 5 การปรับความดันอากาศนั้นมักจะไม่ถูกนำมาจัดเป็นปัจจัยควบคุมในการปรับอากาศ แต่ในปัจจุบัน ตามโรงพยาบาล ห้อง Clean Room อาคาร พลังงานปรมาณู HACCP โรงงานอาคารที่มีลักษณะรูปร่างเป็นระบบปิดเป็นต้นนี้ การควบคุมแรงดันถือเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ เป็นการะบวนการควบคุมการปรับอากาศที่สำคัญที่เราไม่สามารถมองข้ามได้

หมายเหตุ: "HACCP" ย่อมาจาก Hazard Analysis Critical Control Point หมายถึงการรักษาความปลอดภัยของอาคาร

อนึ่งพจนานุกลมศัพท์เฉพาะทางของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การปรับอาคารและการสาธารณสุขได้นิยามคำว่า " การปรับอากาศ (Air condition) " ไว้ว่าเป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิ ความชื้น และการกระจายตัวของอากาศเป็นไปตามความต้องการของห้องนั้น ๆ ภายในเวลาเดียวกัน เรียกย่อ ๆ ว่า "ปรับอากาศ" การปรับอากาศนี้ สามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของห้องที่จะดำเนินการได้เป็น "การปรับอากาศเพื่อความสบาย" "การปรับอากาศเพื่อการทำงาน" "การปรับอากาศเพื่อกระบวนการผลิต" หรือ "การปรับอากาศเพื่อสุขภาพ" ในการปรับอากาศนี้ นอกจากจะต้องมี เครื่องปรับอากาศ หรือ air condition ซึ่งประกอบไปด้วยแอร์-ฟิลเตอร์ซึ่งเป็นตัวปรับระดับความสะอาด อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศที่ส่งเข้ามาภายในอาคารแล้วก็ยังมี Air coil เครื่องทำความชื้น (humidificr) พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น รวมประกอบกันเป็นเครื่อง 1 เครื่อง แล้วเรียกว่า "เครื่องปรับอากาศ หรือ แอร์คอนดิชั่น" นอกจากนี้ ยังประกอบไปด้วยท่อ เครื่องทำความเย็น หม้อน้ำ เป็นต้น ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการปรับอากาศ

ถ้าจะมองในอีกแง่มุมหนึ่งแล้ว การปรับอากาศนี้เป็นการรวมเอาแต่ละเทคโนโลยีของ "การทำความร้อน" "การทำความเย็น" "การระบายอากาศ" ซึ่งเป็นขั้นตอนก่อนการปรับอากาศนี้เข้าด้วยกัน จะเรียกว่าเป็น เทคโนโลยีรวมการควบคุมอากาศ ก็ย่อมได้

2.4.1.1 การทำความร้อน (heating)

การทำความร้อนหมายถึง การรักษาอุณหภูมิในอาคารนั้น ๆ ให้ได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการจากการเพิ่มความร้อนให้กับอากาศภายในอาคาร โดยวิธีต่าง ๆ ในกรณีที่อาจเกิดมีการปล่อยความร้อนจากในห้องนั้นออกไปนอกห้อง หรืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจากภายนอกรั่วไหลเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารต่ำลงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ

2.4.1.2 การทำความเย็น (cooling)

การทำความเย็น คือ การให้อากาศที่มีอุณหภูมิที่กำหนดไหลผ่านเข้าไปในห้อง หรือการลดอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ในห้องที่สูงขึ้น จากความร้อนที่ปล่อยออกมาจากห้องนั้นให้ลงมาเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ พร้อมกันนี้ก็มักจะมีการลดความชื้นของอากาศให้เป็นไปตามที่ต้องการไปพร้อมกันโดยทั่วไปการใช้ประโยชน์จากลมเย็นของ "อุปกรณ์ปรับอากาศ" ก็สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของการปรับอากาศได้ แต่ก็มีอีกวิธีหนึ่งที่ใช้การทำผนังหรือเพดานให้เย็นเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

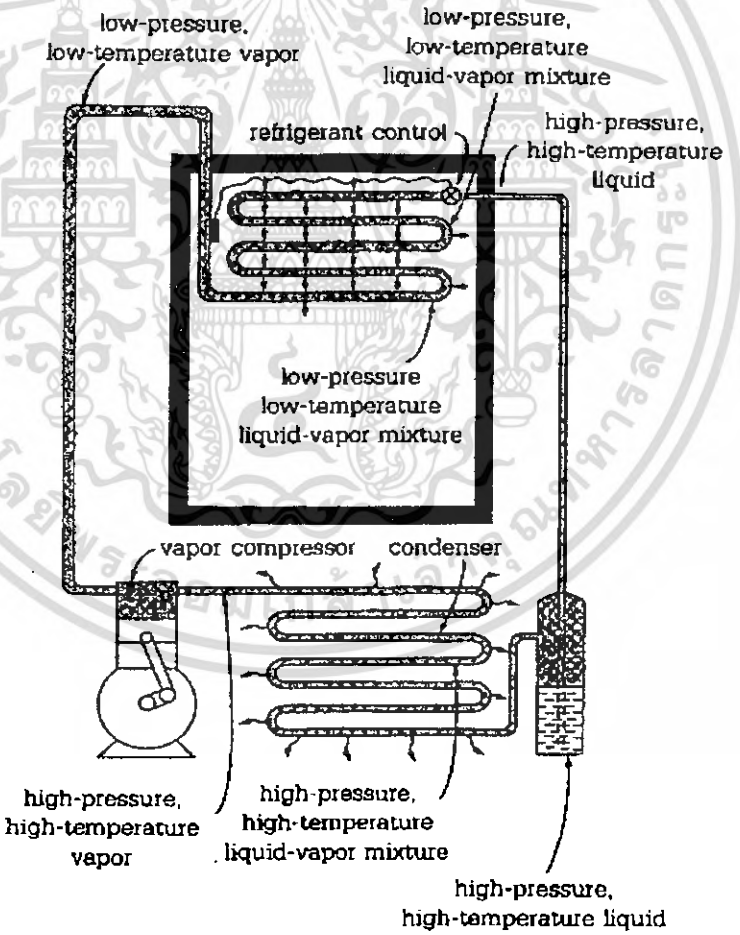
เป็นการดูดซับรังสีความร้อนที่ผู้อยู่ภายในห้องปล่อยออกมาได้โดยตรง ซึ่งจะทำให้ผู้ที่อยู่ในห้องรู้สึกสบาย

2.4.1.3 การระบายอากาศ (ventilation)

การระบายอากาศ คือ การใช้ประโยชน์ของแรงจากธรรมชาติ (ความแตกต่างของอุณหภูมิ แรงลม) หรือแรงจากเครื่องจักร (เครื่องเป่าลม เครื่องดูดฝุ่น) เพื่อแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอกห้อง ซึ่งรวมไปถึงการส่งอากาศไปยังอุปกรณ์ เป็นต้น

2.4.2 วงจรพื้นฐานของระบบทำความเย็น

วงจรพื้นฐานของระบบทำความเย็นและปรับอากาศประกอบด้วยอุปกรณ์หลักอยู่ 5 อย่าง และมีระบบท่ออีก 3 ท่อ ดังรูปนี้



ภาพที่ 2.5 การทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์หลัก

1. คอมเพลสเซอร์ (Compressor)
2. คอนเดนเซอร์ (Condenser)
3. รีซีฟเวอร์ (Receiver)
4. ลิ้นลดความดัน (Expansion valve or refrigerant)
5. เครื่องละเหย (Evaporator)

ระบบท่อ

6. ท่อดิสชาร์จ (Discharge line)
7. ท่อลิควิด (Liquid line)
8. ท่อซักชั่น (Suction line)

2.4.3 การทำงานของระบบปรับอากาศ

การทำงานของระบบปรับอากาศ เริ่มต้นที่สารทำความเย็น (Refrigerants) เพราะว่าถ้าปราศจากสารทำความเย็นแล้ว ไม่ว่าการทำความเย็นหรือปรับอากาศก็จะไม่เกิดขึ้น ที่สำคัญที่สุดคือคุณสมบัติของสารทำความเย็น คือ สารที่ดูดความร้อนเข้าสู่ตัวเองที่อุณหภูมิต่ำ และระบายความร้อนออกที่อุณหภูมิสูง ยกตัวอย่าง เช่น CFC-12 ซึ่งเป็นสารทำความเย็นยอดนิยมมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 จนยกเลิกการผลิตไปในปี ค.ศ. 2000

สารทำความเย็น CFC-12 มีจุดเดือดที่ -29.8 °C และมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ 39.97 kcal/kg ถ้าเปรียบเทียบจุดเดือดกับน้ำ ซึ่งมีจุดเดือดที่ 100 °C แล้วสารทำความเย็น CFC-12 มีจุดเดือดที่ต่ำกว่า จึงมีความเหมาะสมมากกว่าที่จะนำไปใช้เป็นสารทำความเย็น

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นที่เข้ามาทางท่อซักชั่น (Suction line) หรือ ท่อดูดสารทำความเย็นที่ดูดเข้ามานี้มีสถานะเป็นไอ (ไออิ่มตัว Saturated vapor) มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ แล้วอัดออกไปด้วยกำลังของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ออกมาทางท่อดิสชาร์จ (Discharge line) หรือท่อจ่ายสารทำความเย็นที่ถูกอัดออกไปนี้จะมีสถานะเป็นไอ(ไอยิ่งยวด superheated vapor) มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่ถูกอัดออกมาจาก คอมเพรสเซอร์ เข้ามาทางท่อท่อดิสชาร์จ (Discharge line) หรือท่อจ่าย มีสถานะเป็นไอ (ไอยิ่งยวด Superheated vapor) มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง หลังจากระบายความร้อนออกแล้ว สารทำความเย็นจะมีสถานะเป็นของเหลว (ของเหลงอิ่มตัว Saturated liquid) มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

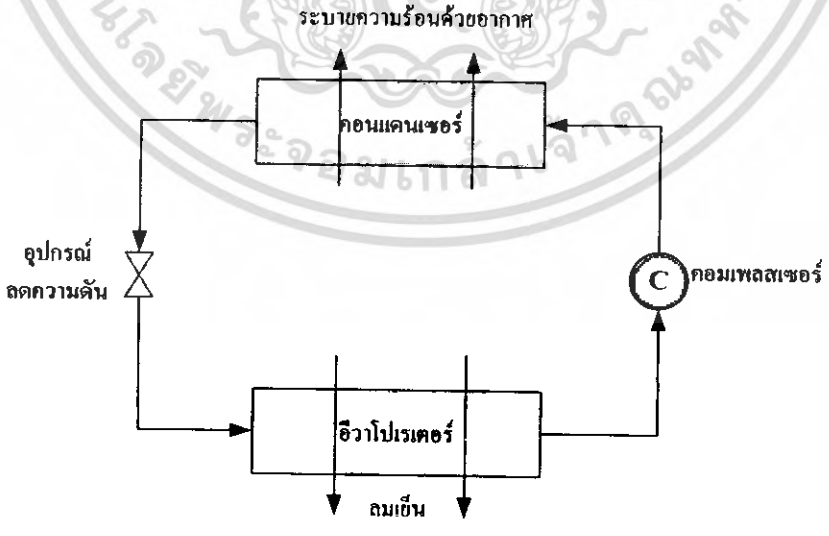
ดรายเออร์และรีซีฟเวอร์ (Drier & receiver) สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ จะถูกส่งมาที่ ดรายเออร์และรีซีฟเวอร์เพื่อทำการกรอง , ดูดความชื้น และพักสารทำความเย็นเพื่อจะส่งต่อไปยัง แอ็กซแพนชั้นวาล์ว ผ่านทางท่อลิควิด (Liquid line)

แอ็กซแพนชั้นวาล์ว (Expansion valve) ทำหน้าที่ทำหน้าที่ลดความดัน ของสารทำความเย็น และควบคุมสารทำความเย็นที่ฉีดเข้าสู่อีวาโปเรเดอร์ ให้พอเหมาะที่จะกลายเป็นไอใน อีวาโปเรเตอร์ การฉีดนั้นเช่นเดียวกับการฉีดน้ำทางท่อยางที่บีบปลายท่อไว้ สารทำความเย็นจะถูกฉีดเข้าไปเป็นฝอย จะมีสถานะเป็นไอเปียก มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ เข้าสู่ อีวาโปเรเตอร์

อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) รับสารทำความเย็นที่ฉีดออกมาจากแอ็กซแพนชั้นวาล์ว ซึ่งมีลักษณะเป็นฝอย มีสถานะเป็นไอเปียก มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำเนื่องจากคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่มีจุดเดือดที่อุณหภูมิต่ำ ที่อีวาโปเรเตอร์นี้เองที่สารทำความเย็นจะดูดความร้อนเข้าสู่ตัวเองแล้วกลายเป็นไอ (ไออิ่มตัว มีความดันต่ำ และอุณหภูมิต่ำ) ออกจากอีวาโปเรเตอร์แล้วถูกดูดเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ เมื่อความร้อนของอากาศโดยรอบอีวาโปเรเตอร์ถูกดูดออกไป ที่เหลือก็คืออากาศเย็นที่พัดออกมาทางช่องลมเย็นนั้น

2.4.4 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศนั้นก็คือการนำเอาความร้อนจากที่ที่ต้องการทำความเย็น (ภายในห้อง) ถ่ายเทไปสู่ที่ที่ไม่ต้องการทำความเย็น (ภายนอกห้อง) โดยผ่านตัวกลางคือสารทำความเย็นหรือที่เรียกกันว่าน้ำหรืออากาศซึ่งจะมีลักษณะการทำงานดังรูป



ภาพที่ 2.6 ระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คอมเพรสเซอร์จะทำหน้าที่ดูดน้ำยาที่เป็นไอจากอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นไอสารทำความเย็นที่ดูดเข้ามา จะมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ ด้วยไอน้ำจะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์ทางท่อดูด (Suction Line) และตัวคอมเพรสเซอร์จะอัดน้ำยาที่เป็นไอนี้ให้มีความดันสูงขึ้นและขณะที่ไอน้ำยานี้ความดันสูงขึ้นอุณหภูมิสูงขึ้น การที่ไอน้ำยามีความดันสูงขึ้นนี้จะมีผลให้จุดเดือดสูงขึ้นด้วย

2. จากนั้นไอน้ำยาจะถูกดันออกท่อทางส่ง (Discharge Line) และส่งผ่านไปยังคอนเดนเซอร์ (Condenser) ตัวคอนเดนเซอร์ทำหน้าที่รับเอาไอน้ำยา และระบายความร้อนออกจากไอน้ำยาผ่านตัวกลางซึ่งปกติคืออากาศ ไอน้ำยาจะมีอุณหภูมิต่ำลงจนควบแน่นเป็นของเหลวแต่ยังคงมีความดันสูงและอุณหภูมิสูง

3. สารทำความเย็นเหลวจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ลดความดัน (Explanation Valve) ซึ่งมีหน้าที่ลดความดันของน้ำยาก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) มีผลให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ

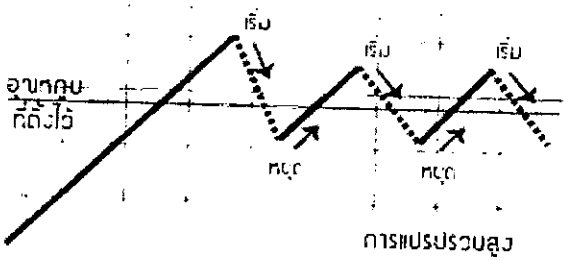
4. เมื่อสารทำความเย็นไหลเข้าอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ก็จะรับความร้อนผ่านตัวกลางซึ่งปกติ คืออากาศมีผลให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอ ไอสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำและไหลกลับเข้า คอมเพรสเซอร์เพื่อทำการเพิ่มความดันต่อไป

ระบบการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะทำงานวนเวียนเป็นวัฏจักรแบบนี้ตลอดเวลาที่คอมเพรสเซอร์ยังคงทำงานอยู่ และน้ำที่มีอยู่ในระบบจะไม่มีการสูญเสียไปไหนเลย นอกเสียจากว่าจะเกิดการรั่วซึมที่ใดที่หนึ่งเท่านั้น

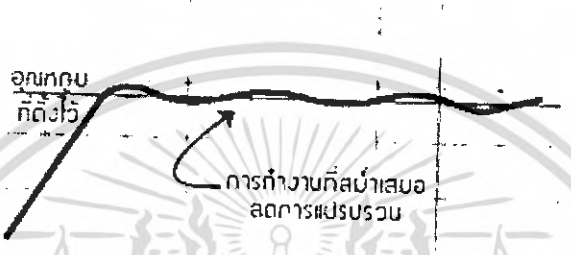
2.4.4.1 การทำงานของระบบ Inverter ในเครื่องปรับอากาศ

Inverter คือ ระบบควบคุมการปรับอากาศให้เป็นไปอย่างราบเรียบและคงที่ ด้วยการปรับเปลี่ยนรอบหมุนของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมกับสภาพความต้องการของผู้ใช้ ปกติเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาจะทำงานเต็มที่จนได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ แล้วก็จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดการทำงานทันที และรอจนอุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นจึงสั่งให้คอมเพรสเริ่มทำงานใหม่ การทำงานติดๆ ดับๆ หลายๆ ครั้ง ทำให้คอมเพรสทำงานหนัก และมีอายุการทำงานที่สั้นลงและกินไฟมากเพราะต้องใช้พลังงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 การควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา

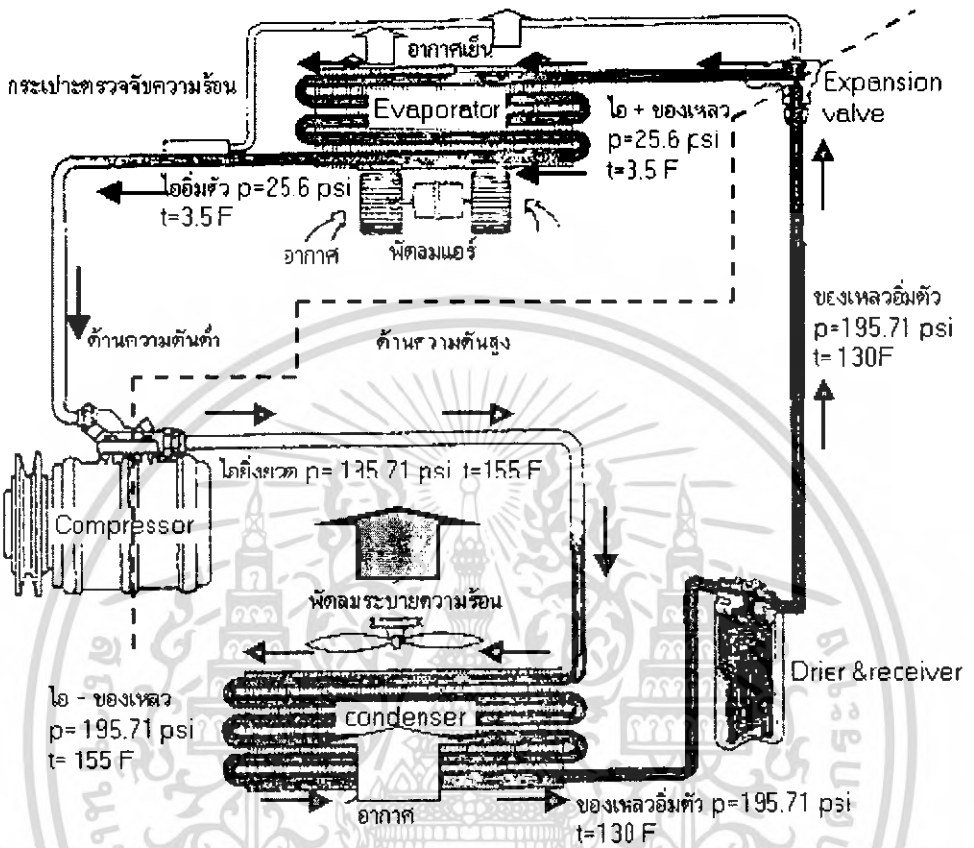


ภาพที่ 2.8 แสดงการควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter

ทุกครั้งเมื่อคอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน ทำให้เสียค่าไฟและค่าซ่อมบำรุงมากเกินจำเป็น แต่ในระบบ Inverter เมื่อคุณเปิดเครื่องปรับอากาศ ระบบจะเริ่มสั่งงานให้คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงานช้าๆ แล้วค่อยเพิ่มความเร็วรอบไปเรื่อย ๆ จนเข้าใกล้ระดับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ต่อจากนั้นระบบจะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ค่อย ๆ ลดรอบการทำงานลงเพื่อให้เข้าใกล้อุณหภูมิที่คุณตั้งไว้อย่างแม่นยำ และเมื่อตรวจสอบได้ว่าห้องมีอุณหภูมิเท่ากับที่ตั้งไว้ แล้วระบบจะไม่สั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานเหมือนเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีระบบ Inverter แต่จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานต่อไป ในรอบที่เหมาะสมเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมิที่คุณต้องการไว้ให้คงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศที่มีระบบ Inverter มีอายุการใช้งานทนทาน และประหยัดไฟได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สถานะของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 2.9 สถานะสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ

เริ่มจากทางด้านดิสชาร์ท (Discharge) ของคอมเพรสเซอร์ สารทำความเย็น CFC-12 จะถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสถานะที่เป็น เป็นไอยิ่งยวด สมมุติว่ามีความดัน195.71 psi. อุณหภูมิ 155°F เมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอนเดนเซอร์ พัดลมระบายความร้อน ที่คอนเดนเซอร์จะระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น สารทำความเย็นก็จะเปลี่ยนมาเป็นไออิ่มตัวที่ความดัน 195.71 psi. อุณหภูมิ 130 °F และค่อย ๆ กลั่นตัวกลายเป็นของเหลวบางส่วน(ไอ+ของเหลว หรือไอเปียก)

บริเวณกลางคอนเดนเซอร์ ที่ความดัน 195.71 psi. อุณหภูมิ 130 °F และเมื่อระบายความร้อนออกมากเข้า สารทำความเย็นก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวที่ทางด้านออกของคอนเดนเซอร์ซึ่งอยู่ด้านล่าง ความดันของระบบยังคงเป็น 195.71 psi. อุณหภูมิ 130 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอิ่มตัวจะถูกส่งต่อไปยัง ดรายเออร์และรีซีฟเวอร์ ณ บริเวณนี้ถ้า ดรายเออร์และรีซีฟเวอร์ติดตั้งในบริเวณที่สามารถระบายความร้อนได้ดี สารทำความเย็นอาจจะถูกระบายความร้อนออกจนมีอุณหภูมิต่ำลงเป็นของเหลวเย็นเยือกได้

สารทำความเย็นในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่ออกจากดรายเออร์และรีซีฟเวอร์เข้าสู่ท่อลิควิด (Liquid line) และถูกส่งต่อไปยังแอ็กซแพนชั้นวาล์ว ยังคงมีความดัน 195.71psi. อุณหภูมิ 130 °F สารทำความเย็นในสถานะของเหลวอิ่มตัวเข้าสู่แอ็กซแพนชั้นวาล์ว แล้วถูกฉีดผ่านวาล์วที่มีรูขนาดเล็กมากสารทำความเย็นจะถูกฉีดออกจากแอ็กซแพนชั้นวาล์ว เป็นฝอย (ไอ+ของเหลว = ไอเปียก) มีความดันลดลงเป็น 25.6psi. อุณหภูมิ 3.5 °F เข้าสู่ อีวาโปเรเตอร์

ที่อีวาโปเรเตอร์ พัดลมแอร์จะเป่าอากาศผ่านครีบของอีวาโปเรเตอร์ที่มีอุณหภูมิต่ำ เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ลมที่เป่าผ่านจะถูกดูดความร้อนออกด้วยคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่เดือดกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ ลมที่ถูกดูดความร้อนออกจะกลายเป็นลมเย็นออกไป ความร้อนนี้จะทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไออิ่มตัว และถูกดูดออกจาก อีวาโปเรเตอร์ มีความดัน 25.6 psi อุณหภูมิ 3.5 °Fเข้าสู่ท่อดูดของ คอมเพรสเซอร์

ที่ท่อซักชั่น (Suction line) ของ คอมเพรสเซอร์ เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ติดตั้งบริเวณห้องเครื่องยนต์ซึ่งมีความร้อนสูง สารทำความเย็นในท่อซักชั่น จะดูดความร้อนจากห้องเครื่องยนต์ ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและอยู่ในสถานะไอยิ่งยวด ซึ่งเป็นผลดีต่อคอมเพรสเซอร์เพราะจะทำให้คอมเพรสเซอร์ปลอดภัยจากสารทำความเย็นที่เป็นของเหลว ซึ่งจะทำให้คอมเพรสเซอร์ชำรุดได้

2.6 ความดันของระบบปรับอากาศแบ่งออกได้ 2 ด้าน

2.6.1 ด้านความดันสูง (high side) มีความดันเท่ากันตลอด ประกอบด้วยด้านดิสชาร์จ (Discharge) ของคอมเพรสเซอร์เข้าสู่ท่อ ท่อดิสชาร์จ (Discharge line) , คอนเดนเซอร์ (Condenser) , ดรายเออร์และรีซีฟเวอร์ (Drier & receiver), ท่อลิควิด (Liquid line) และทางเข้าของแอ็กซแพนชั้นวาล์ว (Expansion valve)

2.6.2 ด้านความดันต่ำ (Low side) มีความดันเท่ากันตลอด เริ่มจากทางด้านออกของแอ็กซแพนชั้นวาลว์ (Expansion valve) เข้าสู่ อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) , ท่อซักชั่น (Suction line) และด้านซักชั่น (Suction) ของคอมเพรสเซอร์

ซึ่งปัจจัยสำคัญที่กำหนดความดันของระบบซึ่งทำงานปรกติคือ อากาศภายนอกห้อง ซึ่งจะทำหน้าที่ระบายความร้อนของระบบ ถ้าระบบสามารถระบายความร้อนได้ดี ความดันของระบบก็จะเป็นปรกติ ดังนั้นในการบริการระบบทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบความดันทั้งสองด้าน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่ต้องมีวาล์วบริการไว้ประจำทั้งสองด้านของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72232

ระบบ ซึ่งวาล์วบริการทั้งสองคือ วาล์วบริการด้านความดันสูง (high side service valve) และวาล์วบริการด้านความดันต่ำ (low side service valve) จะติดตั้งในบริเวณที่สะดวกที่จะบริการ

2.7 สารทำความเย็น Inorganic Compounds

สารทำความเย็นคือสารที่มีคุณสมบัติที่จะดูดความร้อนเข้าสู่ตัวเอง ที่อุณหภูมิต่ำแล้วจะกลายเป็นไอ และถ้าระบายความร้อนออกที่อุณหภูมิสูงก็จะกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง

สารทำความเย็นสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท

1. Inorganic Compound
2. Fluorocarbons (CFCs)
3. Hydro chlorofluorocarbons (HCFCs)
4. Hydro fluorocarbons (HFCs)
5. ODP & GWP

2.7.1 สารทำความเย็น Inorganic Compounds

เป็นสารทำความเย็นในยุคต์แรก ๆ หลังจากได้มีการคิดค้นระบบทำความเย็นในระบบอัดไอ (The Vapor Compression System) สารทำความเย็นในกลุ่มนี้หลายชนิดถูกเลิกใช้ไปเนื่องจากประสบอุบัติเหตุรั่วในอดีตและทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมากมาย ส่วนสารทำความเย็นบางชนิดก็มีอายุยืนยาวมาจนถึงปัจจุบันเช่น Ammonia (R-717) ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความเย็นในอุตสาหกรรมทำน้ำแข็งและCarbon dioxide (R-744) ปัจจุบันใช้เป็นสารทำความเย็นในอุตสาหกรรมทำน้ำแข็งแห้ง เพราะสามารถทำความเย็นได้ต่ำมาก ๆ แต่อุปกรณ์ของระบบทำความเย็นต้องมีความแข็งแรงมาก ๆ เพราะระบบมีแรงดันสูง

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Inorganic Compounds

สัญลักษณ์	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
R-717	Ammonia	NH3
R-718	Water	H2O
R-729	Air	
R-744	Carbon dioxide	CO2
R-764	Sulfur dioxide	SO2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 สารทำความเย็นประเภท Chlorofluorocarbons (CFCs)

Chlorofluorocarbons (CFCs) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟประกอบด้วยอะตอมของ carbon, chlorine, และfluorine อยู่ในประเภทสารประกอบ halocarbons ใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบอัดไอ (The Vapor Compression System) ในยุคต์ต่อจากยุคต์แรกหลังจากได้เกิดอุบัติเหตุสารทำความเย็นรั่วจากตู้เย็นในปี 1920

ในปี 1930 บริษัท General Motors และ Du Pont ได้มีการก่อตั้งบริษัท เพื่อผลิตสารทำความเย็น Freon โดยใช้เป็นชื่อทางการค้าของ Du-Pont

ในปี 1932 บริษัท Carrier Engineering Corporationใช้สารทำความเย็น Freon-11 (CFC-11) ในเครื่องปรับอากาศในบ้านเรือนเป็นรายแรก มีชื่อเรียกว่า "Atmospheric Cabinet" และเพราะความไม่เป็นพิษ (ในอดีต) ของสาร CFC ตั้งแต่เริ่มใช้กันทำให้สาร Freon กลายเป็นสารทำความเย็นที่ถูกใช้กันแพร่หลาย ยังใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศในรถยนต์ด้วย และยังถูกใช้ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่มากขึ้น

ในปี 1935 บริษัท Frigidaire และบริษัทคู่แข่ง ได้มียอดจำหน่ายตู้เย็นซึ่งใช้สารทำความเย็น Freon-12(CFC-12)รวมถึง8ล้านตู้เฉพาะในประเทศอเมริกา

หลังจากนักวิทยาศาสตร์ได้มีการค้นพบว่าสาร CFC เป็นสารที่ทำให้เกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซน (Ozone layer) ในชั้นบรรยากาศ stratosphere ทำให้มีความตระหนักถึงภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นแก่มวลมนุษย์ชาติสารทำความเย็น Freon-12 (CFC-12) ไม่ปลอดภัยอีกต่อไปแล้ว

สนธิสัญญามอนทรีออล (The Montreal Protocol) ที่ประเทศไทยและนานาประเทศอีก143 ประเทศ ที่ได้ร่วมกันลงนามเพื่อลดการใช้และผลิตสารที่ก่อให้เกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ Stratosphere ได้เร่งรัดให้หยุดการใช้และหยุดการผลิตสารที่ก่อให้เกิดช่องโหว่ของชั้นโอโซน (Ozone Depletion Substances , ODS) ในปี 2000 (2543) ซึ่งในปัจจุบันนี้รถยนต์ และตู้เย็นที่ผลิตในประเทศไทยและทั่วโลกต้องใช้สารทำความเย็นชนิดอื่นมาทดแทน

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Chlorofluorocarbons (CFCs)

สัญลักษณ์	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
CFC-11	Trichloromonofluoromethane	CCl3F
CFC-12	Dichlorodifluoromethane	CCl2F2
CFC-113	Trichlorotrifluoroethane	C2F3Cl3
CFC-114	Dichlorotetrafluoroethane	C2F4Cl2
CFC=115	Monochloropentafluoroethane	C2F5Cl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 สารทำความเย็นประเภท Hydro chlorofluorocarbons (HCFCs)

สาร HCFCs ประกอบด้วย carbon, hydrogen, chlorine และfluorine ซึ่งเป็นสารที่เป็นทางเลือกเพื่อใช้แทนสาร chlorofluorocarbons (CFCs) เนื่องจากมีการค้นพบว่าสาร CFCs เป็นสารที่ทำให้เกิดช่องโหว่ของชั้น โอโซนในชั้นบรรยากาศ stratosphere แต่ก็ยังจัดเป็นสารทดแทนอย่างชั่วคราวเท่านั้น ซึ่งตามสนธิสัญญามอนทรีออล (The Montreal Protocol) สาร HCFCs ในอนาคตสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วจะต้องเลิกใช้ในปี 2030 (2573)

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Hydro chlorofluorocarbons

สัญลักษณ์	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
HCFC-22	Monochlorodifluoromethane	CHClF2
HCFC-141b	Dichlorofluoroethane	C2H3FCH2
HCFC-142b	Monochlorodifluoroethane	C2H3F2Cl

2.7.4 สารทำความเย็นประเภท Hydro fluorocarbons (HFCs)

สาร HFCs ประกอบด้วย carbon, hydrogen, และfluorine จัดเป็นสารประกอบที่ได้รับการเลือกเป็นสารที่สามารถใช้ทดแทนระยะยาว แทนสารประกอบ chlorofluorocarbons (CFCs) และ Hydro chlorofluorocarbons (HCFCs) เพราะว่าสาร HFCs นี้ไม่ประกอบด้วย chlorine จึงไม่มีปฏิกริยาทำลายชั้น ozone ในชั้นบรรยากาศ stratosphere ถึงแม้ว่าเป็นที่เชื่อได้ว่าสาร HFCs จะไม่ทำลายชั้น ozone ก็ตาม แต่ก็คงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่น เช่นศักย์ภาพที่ทำให้โลกร้อน (Global Warm Potential, GWP) ซึ่งยังคงมีการศึกษากันต่อไปเพื่อจะนำมา พิจารณา เป็นกฎเกณฑ์บังคับในอนาคต

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างสารทำความเย็นประเภท Hydro fluorocarbons

สัญลักษณ์	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี
HFC-134a	Tetrafluoromethane	CH3FCF3
HFC-152a		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 ODP & GWP

เนื่องจากคุณสมบัติบางประการของสารทำความเย็นที่ถูกค้นพบ เช่นค่าศักย์ภาพในการทำลายโอโซน (Ozone Depletion Potential, ODP) และค่าศักย์ภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warm Potential, GWP)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารทำความเย็นแต่ละประเภท

สารทำความเย็น	*ทดแทน*	*ODP*	*GWP*
CFC-11	-	*1*	*1*
CFC-12	-	*1.00*	*3.20*
HCFC-22	-	0.055	0.36
HCFC-141b	CFC-11	0.11	0.12
HCFC-401a	CFC-12	0.03	0.22
HCFC-401b	CFC-12	0.035	0.24
HCFC-409a	CFC-12	0.05	0.34
HFC-134a	CFC-12	0.00	0.27

จากตารางจะเห็นได้ว่าสารทำความเย็น HCFC-22 ยังมี ศักย์ภาพในการทำลายโอโซน (ODP) = 0.055 และศักย์ภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) = 0.36 ซึ่งในปัจจุบันนี้สารทำความเย็น HCFC-22 ยังใช้อยู่กับเครื่องปรับอากาศบ้านและอาคาร ตู้แช่ และอุตสาหกรรมห้องเย็น ซึ่งในอนาคตอันใกล้ก็คงต้องหาสารทำความเย็นมาทดแทนเช่นกัน เช่นเดียวกับสารทำความเย็น HFC-134a ที่ถูกใช้เป็นสารทำความเย็นในรถยนต์แทนสารทำความเย็น CFC-12 ซึ่งจัดว่าเป็นสารทำความเย็นทดแทนชั้นดีที่สุดจากสารทดแทนหลายชนิด ที่ผลิตขึ้นมาเนื่องจาก ศักย์ภาพในการทำลายโอโซน (ODP) = 0 แต่ศักย์ภาพในการทำให้โลกร้อน (GWP) = 0.27 ซึ่งในอนาคตอันใกล้ก็คงต้องหาสารทำความเย็นมาทดแทนเช่นกัน

2.8 ภาระการปรับอากาศ

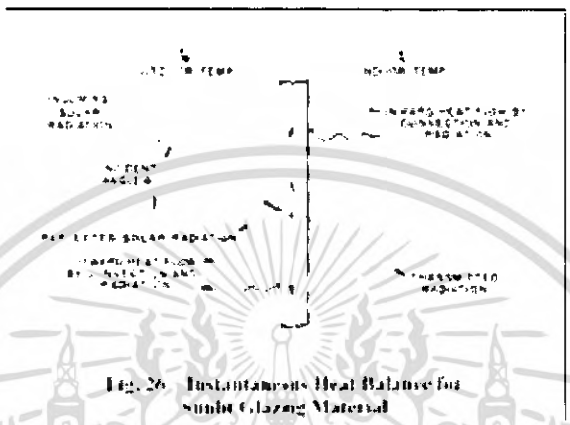
"ภาระการปรับอากาศ" แบ่งออกเป็น 3 อย่าง

2.8.1 ภาระในอาคาร

1. ภาระที่มาจากกระจกหน้าต่าง (ภาระความร้อนสัมพัทธ์) แบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ แสงอาทิตย์ส่องผ่านและภาระความร้อนถ่ายเทผ่านในรูปเป็นการแสดงกระบวนการของแสงอาทิตย์ส่องไปยังหน้าต่างกระจก จนเป็นการได้รับความร้อน "ภาระความร้อนส่องผ่าน" สามารถคิดได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นภาระของแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกแล้วกลายเป็นภาระความร้อนในชั่วพริบตา โดยที่ไม่มีการล่าช้าของเวลาปกติ อนึ่ง ส่วนใหญ่ในการปรับอากาศร้อนแล้วจะไม่พิจารณาการได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์เนื่องจากเป็นภาระที่ไม่มีผลเชิงลบ อีกด้านหนึ่ง ภาระความร้อนถ่ายเทผ่านเป็น "ภาระการนำความร้อน" ที่รุกล้ำจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคารหรือที่เสียจากภายในอาคารให้แก่ภายนอก ขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิภายใน



ภาพที่ 2.10 กระบวนการของแสงอาทิตย์ที่ส่องไปยังหน้ากระจก

2. ภาระจากโครงสร้างอาคารเป็นภาระความร้อนที่ผ่านโครงสร้างอาคาร เช่น กำแพงด้านนอก หลังคา ใต้ถุนดิตพื้น ผนังใต้ดิน เป็นต้น แล้วรุกล้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร หรือสูญเสียจากภายในอาคารไปยังภายนอก

3. ภาระจากผนังกั้นภายในเป็นภาระความร้อนสัมผัส ในกรณีที่ห้องข้างเคียงเป็นห้องที่ไม่มีการปรับอากาศเช่น ห้องเก็บของ ห้องใต้บันได ทางเดิน เป็นต้น จะใช้วิธีคิดสัมประสิทธิ์ความร้อนจากห้องภายนอกแต่ว่า ในกรณีที่สามารถคาดคะเนอุณหภูมิของพื้นที่นั้น ๆ ได้โดยง่ายจะกำหนดการคำนวณภาระโดยความความต่างของอุณหภูมินั้น ๆ กับอุณหภูมิภายในอาคาร

4. ภาระความชื้นซึม ภาระความร้อนแฝงเป็นภาระที่เกิดจากความแตกต่างของความดันย่อยของไอน้ำภายในอาคารกับภายนอก อาคารที่ติดอยู่กับตัวผนังและเป็นภาระจากการไหลเข้าออกของน้ำ ความชื้นนอกเหนือจากกรณีของห้องที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่หรือห้องตรายอ์รูม เป็นต้นที่ต้องมีการควบคุมความชื้นอย่างเที่ยงตรงแล้ว ถึงไม่พิจารณาภาระนี้ก็ไม่มีผลกระทบใด ๆ ในการปรับอากาศทั่วไปของห้องพักอาศัยปกติ เนื่องจากภาระนี้เป็นภาระที่เล็กน้อยมาก

5. ภาระจากลมเข้าออกตามช่อง (ภาระความร้อนสัมผัสและภาระความร้อนแฝง) ภาระจากลมเข้าออกตามช่องเป็นภาระที่มาจากการลุกล้ำ ของอากาศภายนอกเข้าสู่ช่องว่างของการปรับอากาศจากการปิดเปิดประตู ช่องว่างของหน้าต่างของประตู ปริมาณของลมเข้าออกเองก็ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบจากความต่างของอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิภายนอกอาคารหรือความเร็วลมส่วนนอก นอกเหนือจากโครงสร้างของหน้าต่างและประตู

6. ภาระที่เกิดภายในอาคาร ภาระความร้อนสัมผัสและภาระความร้อนแฝง เป็นภาระที่ทำให้เกิดความร้อนจากอุปกรณ์ส่องสว่าง หรืออุปกรณ์และเครื่องจักรอื่นๆ ภายในอาคาร รวมไปถึงจากตัวคน ในเวลาที่ทำความร้อน จะไม่พิจารณาภาระนี้เพราะไม่มีผลกระทบใดๆ แต่ในกรณีปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เป็นต้น จะบวกเข้ากับทิศทางที่สร้างสมดุลกับภาระการทำความร้อนก็ได้

7. ภาระความร้อนสะสมจากการปรับอากาศเป็นช่วงๆ ในกรณีที่มีการปรับอากาศแบบเป็นช่วงๆ ถึงแม้จะอยู่ในช่วงที่หยุดในระหว่างทำงานของการปรับอากาศอยู่ก็ตาม การได้รับความร้อนและการสูญเสียความร้อนก็ยังมีอยู่ ซึ่งทำให้เกิดการสะสมความร้อนจากตัวโครงสร้างอาคารหรือเครื่องเรือนและเครื่องใช้สอย

2.8.2 ภาระเครื่องปรับอากาศ

1. ภาระความร้อนจากพัดลม (ภาระความร้อนสัมผัส) เป็นภาระความร้อนที่เกิดจากการได้รับความร้อนจากพัดลม รวมทั้งมอเตอร์ไฟฟ้า และเมื่อมีการทำความร้อนจะไม่พิจารณาเพราะไม่มีผลกระทบใดๆ

2. ภาระความร้อนผ่านท่อลม (ภาระความร้อนสัมผัส) เป็นภาระความร้อนที่ที่ก่อให้เกิดความต่างของอุณหภูมิการปรับอากาศภายในท่อลม และอุณหภูมิการปรับอากาศแวดล้อมภายนอกท่อลม ทว่าเมื่อมีการทำความร้อนจะเป็นการสร้างสมดุลกับภาระความร้อนของเครื่องเป่าลมข้างต้นจึงสามารถตัดทิ้งได้

3. ภาระอากาศภายนอก (ภาระความร้อนสัมผัส) ในการปรับอากาศปกติทั่วไปสำหรับมนุษย์ ด้วยจุดมุ่งหมายที่จะกำจัดฝุ่นผง กลิ่นเหม็น CO_2 เป็นต้น และคงไว้ซึ่งสภาพอันน่ารื่นรมย์ของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร จึงจำเป็นที่จะรับเอาปริมาณที่จำเป็นของอากาศภายนอกจากส่วนนอกของอาคารเข้ามาตามปกติ 30-20[m^3/hคน] ตามเงื่อนไข ที่ต่างกับอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร ภาระอากาศภายนอกเป็นภาระความร้อนเพื่อทำให้อากาศภายนอกที่รับเข้ามานี้เป็นสภาพอันเดียวกันกับอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร

4. ภาระความร้อนซ้ำ (ภาระความร้อนสัมผัส) กรณีที่มีการควบคุมความชื้นภายในอาคารให้เป็นความชื้นต่ำ ดังแสดงไว้ในแผนภูมิไซโครเมตริก หมายเหตุในแผนภูมิภายหลังจากที่ทำให้อากาศป้อนเข้าเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแล้ว ($5 \rightarrow 8$) จำเป็นที่จะทำกระบวนการที่เรียกว่าให้ความร้อนซ้ำ (reheat)($8 \rightarrow 6$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ภาระแหล่งความร้อน

1. ภาระความร้อนของปั๊ม ความร้อนสัมผัส (เป็นภาระที่เกิดจากการได้รับความร้อนของปั๊มส่งตัวกลางความร้อน) ในการทำความร้อนสามารถตัดทิ้งได้เนื่องจากไม่มีผลเชิงลบ

2. ภาระความร้อนถ่ายเทผ่านผนังท่อเป็นภาระในระบบท่อที่ประกอบ เป็นระบบปรับอากาศที่เกิดขึ้นจากผลต่างอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิตัวกลางความร้อนในท่อกับอุณหภูมิรอบๆ ท่อ โดยส่วนใหญ่มักจะตัดทิ้งไม่พิจารณา แต่ในกรณีที่ความยาวรวมของท่อมีความยาวมาก บางครั้งจะต้องพิจารณาภาระนี้ด้วย

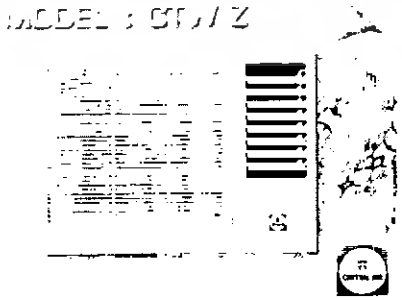
3. ภาระความร้อนสะสมของอุปกรณ์ กรณีที่ทำการปรับอากาศเป็นช่วงๆ ระหว่างที่หยุดเครื่องอุปกรณ์ ท่อ รวมทั้งน้ำที่มีอยู่ภายในจะเกิดการ "ให้และระบายความร้อนกับสิ่งแวดล้อมกับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิกับอุณหภูมิที่กำหนด เมื่อเริ่มเดินเครื่องใหม่อีกครั้ง จะกลายเป็น "ภาระความร้อนของอุปกรณ์" ขึ้น ภาระนี้เรียกว่า "ภาระ pull down และภาระ warming up"

โดยทั่วไปส่วนใหญ่แล้วจะสามารถตัดทิ้งไม่พิจาณาภาระนี้ได้ แต่กรณีที่ระบบมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดเรื่อง "เวลา pull down-warming up" จะต้องนำภาระนี้มาพิจารณาด้วย โดยทั่วไปเวลา pull down จะมีระยะเวลาสั้นกว่าเวลา preheat

2.9 ลักษณะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ มีด้วยกัน 2 แบบ

2.9.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง

เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง คือ เครื่องปรับอากาศที่มีอุปกรณ์หลักของวงจรทำความเย็นทุกอย่างครบชุดอยู่ในเครื่องเดียวกัน และออกแบบให้เหมาะสมกับการติดตั้งที่หน้าต่าง โดยด้านทำความเย็นจะโผล่เข้ามาในห้อง ส่วนด้านที่ระบายความร้อนจะโผล่ออกไปนอกห้อง เป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นแรก ๆ ที่ทำมาขายในเชิงพาณิชย์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ Carrier เป็นที่รู้จักกันไปทั่วโลก เนื่องจากเป็นผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศนี้ รายแรกของโลก



ภาพที่ 2.11 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปรับอากาศแบบนี้ จะอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ เพราะเป็นเครื่องขนาดเล็ก การติดตั้งง่าย เพราะเพียงแต่เตรียมช่องวงกบหน้าต่าง หรือผนังตามขนาดเครื่องปรับอากาศแล้วเอาเครื่องเสียบเข้าไปต่อสายไฟเข้า และต่อท่อน้ำทิ้งจากเครื่องก็เรียบร้อย

เครื่องปรับอากาศแบบนี้ในปัจจุบัน จะไม่ค่อยนิยมกันมากนัก เนื่องจากเสียงที่ดังกว่าประกอบกับราคาก็ใกล้เคียงกับแบบแยกส่วน อาจจะยังมีใช้อยู่เฉพาะในกรณีที่ไม่สามารถหาที่ตั้ง Condensing Unit หรือ ในต่างประเทศที่ค่าแรงติดตั้งสูง เช่น อเมริกา ซึ่งนิยมใช้กันอยู่ในโรงแรมบริเวณชานเมือง (ประเภท Inn หรือ Motel) โดยออกแบบเครื่องให้ภายในห้องดูคล้ายแฟนคอยล์ยูนิต อย่างของ GE จะเรียกรุ่นนี้ว่า Zone Line สามารถทำความเย็นในหน้าร้อนเหมือนเครื่องปรับอากาศทั่วไป และทำความร้อนในหน้าหนาว โดยการสับเปลี่ยนหน้าที่ของคอนเดนเซอร์เป็นอีวาโปเรเตอร์ และอีวาโปเรเตอร์เป็นคอนเดนเซอร์ ด้วยการเปลี่ยนทิศของสารทำความเย็น เครื่องลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า Heat Pump

2.9.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

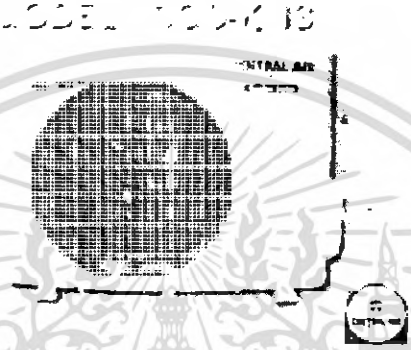
เป็นเครื่องที่แบ่งภาคมาจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างโดยแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่อยู่นอกห้องเรียกว่า Outdoor Unit หรือ Condensing Unit ภาคที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า Indoor Unit หรือ Evaporator Unit หรือเชิงพาณิชย์อาจเรียกว่า แฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit, FCU) หรือ ถ้าตัวโต ๆ ที่มีลักษณะเป็นตู้ ก็มีคนเรียกว่า เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit, AHU)

รูปที่ 2.12 เครื่องปรับอากาศแบบ CASSETTE TYPE

ชื่อเรียกมีต่าง ๆ นานา ก็อย่าไปกังวลมากนัก เพราะคนเรายังมีชื่อเรียกได้สารพัด เรามาเข้าใจหน้าที่ของมันก็แล้วกัน เพราะในปัจจุบันส่วน Indoor Unit ยังมีรุ่นใหม่ๆ เกิดขึ้นอีก เช่น รุ่น Wall Type, Cassette Type, Column Type ฯลฯเครื่องปรับอากาศเหล่านี้ จะอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ เพราะมักจะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (0.75-3 ตัน)

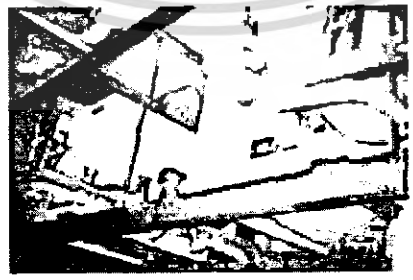
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่วาง Condensing Unit จะต้องระบายอากาศได้ดี และหากติดตั้งในอาคารสูง จะต้องพิจารณาผลจากแรงลมที่จะมาปะทะอาคารด้วย โดยทั่วไป CDU ไม่ควรอยู่ห่างจาก FCU หรือ AHU เกิน 15 เมตร เนื่องจากจะผลกับประสิทธิภาพของเครื่อง และปัญหาระบบน้ำมันหล่อลื่นภายในระบบ ซึ่งจะมีผลกับการทำงานและอายุของคอมเพรสเซอร์ หากมีความจำเป็นที่จะต้องเดินท่อน้ำยาไกลกว่านี้ จะต้องมั่นใจว่า มีความรู้ทางด้านเทคนิคการเดินท่อน้ำยาที่ถูกต้อง เช่น การขยายขนาดท่อน้ำยา และการทำ Oil Trap รวมทั้งการกำหนดความลาดเอียงของท่อ



ภาพที่ 2.13 Condensing Unit แบบระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

การพิจารณาที่ตั้ง Condensing Unit ควรจะทราบถึงลักษณะของเครื่องที่จะใช้ด้วย เพราะมีทั้งรุ่นที่เป่าลมร้อนด้านข้าง และรุ่นที่เป่าลมร้อนขึ้นด้านบน รวมทั้งลักษณะการนำลมเข้ามาระบายความร้อนของเครื่องว่าลมเข้าในลักษณะใด เพื่อให้เครื่องระบายความร้อนได้ดี นอกจากนี้จะต้องพิจารณาไม่ให้ลมร้อนที่เป่าออกจากเครื่องย้อนกลับมาที่เครื่องอีก เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงอย่างมาก



รูปที่ 2.14 Condensing Unit แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปรับอากาศแยกส่วนนี้ มีรุ่นที่ใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำเหมือนกัน แต่มักจะใช้เป็นเครื่องเสริม เมื่อต้องใช้นอกเวลาทำการปกติ ในอาคารที่มีระบายความร้อนอยู่แล้ว โดยอาจแขวน Water-cooled Condensing Unit ไว้ในห้องเครื่อง หรือห้องเก็บของ แล้วต่อท่อน้ำยาไปยัง FCU ที่สามารถจะติดตั้งไว้ภายในห้องที่ต้องการได้ เช่น ห้องผู้บริหาร ห้องประชุม การระบายความร้อนของ Condensing Unit ก็ใช้วิธีต่อท่อน้ำระบายความร้อนจากระบบของหอระบายความร้อน

ผู้นำสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในปัจจุบัน เห็นทีจะต้องยกให้ญี่ปุ่น โดยผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศญี่ปุ่นเป็นผู้ค้นคิดในการออกแบบให้เครื่องเครื่องมีขนาด กะทัดลัด สวยงาม และประหยัดไฟ ซึ่งก็อาจจะมีผลมาจากความคับแคบ ของสถานที่ในประเทศญี่ปุ่นเอง ความเป็นระเบียบของคนญี่ปุ่นและกฎหมายควบคุมความดังของเสียงของเครื่องปรับอากาศ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แพง และความล้ำหน้าทางด้านอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ในประเทศญี่ปุ่น รวมทั้งค่าแรงในการบริการที่แพง ทำให้มีการออกแบบเครื่องปรับอากาศให้ชาวบ้านธรรมดา สามารถติดตั้ง และซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศได้ด้วยตัวเอง แผงกรองอากาศสามารถถอดออกทำความสะอาดได้ง่ายกว่าเครื่องปรับอากาศในอดีตเป็นอย่างมาก

การควบคุมอุณหภูมิ โดยทั่วไปอาศัยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่เรียกว่า เทอร์โมสตัท (Thermostat) เพื่อควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ให้หยุดหรือเดินตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เทอร์-โมสตัทรุ่นหลังๆ นี้ ที่มีคุณภาพจะเป็นแบบอิเลคทรอนิกส์ ซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่าเดิม ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีขึ้น และช่วยในการประหยัดไฟฟ้า

อุปกรณ์นี้เราจะพบว่ามีทั้งรุ่นที่เป็นรีโมท (Remote) แบบมีสาย หรือไร้สาย สามารถตั้งเวลาได้ มี Mode การทำงานมากขึ้น เช่น Econo Mode เพื่อประหยัดพลังงาน และ Sleep Mode เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นหลังจากที่เราหลับแล้ว ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจต่ำลง และจะรู้สึกหนาวหากคงอุณหภูมิไว้เช่นขณะก่อนที่จะหลับ นอกจากนี้ยังมีรุ่นที่ใช้ Fuzzy Logic Control ที่จะทำให้ระบบควบคุมสั่งการทำงานของเครื่องปรับอากาศ มีความคิดใกล้เคียงกับสมองของคนมากขึ้น เครื่องรุ่นใหม่ๆ บางรุ่นยังมีเครื่องฟอกอากาศ (Air Cleaner) ติดตั้งมาภายในเครื่อง FCU เลย เนื่องจากมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality - IAQ) กันมากขึ้น

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนรุ่นใหม่ ยังเน้นที่การใช้ที่ตั้ง Condensing Unit น้อยลง โดยออกแบบให้เครื่อง Condensing Unit เครื่องเดียวสามารถที่จะใช้กับ Fancoil ได้หลาย ๆ จุด เครื่องปรับอากาศแบบนี้ในสมัยแรก ก็เหมือนกับการเอา Condensing Unit หลาย ๆ ชุดมารวมกันไว้ในตัวเดียว แต่ในรุ่นใหม่จะใช้คอมเพรสเซอร์ที่ปรับรอบได้ ประกอบกับถังสำรองสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น และใช้วาล์วอิเลคทรอนิกส์ในการควบคุมการจ่ายสารทำความเย็นไปยัง Fancoil Unit จุดเด่นของเครื่องรุ่นใหม่ก็คือ Fancoil Unit แต่ละตัวสามารถเปิดปิดได้โดยอิสระ และสามารถมีขนาดที่แตกต่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีขนาดใหญ่ (3-30 ตัน) อาจจะส่งลมเย็น โดยอาศัยระบบท่อลม ซึ่งจะช่วยให้ได้การกระจายลมเย็นที่ดี และเหมาะกับสำนักงาน, ห้องอาหาร, ห้องพักผ่อน การกระจายลมที่ดีจะทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยสม่ำเสมอ และลดปัญหาการไม่สบายเนื่องจากการแตกต่างของอุณหภูมิ การเป็นโรคภูมิแพ้และโอกาสเป็นหวัดในบางคน ลักษณะการติดตั้งโดยทั่วไปจะให้ Condensing Unit อยู่ภายนอกอาคาร และให้เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit - AHU) อยู่ภายในอาคารโดยจัดให้มีห้องเครื่อง AHU และ นำ AHU มาตั้งภายในห้องนี้ หากใช้ระบบท่อลมในการส่งลมเย็น ก็จะต่อท่อลมมาเข้ากับเครื่อง ท่อลมที่ออกจากเครื่อง หรือท่อลมส่ง เรียกว่า Supply air duct ท่อลมที่นำลมภายในห้องกลับมาที่เครื่อง หรือท่อลมกลับ เรียกว่า Return air duct

สาเหตุที่ควรจะติดตั้ง AHU ภายในห้องเครื่องก็เพื่อให้เกิดความเรียบร้อย ลดความดังของเสียง และง่ายต่อการบำรุงรักษา

ภาพที่ 2.15 เครื่องส่งลมเย็น

การนำเครื่อง AHU มาตั้งไว้ภายในห้องปรับอากาศโดยตรงเป็นเครื่องที่ตั้งไว้ โดยมองเห็นตัวเครื่อง และเป่าลมเย็นจากเครื่องโดยตรงเลย หากเป็นเครื่องขนาดใหญ่ อาจจะแลดูเทอะทะไม่สวยงาม ความสวยงานขึ้นกับยี่ห้อ และการกระจายลมจะไม่ดี เนื่องจากเครื่องจะเป่าลมจำนวนมากออกมาเป็นลำของอากาศเย็น หากตกลงตรงไหน ก็จะเย็นมากเฉพาะตรงนั้น จึงไม่เหมาะกับสำนักงาน เพราะหากนั่งโตนลมเย็นเป่านาน ๆ อาจจะไม่สบายได้ การติดตั้งในลักษณะนี้อาจจะใช้ได้เฉพาะบริเวณโถง, ทางเดิน ซึ่งคนมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา

หรือการนำ AHU หรือ FCU แขวนซ่อนไว้ในฝ้าเพดาน ก็จะทำให้ซ่อมบำรุงลำบาก เนื่องจากเนื้อที่ในฝ้าเพดานมักจะคับแคบ และมักจะมีโครงสร้างฝ้า สายไฟเกะกะ หรือช่องเปิดไม่สะดวก แถมยังต้องใช้บันไดปีนขึ้นไปเวลาที่จะบริการเครื่อง ในที่สุดความไม่สะดวกต่าง ๆ จะทำให้เครื่องขาดการเอาใจใส่ สกปรก และเครื่องจะชำรุดทรุดโทรมเร็วกว่าที่ควร แถมฝ้าในบริเวณนี้ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพลอยสกปรก ทรุดโทรมไปด้วย และเนื่องจากที่เครื่องจะมี "น้ำทิ้ง" ที่เกิดจากการกลั่นตัวของความชื้นในอากาศออกมาด้วย หากท่อน้ำทิ้ง หรือถาดสกปรก ก็อาจจะทำให้น้ำล้น และหยดลงมาที่ฝ้าเพดาน ทำให้เสียหายได้ ยิ่งในกรณีที่เอาเครื่องไปแขวนไว้ใต้เพดาน หรือ หลังคาที่ร้อน จะยิ่งมีปัญหามาก เพราะเครื่องปรับอากาศมีความเย็น เมื่อโดนอากาศร้อนชื้นในหลังคา อาจจะทำให้น้ำจับตัวเครื่องและหยดลงมาได้ นอกจากนี้จะทำให้ความเย็นลดลง เนื่องจากความร้อนในหลังคาด้วย

ในกรณีที่ต้องการจะแขวนเครื่องที่ชั้นบนสุดของอาคาร ควรจะใช้วิธีทำฝ้าเพดานก่อนชั้นหนึ่ง แล้วจึงเอาเครื่องแขวนไว้ใต้เพดานนั้น เปรียบเสมือนกับแขวนเครื่องไว้ภายในห้องนั่นเอง แล้วจึงตีกล่อง หรือตีฝ้าเพดานปิด เพื่อความสวยงามอีกชั้นหนึ่ง และที่สำคัญจะต้องออกแบบช่องเปิดบริการให้มีขนาดใหญ่เพียงพอ และสามารถเปิดได้โดยสะดวก ไม่หนักจนเกินไป ตัวแผ่นเปิดควรทำจากวัสดุที่ทนความชื้น และน้ำ และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย และมีสีไม้ หรือสีคล้ำเพื่อบดบังรอยนิ้วมือของช่าง และรอยสกปรกต่าง ๆ

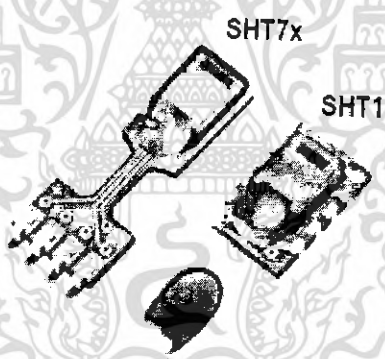
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย Sensor SHT 15

อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นส่วนหนึ่งของการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทางผู้วิจัยจำเป็นต้องค้นหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสม ใช้งานง่ายและมีความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดสูง ซึ่งเซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมนี้ก็คือ Sensor SHT 15

3.1 Sensor SHT 15

SHT 15 เป็นโมดูลวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิจาก Sensirion (www.sension.com) มีขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการใช้งาน จึงได้ติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเน็กเตอร์ 5 ขาเพื่อให้สามารถติดตั้งลงบนแผ่นวงจร หรือเบรดบอร์ด เพื่อทำการทดลองได้ง่ายรวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ด้วย



ภาพที่ 3.1 Sensor SHT 15

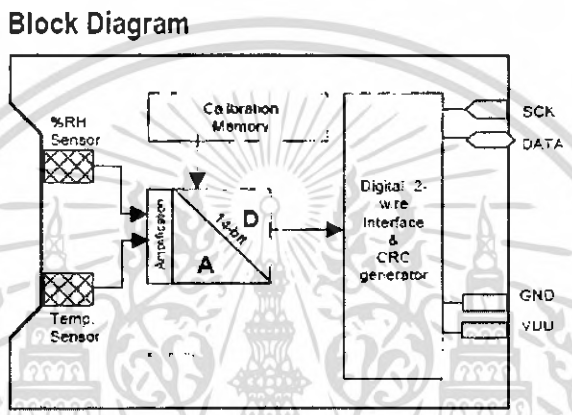
3.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของ Sensor SHT 15

1. สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง $123.8^{\circ}C$ และความละเอียดในการวัด $\pm 0.1^{\circ}C$
2. สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง $100\%RH$ ความระเอียดในการวัด $\pm 0.1\%RH$
3. ค่าความผิดพลาดจากการวัดอุณหภูมิ $\pm 5^{\circ}C$ ส่วนความชื้น $\pm 2\%RH$

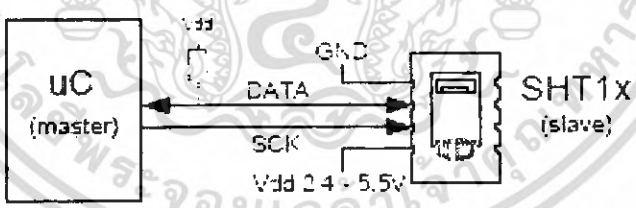
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ควบคุมโดยใช้สายสัญญาณ 2 เส้นคือ DATA และ CLOCK ภายใต้มาตรฐาน I^2C
5. ใช้สายสัญญาณไม่เกิน 100 เมตร (ในกรณีใช้สายชิลด์อย่างดี)
6. ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาในรูปแบบดิจิตอล
7. สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเสริมอีก
8. ใช้พลังงานต่ำ

3.1.2 การต่อใช้งานขาของ Sensor SHT 15



ภาพที่ 3.2 Block Diagram ของ Sensor SHT 15



ภาพที่ 3.3 การติดต่อสัญญาของ SHT 15 กับส่วนคอนโทรลเลอร์

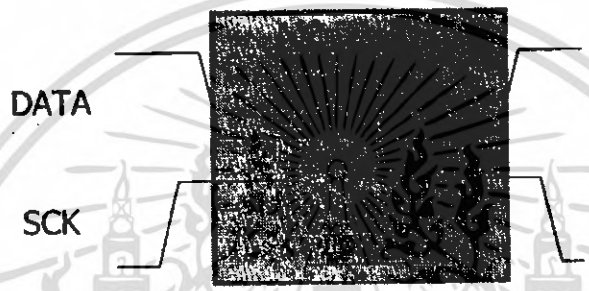
1. ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK) ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อรับส่งสัญญาณข้อมูล
2. ขาสัญญาณรับส่ง/ข้อมูล (DATA) เป็นขาสัญญาสำหรับรับ/ส่งข้อมูล ในการใช้งานควรต่อความต้านทาน 10 kΩ ที่ขานี้
3. ขาไฟเลี้ยง V_{dd} ทำงานในด้านแรงดันไฟเลี้ยง 2.4-5.5 V
4. ขา GND ของ Sensor SHT 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของ Sensor SHT 15

3.2.1 การส่งคำสั่ง (sending a Command)

ในภาระเริ่มต้นก่อนการส่งข้อมูลคำสั่งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปยัง SHT 15 จำเป็นจะต้องสร้างรูปแบบสัญญาณกระตุ้นผ่านขาสัญญาณ SCK และ DATA เพื่อให้ตรงกับเงื่อนไขที่เรียกว่า Transmission start หรือภาวะเริ่มส่งสัญญาณ นั่นคือขา DATA ต้องถูกทำให้เป็นลอจิก 0 นานอย่างน้อย 1 ไซเคิล ของสัญญาณนาฬิกา SCK หลังจากนี้ SHT 15 จะทราบได้ทันทีว่า ข้อมูลต่อจากนี้คือคำสั่ง



ภาพที่ 3.4 Transmission start

หลังจากสร้างเงื่อนไข Transmission start แล้วสามารถส่งคำสั่งไปยัง SHT 15 เพื่อกำหนดการทำงานได้ทันที โดยข้อมูลคำสั่งต่างๆ สำหรับการทำงานแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดคำสั่งและข้อมูลคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของโมดูล SHT 15

คำสั่ง	ข้อมูลคำสั่ง
สงวนไว้	0000x
อ่านค่าอุณหภูมิ (Measure Temperature)	00011
อ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Measure Humidity)	00101
อ่านค่ารีจิสเตอร์ (Read Status Register)	00111
สงวนไว้	0101x ถึง1110x
ระเซตการทำงาน (Soft reset) ทำให้รีจิสเตอร์กำหนดสถานะกลับไปสู่ค่า (default) และต้องใช้เวลาในการทำงานอย่างน้อย 11 มิลลิวินาทีจึงจะสามารถรับคำสั่งถัดไปได้	11110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การรีเซตการเชื่อมต่อ (Connection reset sequence)

เมื่อต้องการเริ่มต้นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล SHT 15 ต้องสร้างสัญญาณรีเซตขึ้นก่อน โดยทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก 1 นานเท่ากับช่วงเวลาที่ป้อนสัญญาณนาฬิกาที่ขา SCK 9 ลูกติดต่อกันแล้วตามด้วยการสร้างภาวะเริ่มต้นการส่งสัญญาณคือการป้อนสัญญาณ Transmission start

ภาพที่ 3.5 การรีเซตการเชื่อต่อข้อมูล

3.2.3 ขั้นตอนการอ่านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การอ่านข้อมูลดิบของอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์นั้น ทำได้ภายหลังจากสร้างสภาวะเริ่มต้นที่เรียกว่า Transmission start แล้วตามด้วยการส่งข้อมูลคำสั่งอ่านอุณหภูมิหรือความชื้น-สัมพัทธ์อย่างใดอย่างหนึ่งไปยัง SHT 15 ต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัทธ์ที่ต้องการซึ่งจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าเวลาที่โมดูล SHT 15 ต้องใช้ในการประมวลผลข้อมูล

ความละเอียดของข้อมูลที่ประมวลผล	เวลาที่โมดูล (SHT15) ใช้ประมวลผล (±15%)
14 บิต	210 มิลลิวินาที
12 บิต	55 มิลลิวินาที
8บิต	11 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณค่าอุณหภูมิ (Temperature)

ในการอ่านค่าอุณหภูมิจากโมดูล SHT 15 ผู้พัฒนาสามารถเลือกความละเอียดในการอ่านได้ในแบบ 14 บิตหรือ 12 บิต โดยที่ความละเอียด 14 บิต เป็นค่าตั้งต้นโดยที่ผู้พัฒนาจำเป็นจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT 15 เข้ามาก่อนจากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ให้ได้ค่าอุณหภูมิออกมา โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจาก Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT 15 ดังนี้

$$Temperature = d1 + (d2 \times SO_T) \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยที่ $Temperature$ คือค่าอุณหภูมิจริง $^{\circ}C$

$d1$ คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับขา V_{dd} ของโมดูล SHT 15

$d2$ คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT 15

SO_T คือค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จาก SHT 15

ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าคงที่ทางอุณหภูมิตัวที่ 1 และ 2 ($d1$ และ $d2$) เพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้

ไฟเลี้ยง	ค่าคงที่อุณหภูมิตัวที่ 1 $d1$	
	ในหน่วย $^{\circ}C$	ในหน่วย $^{\circ}F$
+5V	-40.00	-40.00
+4.5V	-39.75	-39.50
+4V	-39.66	-39.35
+3V	-39.60	-39.28
+2.5V	-39.55	-39.23

ความละเอียด	ค่าคงที่อุณหภูมิตัวที่ 2 $d2$	
	ในหน่วย $^{\circ}C$	ในหน่วย $^{\circ}F$
14 บิต	0.01	0.018
12 บิต	0.04	0.072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity)

สำหรับการอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์จากโมดูล SHT 15 สามารถเลือกความละเอียดในการอ่านได้ในแบบ 12 บิตหรือ 8 บิต โดยที่ความละเอียดหลัก 12 บิต เป็นค่าตั้งต้นหลักโดยที่ผู้พัฒนาจำเป็นจะต้องอ่านข้อมูลดิบจากโมดูล SHT 15 เข้ามาก่อนจากนั้นจึงใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ออกมา โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่กำหนดมาจาก Sensirion ผู้ผลิตโมดูล SHT 15 ดังนี้

$$RH_{True} = (T-25)\times[t1-(t2\times SO_{RH})]+RH_{linear} \quad \text{.....(3.2)}$$

$$RH_{linear} = c1+(c2\times SO_{RH})+\left[c3\times(SO_{RH})^2\right] \quad \text{.....(3.3)}$$

โดย RH_{true} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง $\%RH$

T คือค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$t1, t2$ คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับรายละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT 15 ดูรายลเอียดจากตารางที่ 3.4

SO_{RH} คือค่าความชื้นสัมพัทธ์ดิบที่อ่านได้จากโมดูล SHT 15

ตารางที่ 3.4 การกำหนดค่าคงที่ซึ่งต้องใช้ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้

ความละเอียด	ค่าคงที่	
	t1	t2
12 บิต	0.01	0.00008
8 บิต	0.01	0.00128

ความละเอียด	ค่าคงที่		
	C1	C2	C3
12 บิต	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 บิด	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

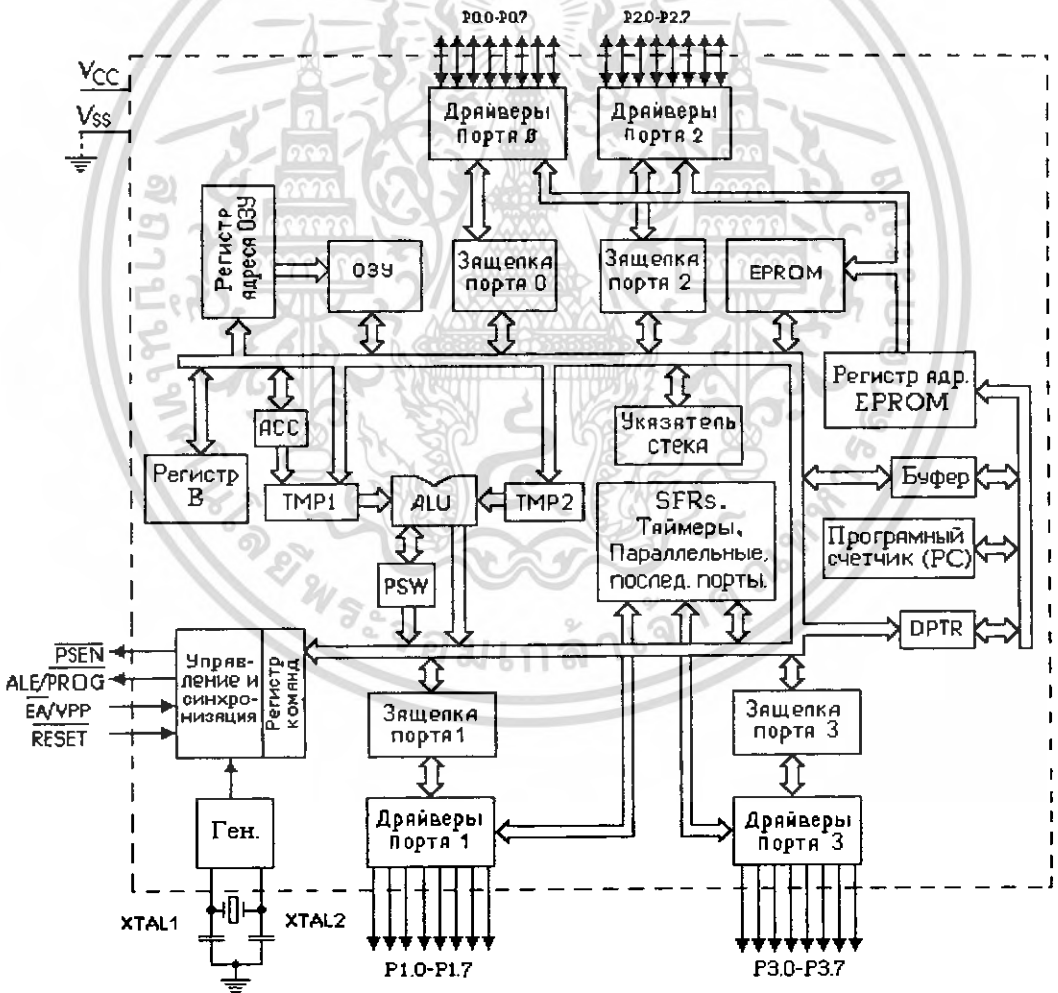
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ชุดคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการติดต่อกับ Sensor SHT 15 ประกอบด้วย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (AT89C52)
2. จองแสดงผล LCD 16*2
3. ชุด Supply 5 โวลต์ DC

3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงงานนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระ MCS-51 (AT89C52) ของบริษัท Atmel ในการติดต่อกับโมดูล SHT 15 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำเอาไมโครโพรเซสเซอร์มารวมกับหน่วยความจำและอุปกรณ์ไอโอต่างๆเอาไว้ในตัวเดียว สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อป้อนไฟเลี้ยงและสัญญาณนาฬิกาให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 (AT89C52)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 (AT89C52)

-มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (Flat Memory) ขนาด 8 กิโลไบต์

-โปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน SPI

-สามารถโปรแกรมและลบซ้ำได้นับ 1,000 ครั้ง

-มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์

-สามารถโปรแกรมและลบซ้ำได้นับ 100,000 ครั้ง

-ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ (ทำงานได้ในช่วง 4-6 โวลต์)

-ทำงานได้ที่สัญญาณนาฬิกาที่ 0-24 MHz

-สามารถป้องกันหน่วยความจำได้ 3 ระดับ

-มีหน่วยความจำข้อมูล(RAM) ขนาด 256 ไบต์

-มีพอร์ต 32 พอร์ตอิสระสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้

-มีไทเมอร์/เคาเตอร์ขนาด 16-bit ทั้งหมด 3 ตัว

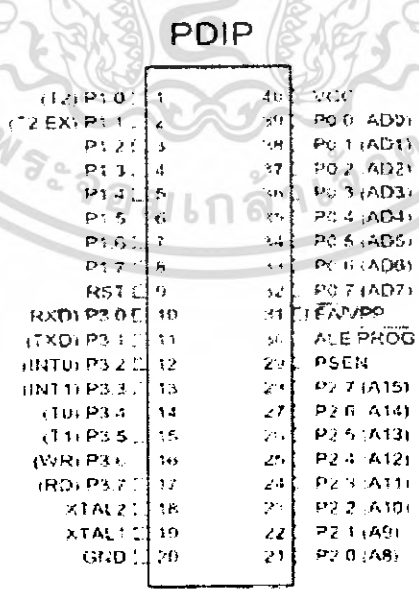
-รองรับการอินเตอร์รับได้ 8 แหล่ง

-สามารถสื่อสานข้อมูลแบบอนุกลมได้ด้วย UART Channel

-มีโหมดการทำงานแบบ Low Power Idle และ Power Down สำหรับการประหยัดพลังงาน

-มี Watchdog Timer เพื่อเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของระบบ

3.6.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (AT89C52)



ภาพที่ 3.7 การจัดขาของ MCS-51 (AT89C52)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-VCC ต่อไฟเลี้ยง (Supply voltage)

-GND ต่อกราวด์ (ground)

-Port0 (P0.0-P0.7) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต สามารถทำงานได้สองหน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกคือรับ / ส่งข้อมูลและกำหนดแอดเดรสไบต์ต่ำ

-Port 1 (P1.0-P1.7) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ (pull-up resister) ไว้ภายในทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นขาอินพุตเอาต์พุตของไทเมอร์ 2

-Port 2 (P2.0-P2.7) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ (pull-up resister) ไว้ภายในสามารถทำงานได้สองหน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกคือกำหนดแอดเดรสไบต์สูง

-Port 3 (P3.0-P3.7) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ (pull-up resister) ไว้ภายในทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นขาสัญญาณควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำ การอินเตอร์รัปต์และอื่นๆ

-RST เป็นขาอินพุตที่ใช้รับสัญญาณสำหรับรีเซตซีพียู ซีพียูจะถูกริเซตเมื่อขานี้เป็นลอจิก "1" นาน 2 แมทชินไซเคิลหรือ 24 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา

-ALE/PROG ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเมื่อซีพียูต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก คือจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขานี้เพื่อทำการแลตแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก และขานี้จะเป็นอินพุตเมื่ออยู่ในระหว่างโปรแกรมแฟลซ

-PSEN เป็นขาเอาต์พุตใช้ในกาติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก คือเมื่อซีพียูทำการประมวลผลกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกขานี้จะแอคทีฟสองครั้งในแต่ละแมทชินไซเคิล

-EA/VPPเป็นขาอินพุตและต้องการลอจิก "0" เพื่อยอมให้ซีพียูสามารถเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH นอกจากนี้แล้วขานี้ยังใช้รับไฟ 12 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างที่ทำการโปรแกรมแฟลช

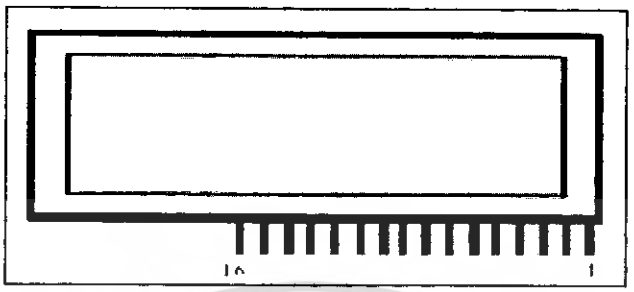
-XTAL1 เป็นขาอินพุตของวงจรออสซิลเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์และยังเป็นอินพุตของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน

-XTAL2 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 จอแสดงผล LCD 16*2

จอแสดงผล LCD ที่เลือกใช้เป็นแบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดที่แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.8 จอแสดงผล LCD 16*2

3.7.1 การติดต่อกับ LCD Module มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1. แบบ 8 บิต
2. แบบ 4 บิต

ในการทดลองนี้ได้ใช้ LCD ขนาด 16*2 (2 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร) โดยที่ LCD มีขาต่างๆ ดังนี้

ขา 1 คือ GND

ขา 2 คือ VCC 5 volt

ขา 3 คือ Brightness ปรับ แสงสว่าง

ขา 4 คือ RS

ขา 5 คือ R/W (read/write)

ขา 6 คือ E (enable pulse จ่าย enable pulseให้ LCD ทำงาน)

ขา 7-14 คือ ข้อมูล 8 bit

ขา 15-16 คือ ไม่ได้ใช้

3.7.2 หลักการทำงาน

1. เมื่อจ่ายไฟให้กับ LCD แล้วต้อง Delay time ไปอย่างน้อย 15 mS เพื่อให้ LCD เริ่มทำงาน

2. กำหนด status ของขา R/W ว่าต้องอ่านหรือเขียนข้อมูล ซึ่งปกติแล้วจะเป็นการเขียนข้อมูลมากกว่าจึงกำหนดให้มี Logic = "0"

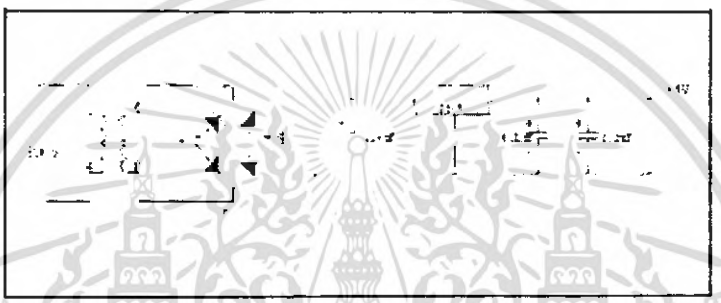
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนด status ของขา RS ว่าต้องการติดต่อกับ Register command or data ถ้าต้องการจะใช้ Command ก็ให้ Logic = "0" แต่ถ้าต้องการให้เป็น data ก็ให้ Logic = "1"

4. ป้อน Pulse Enable

3.8 การทำงานของชุด Supply

การทำงานของวงจร Supply คือใช้หม้อแปลงแปลงไฟ AC จาก 220 V นำ Output ไปผ่าน Diode bridge โดยใช้ตัว Capacitor เป็นตัวกรอง Voltage ให้เรียบแล้วใช้ตัว Regulator เป็นตัว Regulate voltage (7805) ให้ได้ค่าตามต้องการ โดยมีวงจรดังภาพที่ 3.8



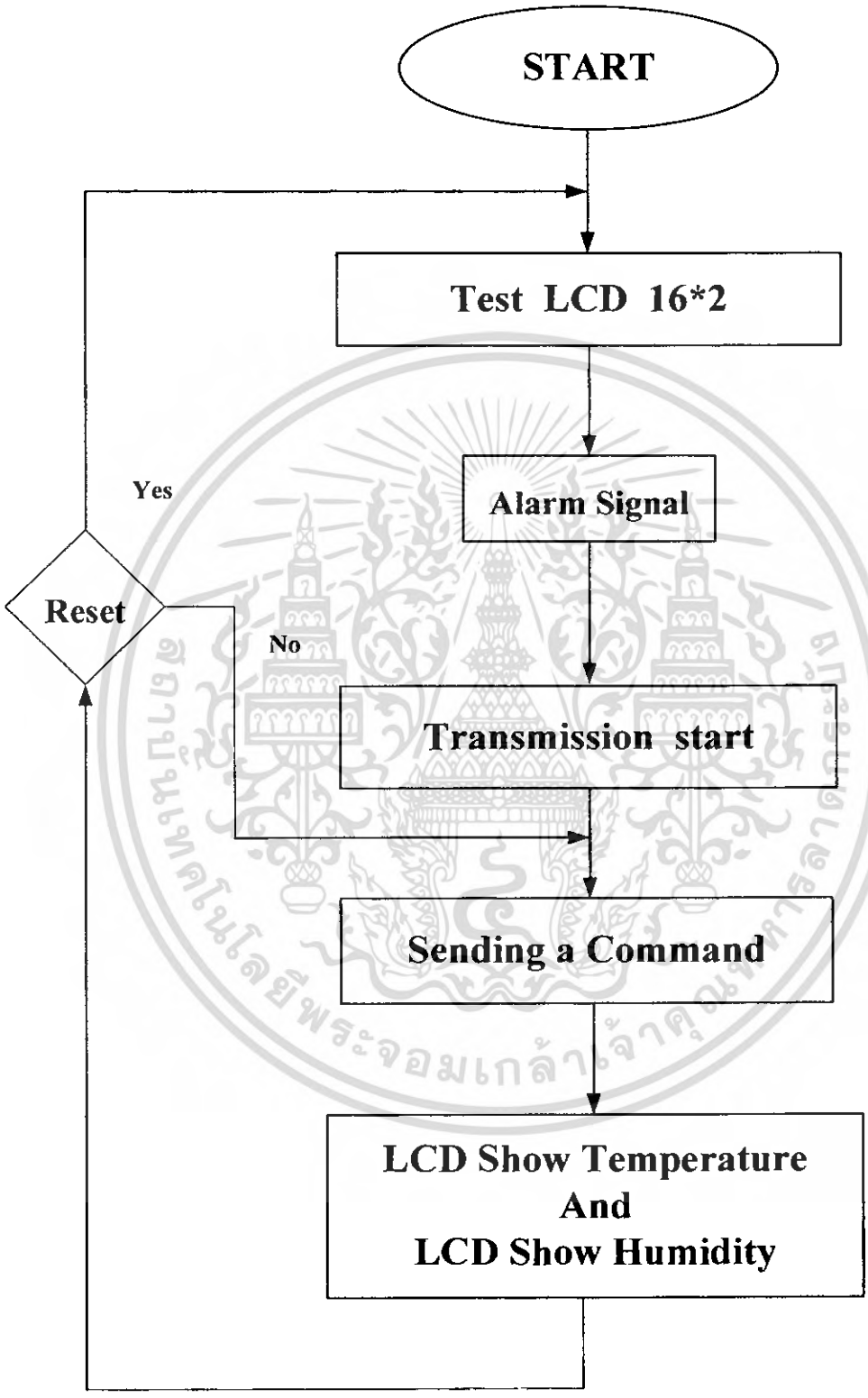
ภาพที่ 3.9 วงจร Supply

3.9 โปรแกรมในการสั่งการและประมวลผล

ในการออกแบบโปรแกรมนี้เป็นการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อติดต่อกับโมดูล SHT 15 โมดูลวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เพื่ออ่านค่าทางฟิสิกส์ที่วัดได้มาแสดงผลที่โมดูล LCD ขนาด 16*2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

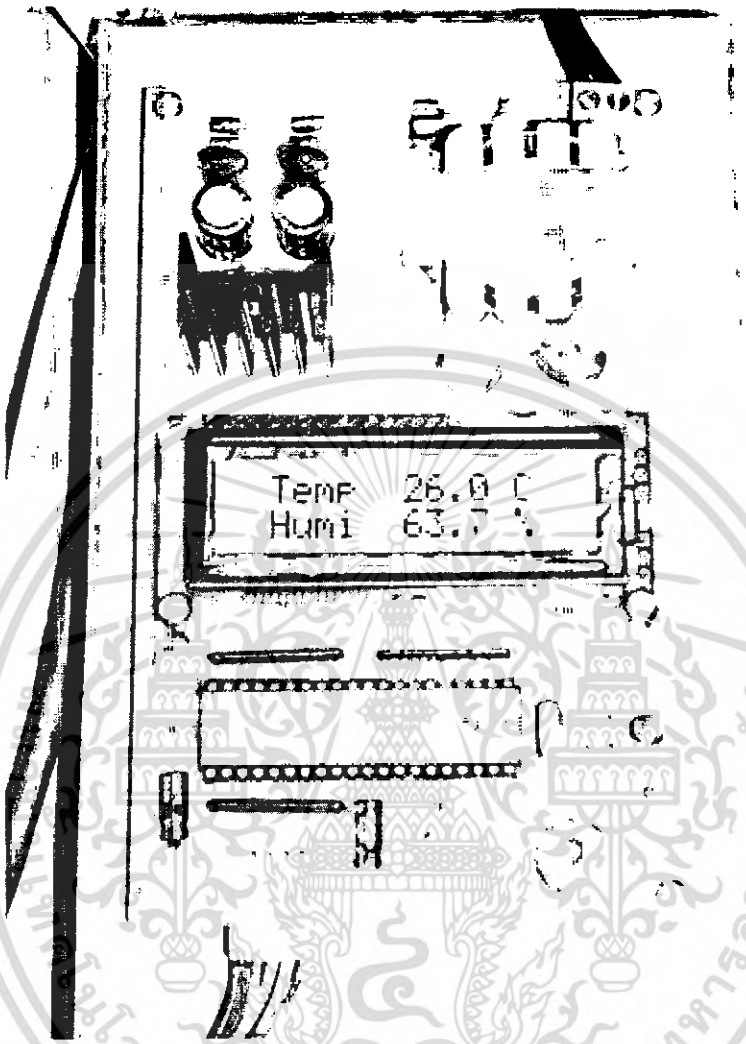
3.9.1 FLOW SHART การทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 3.10 การทำงานของโปรแกรมควบคุมการแสดงผลของ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

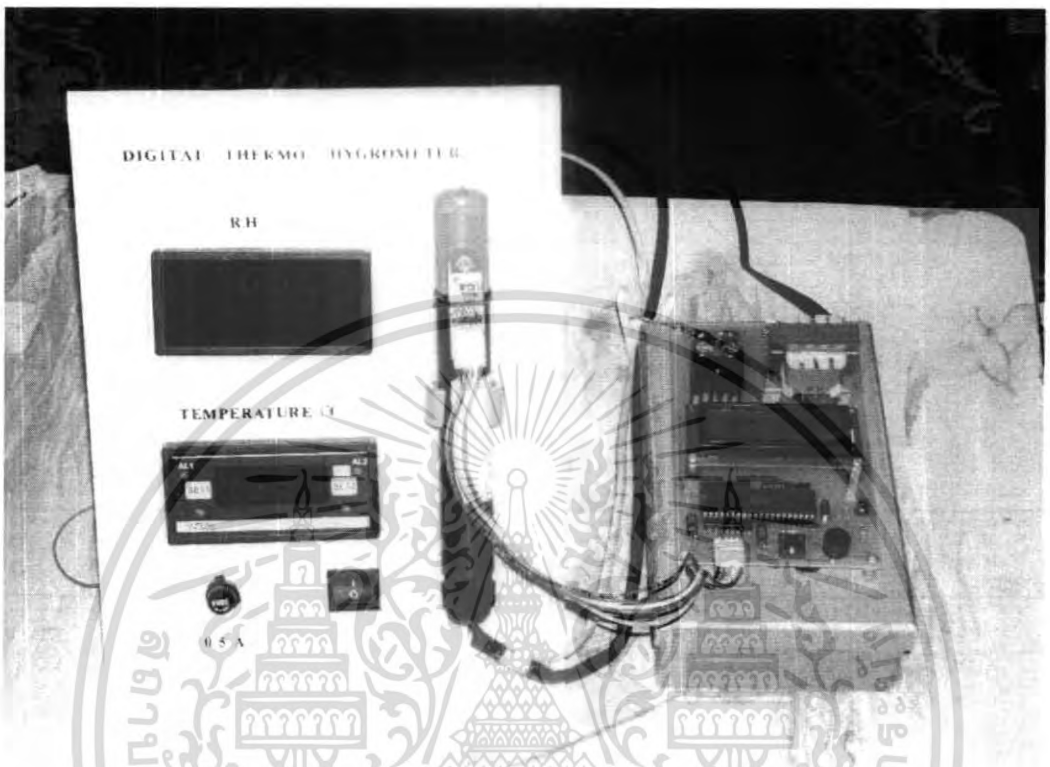
3.10 ตัวอย่างฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการควบคุมโมดูล SHT 15



ภาพที่ 3.11 ชุดคอนโทรลเลอร์ที่ใช้แสดงผลของโมดูล SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การทดลองความแม่นยำในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโมดูล SHT 15 เทียบกับ เครื่องวัด DIGITAL THERMO HYGROMETER



ภาพที่ 3.12 การทดสอบความแม่นยำของ SHT 15

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของ SHT 15

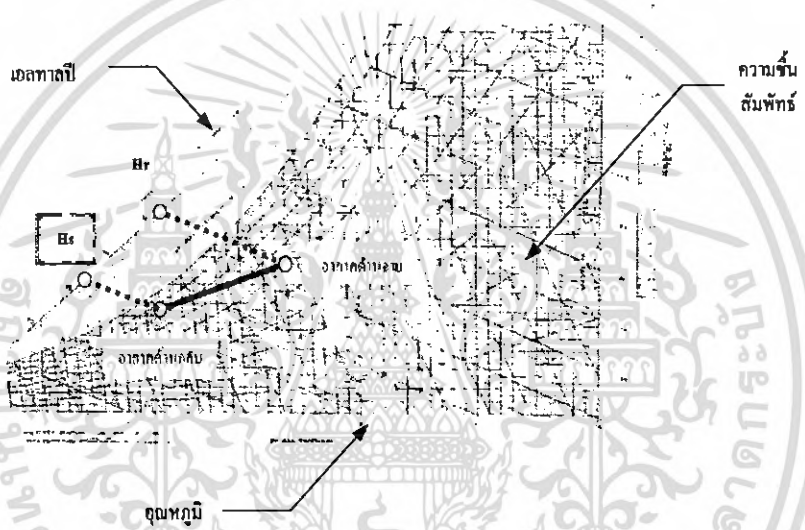
อุณหภูมิ ^0C	DIGITAL THERMO HYGROMETER		SHT15	
	T(^0C)	H$(\%RH)$	T(^0C)	H$(\%RH)$
28	28	54.8	28.1	56.1
27	27	56.8	27.0	59.6
26	26	53.8	26.0	59.2
25	24	51.1	25.5	53.4
24	23	50.0	23.8	52.0
23	23	48.0	23.1	50.0
22	22	46.1	22.0	40.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากโมดูล SHT15 มีความใกล้เคียงกับ DIGITAL THERMO HYGROMETER ถึงจะมีค่าแตกต่างอยู่บ้างแต่ก็อยู่ในค่า error ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากโมดูล SHT 15 มาคำนวณค่าประสิทธิภาพ (EER) เครื่องปรับอากาศไดเลย

3.12 การหาค่าเอนธาลปีจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จาก SHT 15

ตัวอย่าง ที่1 จากตารางที่ 3.5 ที่อุณหภูมิ 25 ^0C โมดูล SHT 15 วัดค่าอุณหภูมิได้ 25.5 ^0C และค่าความชื้นสัมพัทธ์วัดได้ 53.4 $(\%RH)$



ภาพที่ 3.13 Psychometric Chart

-จากกราฟจะเห็นว่าในแนวแกน X จะแสดงค่าของอุณหภูมิ (^0C)

-ในแนวเส้นโค้งจะแสดงในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ $(\%RH)$

- นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มา เทียบ กับกราฟว่าอยู่จุดไหน

- นำค่าความชื้นสัมพัทธ์มาเทียบกับกราฟว่าอยู่จุดไหน

-รากเส้นระหว่างตำแหน่งของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้ตัดกัน

-รากจุดตัดระหว่างอุณหภูมิกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ทำมุม 45 ^{0} เข้าแนวแกนเอลธาลปี ก็จะได้ค่าเอลธาลปี

สรุปจากตัวอย่างวัดค่าอุณหภูมิได้ 25.5 ^0C และค่าความชื้นสัมพัทธ์วัดได้ 53.4 $(\%RH)$ จะได้ค่าเอลธาลปีเท่ากับ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer

Anemometer หรือเทอร์ไบน์เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่สามารถวัดอัตราการไหลของของไหลได้โดยตรงแบบหนึ่ง โดยหลักการทำงานของเทอร์ไบน์นั้นจะทำหน้าที่แปลงอัตรากาไหลของของไหลให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แต่ต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตัวอื่นอีกด้วย ซึ่งในโครงงานนี้ได้ทดลองร่วมกับ Sensor Photomicrosensors (653-EE-570) ของ OMRON ที่มีการให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ภายในของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลจะประกอบด้วยใบพัด (Propeller) ดังรูป

ภาพที่ 4.1 Anemometer

4.1 หลักการทำงาน

ที่ระหว่างใบพัดจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับทางแสง Photomicrosensors (653-EE-570)ไว้ที่ระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของใบพัด ในลักษณะแยกตัวรับตัวส่งออกจากกัน (Through- Beam Sensor) เมื่อใบพัดหมุนจะเกิดสภาวะ 2 สภาวะขึ้นมาดังนี้

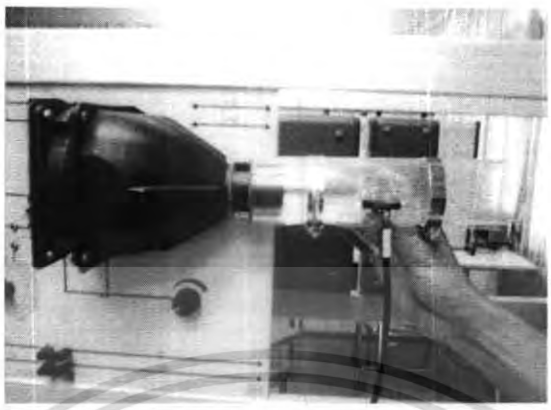
สภาวะที่ 1 คือช่วงที่ใบพัดไปปิดการส่งสัญญาณ Photomicrosensors จะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็น 0 V

สภาวะที่ 2 คือช่วงที่ใบพัดไม่ได้ปิดการส่งสัญญาณ Photomicrosensors (ช่องว่างของใบพัดตรงกับเซนเซอร์พอดี) จะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็น 5 V

สภาวะ 2 สภาวะนี้เองทำให้สัญญาณที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) และความถี่ของสัญญาณพัลส์นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วในการหมุนของใบพัด อันเนื่องมาจากการไหลของของไหลคือถ้าความถี่ของสัญญาณพัลส์มาก อัตราความเร็วก็จะมากตามด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

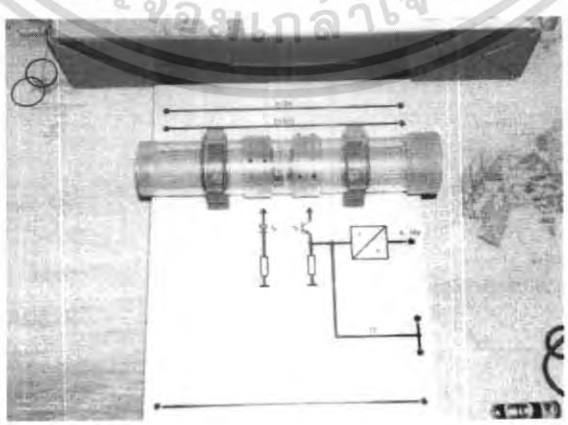
4.2 การทดลองหาอัตราความเร็วลม



ภาพที่ 4.2 การหาความเร็วลมด้วย Anemometer

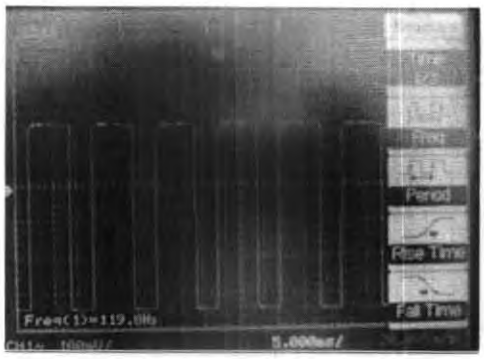
1. ทำการจ่ายไฟเลี้ยง 5 โวลต์ให้กับ Photo Sensor ที่ทำการตรวจจับสัญญาณพัลส์ (Pulse) ใน Anemometer
2. ทำการต่อ Agilance Technology เครื่องตรวจสอบสัญญาณความถี่ เข้ากับเอาต์พุตของ Photo- Sensor
3. นำ Anemometer ไปตรวจจับความเร็วลมบริเวณหน้าคอยล์เย็น
4. นำค่าความถี่ที่วัดได้ไปป้อนในโปรแกรมสนับสนุนการหาค่าความเร็วลม

4.3 การทดลองความแม่นยำในการวัดความถี่สัญญาณของ Anemometer ที่ทำการสร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับความถี่ของสัญญาณ Anemometer มาตรฐาน

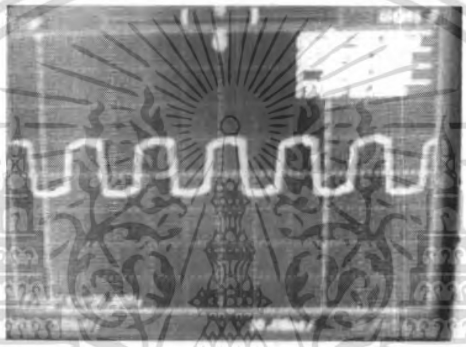


ภาพที่ 4.3 Anemometer มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 สัญญาณความถี่ที่ได้จาก Anemometer มาตรฐาน



ภาพที่ 4.5 สัญญาณความถี่ที่ได้จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นมาเอง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความถี่ของ Anemometer

V_{In}	f_1	f_2
1	120	27
2	230	56
3	302	76
4	377	95
5	454	110
6	526	132
7	588	146
8	645	164
9	174	712

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

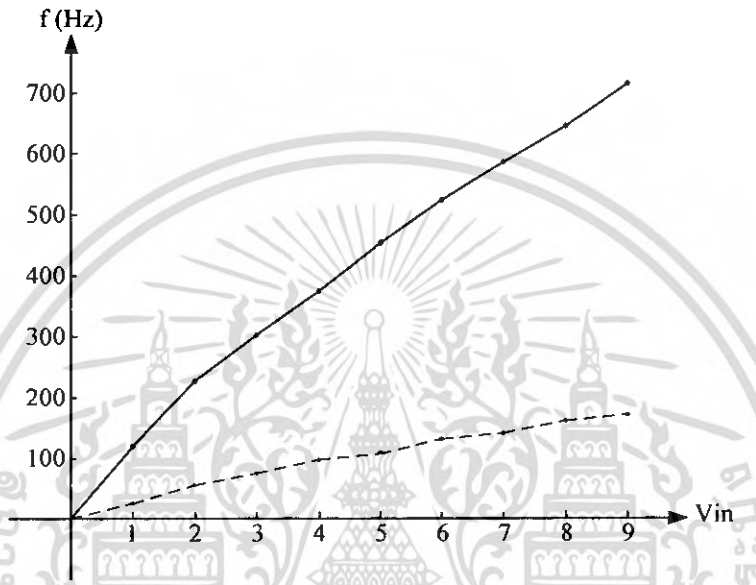
*หมายเหตุ

V_{In} คือความต่างศักย์ที่ป้อนให้กับพัดลม

f_1 คือความถี่ที่วัดได้จาก Anemometer มาตรฐาน

f_2 คือความถี่ที่วัดได้จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นมาเอง

*สรุป



ภาพที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณความถี่ของ Anemometer

*หมายเหตุ

——— คือความถี่จาก Anemometer มาตรฐาน

– – – - คือความถี่จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นมาเอง

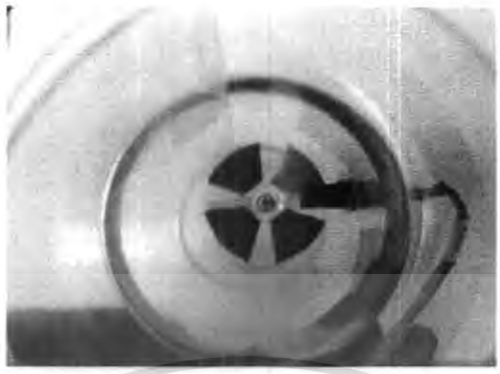
จากกราฟและตารางการทดลองจะเห็นว่า ความถี่ที่วัดได้จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นมาเองนั้นจะมีค่าน้อยกว่าค่าความถี่มาตรฐานอยู่ 4 เท่า

$$f(EER) = 4 \times f_{Anemometer} \quad \text{.....(4.1)}$$

เหตุที่ทำให้ความถี่จาก Anemometer ที่สร้างขึ้นมาเองมีค่าน้อยกว่าความถี่จากAnemometer มาตรฐานเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทำใบพัดนั้นอาจจะมีน้ำหนักมากกว่า การหล่อลื่นยังไม่ดีพอและองศาของใบพัดยังไม่ได้ตามมาตรฐานจึงทำให้ความถี่ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 หลักการคำนวณค่าอัตราความเร็วลม



ภาพที่ 4.7 ลักษณะใบพัดของ Anemometer

จากรูปจะเห็นว่าใบพัดมีลักษณะเป็นสี่แฉก ดังนั้นในหนึ่งรอบจะมีสัญญาณพัลส์ (Pulse) 4 ลูก รัศมีของใบพัดเท่ากับ 1.5 cm หรือเท่ากับ 0.05 ฟุต นั้นเอง

ตัวอย่าง การหาค่าความเร็วลมเมื่อตรวจสอบสัญญาณพัลส์ (Pulse) ความถี่ 12.5 Hz

$$f(EER) = 4 \times f_{Anemometer}$$

$$f(EER) = 50$$

ความถี่ 50 Hz จะเท่ากับใบพัดหมุน $\frac{50}{4} = 12.5$ รอบต่อวินาที

1 วินาที ใบพัดหมุน 12.5 รอบ

1 นาที ใบพัดหมุน 60*12.5 รอบ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V_0 = \frac{60 f(EER)}{4} \times \left(2 \times \frac{22}{7} \times 0.05\right) \quad \text{.....(4.2)}$$

โดยที่

$f(EER)$ คือค่าความถี่ที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม

0.05 คือรัศมีใบพัดใน Anemometer

ความเร็วลมที่วัดได้คือ

$$60 \frac{\times 50}{4} \times \left(2 \times \frac{22}{7} \times 0.05\right) = 0.065 \text{ ฟุต/นาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้เราจะใช้โปรแกรม MICROSOFT VISUAL BASIC (VB6) ในการคำนวณค่าความเร็วลมก็คือเมื่อเราค่าความถี่ให้กับโปรแกรม โปรแกรมก็จะทำการคำนวณอัตราความเร็วลมในหน่วย ฟุต /นาที ให้เราทันที

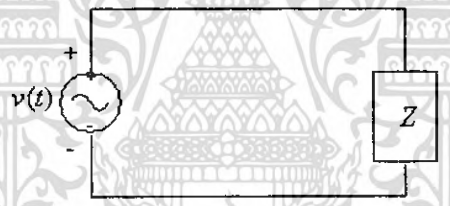
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วัตต์มิเตอร์

วัตต์มิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าในโครงงานนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าในวงจร AC ซึ่งได้แก่ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าใช้งานหรือค่า rms ตัวประกอบกำลัง กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนและการวัดกำลังไฟฟ้า

5.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่องค์ประกอบป้อน (Supplied) ให้กับวงจรและองค์ประกอบที่ได้รับสามารถหาได้จากผลคูณของแรงดันชั่วขณะที่ตกคร่อมองค์ประกอบกับกระแสชั่วขณะที่ องค์ประกอบนั้น อธิบายได้จากรูปที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 5.1 สมการของแรงดัน ที่สถานะคงตัวหรือสมการของแรงดันชั่วขณะและสมการของกระแสที่สถานะคงตัวหรือสมการของกระแสชั่วขณะ เป็นดังนี้

$$V(t) = V_M \cos(wt + q_v) \quad \text{..... (5.1)}$$

$$i(t) = I_M \cos(wt + q_i) \quad \text{..... (5.2)}$$

จากสมการที่ (5.1) และ (5.2) จะได้สมการของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะดังนี้

$$p(t) = v(t)i(t)$$
$$= V_m I_m \cos(wt + q_v)\cos(wt + q_i)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(t) = \frac{V_m I_M}{2}\left[\cos(q_v - q_i) + \cos(2wt + q_v + q_i)\right] \quad \text{..... (5.3)}$$

5.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นที่มีลักษณะเป็นรายคาบหรือรูปคลื่นรายคาบ (PeriodicWaveform) สามารถหาได้จากการอินทิเกรตฟังก์ชั่นตลอดคาบเวลาแล้วหารผลลัพธ์นี้ด้วยคาบเวลา ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเป็นดังสมการ (5.1) และ (5.2) ตามลำดับจะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยดังนี้

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} p(t)d(t)$$

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} V_m I_m \cos(wt + q_v)\cos(wt + q_i)dt$$

$$P = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+t} \frac{V_m I_m}{2}\left[\cos(q_v - q_i) + \cos(2wt + q_{v+q_i})\right]dt \quad \text{..... (5.4)}$$

*เมื่อ P = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

t_0 = ค่าเวลาใดๆ

T = คาบเวลาของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

จากสมการ 5.4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนั้นจะประกอบไปด้วยเทอม 2 เทอม เทอมแรกไม่ขึ้นกับค่า t ทำให้ได้ค่าคงที่ในการอินทิเกรด สำหรับเทอมที่สองเป็นเทอมรูปคลื่นโคไซน์แต่เนื่องจากค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นโคไซน์ตลอด 1 คาบเวลาเท่ากับศูนย์ดังนั้นสมการ 5.4 จึงลดรูปเป็น

$$p(t) = \frac{V_m I_M}{2}\left[\cos(q_v - q_i)\right] \quad \text{..... (5.5)}$$

*เมื่อ q_v-q_i เป็นมุมเฟสของอิมพีแดนซ์ของวงจร

ดังนั้นถ้าวงจรประกอบด้วยความต้านทานอย่างเดียว กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเป็นดังนี้

$$p(t) = \frac{V_m I_M}{2} \text{.. ..... (5.6)}$$

และถ้าวงจรประกอบด้วยรีแอกทีฟเพียงอย่างเดียว กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะเป็นดังนี้

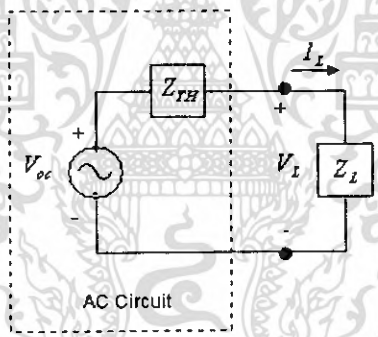
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(t) = \frac{V_m I_M}{2}\left(\cos 90^0\right) \quad \text{.....(5.7)}$$

เหตุที่กำลังไฟฟ้าเนื่องจากอิมพีแดนซ์รีแอกทีฟเพียงอย่างเดียว มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากอิมพีแดนซ์รีแอกทีฟเป็นองค์ประกอบวงจรที่ไม่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า เพราะไม่สามารถรับหรือดูดซึมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ และเนื่องจากอิมพีแดนซ์รีแอกทีฟจะเก็บพลังงานส่วนหนึ่งตลอดคาบเวลาและปล่อยพลังงานตลอดอีกส่วนหนึ่งของคาบเวลาทำให้มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

5.3 การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Maximum Average Power Transfer)

การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดไปยังโหลดความต้านทานจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับค่าความต้านเทวินิน คือ $R_L = R_{TH}$ (ส่วนวงจรที่ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ของโหลด) Z_L การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดไปยังโหลดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์เทียบเคียงเทวินินที่ถูกคอนจูเกต



ภาพที่ 5.2 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

สมการของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดคือ

$$p_L = \frac{V_m I_L}{2}\cos\left(q_{v_L} - q_{i_L}\right) \quad \text{..... (5.8)}$$

กระแสเฟสเซอร์ที่โหลดและแรงดันเฟสเซอร์ตกคร่อมโหลดคือ

$$I_L = \frac{V_{oc}}{Z_{TH} + Z_L} \quad \text{..... (5.9)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_L = \frac{V_\alpha Z_L}{Z_{TH+} Z_L} \quad \text{..... (5.10)}$$

เมื่อ $Z_{TH} = R_{TH} + jX_{TH}$

และ $Z_L = R_L = jX_L$

สมการขนาดของกระแสเฟสเซอร์และแรงดันเฟสเซอร์คือ

$$I_L = \frac{V_{OC}}{\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH+} X_L)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{..... (5.11)}$$

$$V_L = \frac{V_\alpha \left(R_L{}^2 + X_L{}^2\right)^{\frac{1}{2}}}{\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH+} X_L)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{..... (5.12)}$$

มุมเฟสของกระแสเฟสเซอร์และแรงดันเฟสเซอร์ประกอบด้วยขปริมาณ $\left(q_{v_L} - q_{i_L}\right)$ ถ้ากำหนดให้ $\left(q_{v_L} - q_{i_L}\right) = q_{Z_L}$ แล้ว

$$\cos q_{Z_L} = \frac{R_L}{\left[(R_L)^2 + (X_L)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

ดังนั้นจะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดคือ

$$P_L = \frac{1}{2} \frac{V_\alpha{}^2 R_L}{\left[(R_{TH} + R_L)^2 + (X_{TH} + X_L)^2\right]} \quad \text{..... (5.13)}$$

ถ้ากำหนดให้ $X_L = X_{TH}$ จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่โหลดซึ่งเกิดจากความต้านทานเพียงอย่างเดียว นั่นคือ $R_L = R_{TH}$ ดังนี้

$$P_L = \frac{1}{2} \frac{V_\alpha{}^2 R_L}{\left[(R_{TH} + R_L)^2\right]}$$

จากสมการข้างต้นดังนั้นการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$Z_L = R_L + jX_L = R_{TH} - jX_{TH} = Z_{TH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ตัวประกอบกำลัง (The Power Factor)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ป้อนให้กับโหลดของวงจรในสภาวะคงตัว

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos(q_v - q_i) \quad \text{.....(5.14)}$$

จากสมกา ผลคูณของ $V_{rms} I_{rms}$ เรียกว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ที่มีหน่วยเป็นโวลต์แอมแปร์ (Volt-Ampere; VA) ส่วนเทอม $\cos(\theta_v - \theta_i)$ เรียกว่าตัวประกอบกำลัง (pf) ดังนั้นจะได้ว่า

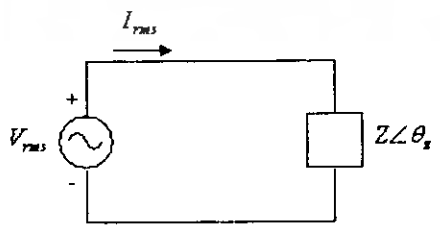
$$pf = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} = \cos(q_v - q_i) \quad \text{.....(5.15)}$$

เมื่อ $\cos(q_v - q_i) = \cos q_{z_L}$ และมุม $q_V - q_i = q_{Z_L}$ เป็นมุมเฟสของอิมพีแดนซ์ของโหลด ซึ่งเรียกว่า มุมตัวประกอบกำลัง (Power Factor Angle) หรือ มุม pf ถ้าโหลดเป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว แสดงว่า $\theta_{z_L} = 0$ และ $pf = 1$ แต่ถ้าโหลดเป็นรีแอกทีฟเพียงอย่างเดียว แสดงว่า $q_{z_L} = 90^0$ และ $pf = 0$ นอกจากนี้โหลดที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ R , L และ C อาจมีมุมเฟสเป็นศูนย์ หรือ $pf = 1$ กรณีนี้เกิดขึ้นที่ความถี่เฉพาะ

ถ้าโหลดเป็น RC จะมีมุม pf อยู่ระหว่าง- 90 และ 0 แต่ถ้าโหลดเป็น RL มุม pf จะอยู่ระหว่าง 0 และ 90

กรณีโหลด RC กระแสไฟฟ้าจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแสดงว่าโหลดมี pf นำหน้า ส่วนโหลด RL กระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแสดงว่าโหลดมี pf ล้าหลัง

5.5 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power)



ภาพที่ 5.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปมุมไฟฟ้าเชิงซ้อน (S) หาได้จาก

$$S = V_{rms} I_{rms}^{*}$$

เมื่อ I_{rms}^{*} เป็นคอนจูเกตเชิงซ้อนของ I_{rms} ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนสามารถกำหนดใหม่ได้เป็น

$$S = V_{rms} I_{rms} \cos(q_v - q_i) + jV_{rms} I_{rms} \sin(q_v - q_i) \quad \text{..... (5.16)}$$

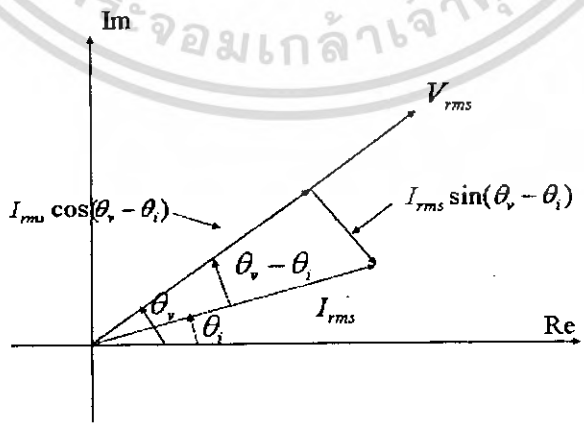
ส่วนจริงของ S เรียกว่ากำลังไฟฟ้าจริง หรือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Real or Average Power) และเรียกส่วนจินตภาพของ S ว่ากำลังไฟฟ้าต้านกลับ หรือ กำลังไฟฟ้าตั้งฉาก (Reactive or Quadrature Power) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนจึงสามารถกำหนดใหม่ได้เป็น

$$S = P + jQ \quad \text{..... (5.17)}$$

เมื่อ $P = \mathrm{Re}(s) = V_{rms} I_{rms} \cos(q_v - q_i)$

$Q = In(s) = V_{rms} I_{rms} \sin(q_v - q_i)$

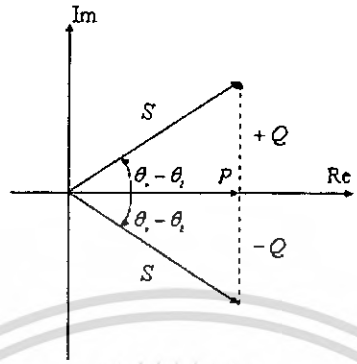
กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเหมือนกับกำลังไฟฟ้าปรากฏมีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์ (Volt-Ampere; VA) ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงมีหน่วยเป็น วัตต์ (W) และกำลังไฟฟ้าต้านกลับมีหน่วยเป็น โวลต์แอมแปร์รีแอกทีฟ (Volt-Ampere Reactive; var)



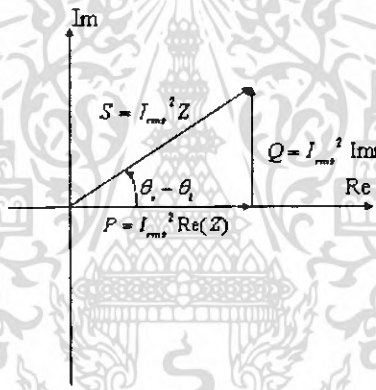
ภาพที่ 5.4 แผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของมุม pf กับ P และ Q สามารถแสดงได้ในรูปของสามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) ดังนี้



(a)



(b)

ภาพที่ 5.5 (a), (b) สามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า

จากสามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า ได้เงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่าง S , P และ Q เป็นดังนี้

- ถ้า Q เป็นบวกแสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบอินดักทีฟมีตัวประกอบกำลังหล้าหลังและกำลังเชิงซ้อนอยู่ใน ควอดแดนซ์ที่ 1

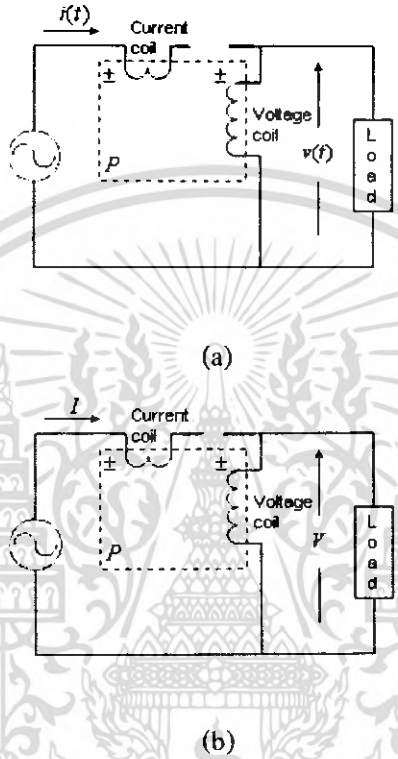
- ถ้า Q เป็นลบแสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบคาปาซิทีฟ มีตัวประกอบกำลังนำหน้าและกำลังเชิงซ้อนอยู่ใน ควอดแดนซ์ที่ 4

- ถ้า Q เป็นศูนย์แสดงว่าโหลดเป็นโหลดแบบความต้านทาน มีตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 และกำลังเชิงซ้อนอยู่ในแนวแกนจริงที่เป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การวัดกำลังไฟฟ้า (Power Measurement)

เครื่องมือที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยคือวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) เครื่องมือนี้ประกอบด้วยขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current Coil) ที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำมากซึ่งต่ออนุกรมกับโหลดและขดลวดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Coil) ที่มีอิมพีแดนซ์สูงมากซึ่งต่อขนานกับโหลดดังรูปที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 (a), (b) การต่อเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าเข้ากับวงจร

ถ้าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรายคาบ แล้วต่อวัตต์มิเตอร์ดังรูป ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์คือ

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)dt \quad \text{..... (5.18)}$$

จากวงจรเทียบเคียงในโดเมนความถี่ในรูป ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์คือ

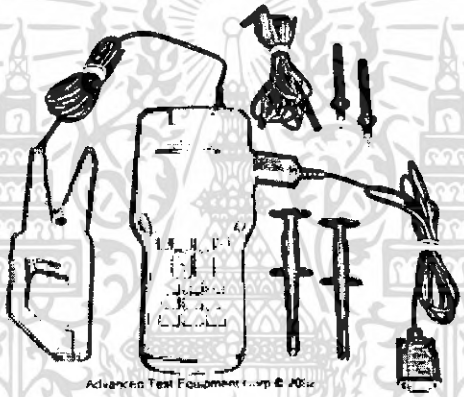
$$P = \mathrm{Re}(VT) = |V||I|\cos(q_v - q_i) \quad \text{..... (5.19)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสังเกตได้ว่า มีการป้อน $i(t)$ และ I เข้าสู่ขั้วของขดลวดกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังป้อน $v(t)$ และ V ที่ขั้วของขดลวดแรงดันไฟฟ้าเป็นบวกเมื่อเทียบกับอีกขั้วหนึ่ง แสดงว่ากำลังไฟฟ้าที่วัตต์มิเตอร์อ่านเป็นกำลังไฟฟ้าที่ป้อนไปยังโหลด ถ้าต่อขั้วขดลวดชุดใดชุดหนึ่งของวัตต์มิเตอร์สลับกันจะทำให้สมการของกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นลบและวัตต์มิเตอร์จะอ่านค่าเป็นลบ

5.7การใช้งานเครื่องมือวัด

เนื่องจากเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินไฟข้างมาก การที่ผู้วิจัยจะทำ Power-meter ขึ้นมาใช้เองนั้นจะทำให้ได้ Power meter ที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ผู้วิจัยที่จะเลือกใช้ วัตต์มิเตอร์ยี่ห้อ Fluke รุ่น 41B ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 วัตต์มิเตอร์

5.7.1 ลักษณะการใช้งาน

-ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิคส์

-ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิคส์

-ใช้วัดกำลังงานไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิคส์

5.7.2 รายละเอียดของวัตต์มิเตอร์

-เป็นเครื่องมือวัด True RMS แบบ 1เฟส

-สามารถใช้งานที่ความถี่ไม่เกิน 2 kHZ

-สามารถวัดแรงดันไม่เกิน 600 Vrms, 933V peak

-การวัดกระแสให้ใช้ CT แบบ 80 I-500S (500A)

-สามารถวัดปริมาณฮาร์มอนิคส์ได้ถึงอันดับที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การเขียนโปรแกรมการคำนวณ

โปรแกรมการคำนวณ เราใช้ Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมการคำนวณ เพราะ เป็นภาษาที่เข้าใจง่าย สะดวกต่อการเขียน มารู้จักกับ Visual Basic เบื้องต้นกัน เป็นที่ทราบกันดีสำหรับคนที่เกี่ยวข้องกับงานคอมพิวเตอร์ว่า เครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการเขียนโปรแกรม คือ Visual Basic 6 เพราะเป็นโปรแกรมที่มีขอบเขตความสามารถสูงไม่แพ้เครื่องมือชนิดอื่น ซึ่ง Visual Basic 6 ได้รับการพัฒนาเพื่อให้เขียนโปรแกรมได้หลากหลายประเภท สามารถใช้สร้างโปรแกรม ระดับมืออาชีพได้ ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมด้านข้อมูล หรือแม้แต่โปรแกรมที่รันบนอินเตอร์เน็ท Visual Basic ยังมีเครื่องมือต่าง ๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างโปรแกรมอย่างมาก จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับผู้เริ่มต้นการศึกษาโปรแกรม เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้จะใช้สร้างส่วนหลักๆในโปรแกรมให้เราอย่างอัตโนมัติ และสำหรับผู้ใช้งานระดับมืออาชีพก็ไม่ผิดหวัง เพราะ Visual Basic ยังมีความสามารถระดับสูงไว้ใช้งานเช่นกัน แต่สำหรับโปรแกรมที่เราได้เขียนขึ้นนั้น เป็นโปรแกรมการคำนวณพื้นฐานซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

6.1 ขอบเขตการออกแบบโปรแกรมตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

สิ่งที่ผู้ออกแบบโปรแกรมทั้งหลายต้องคำนึงถึงในการที่จะออกแบบโปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่ง คือ

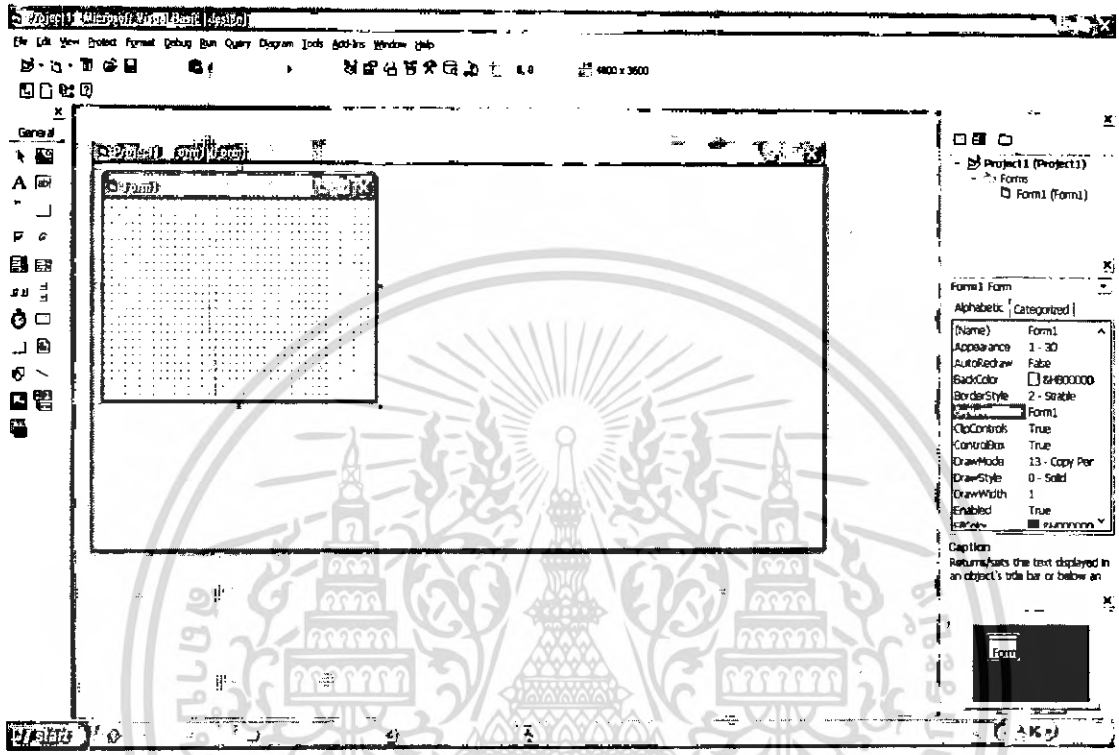
1. ต้องการให้โปรแกรมทำอะไรบ้าง
2. มีจำนวนหน้าเท่าไหร่
3. ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือไม่

ในส่วนของโปรแกรมที่ผู้วิจัยต้องการเพียงการคำนวณสมการประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) โดยกำหนดค่าจากตารางบันทึกผล และนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่าผ่านหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ทำความรู้จักกับเครื่องมือต่างๆที่เราจำเป็นต้องใช้

เราต้องเรียนรู้ฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรมก่อน เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการเขียนโปรแกรม ซึ่งหน้าต่างของ Visual Basic แสดงดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 หน้าต่างโปรแกรม Visual Basic 6

6.2.1 ฟังก์ชันการคำนวณ

จากการออกแบบโปรแกรม เราใช้คำนวณสมการจึงใช้ฟังก์ชั่น การบวก ลบ คูณ หาร เพื่อให้ได้ของสมการ รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดชนิดของตัวแปร จากสมการ

$$EER = \frac{4.5 \times A_0 \times V_0 \times (h_1 - h_0)}{P_{comp}} \quad \text{.....(6.1)}$$

ตัวอย่างโปรแกรมในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

```
Dim A As Double
Dim CAL As Double
Dim B As Double
Dim C As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim E As Double
Dim D As Double
Dim F As String
  Sub Command1_click()
        CAL = Val(Text.7Text) * Val(Text.11Text)
        A = CAL * 4.5
        B = Val(Text.6Text) - Val(Text.5Text)
        C = Val(Text.8Text)
        Text.9Text = (B * A) / C
        D = Val(Text.9Text)
        E = Val(Text.12Text)
```

คำสั่ง Dim <ชื่อตัวแปร>[As Type] เป็นคำสั่งกำหนดค่าตัวแปร โดยเรากำหนดให้เป็น Double คือ ให้ตัวแปรเป็นตัวเลขทศนิยม

Sub Command1_click() เป็นการกำหนดฟังก์ชันเมื่อ click ปุ่ม

Val(Text.8Text) เป็นการเปลี่ยนค่าที่ป้อนใน Text ให้เปลี่ยนเป็นตัวเลขเพื่อใช้ในการคำนวณ

6.2.2 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบ

ต่อไปเป็นการเขียนโปรแกรมในการเปรียบกับค่ามาตรฐาน โดยเราใช้คำสั่ง If – Then – Else

```
If  E <= 8000 And D >= 2.53 Then
   Text10.Text = "Pass"
   ElseIf  E > 8000 And D >= 2.83 Then
   Text10.Text = "Pass"
   Else
   Text10.Text = "No Pass"
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

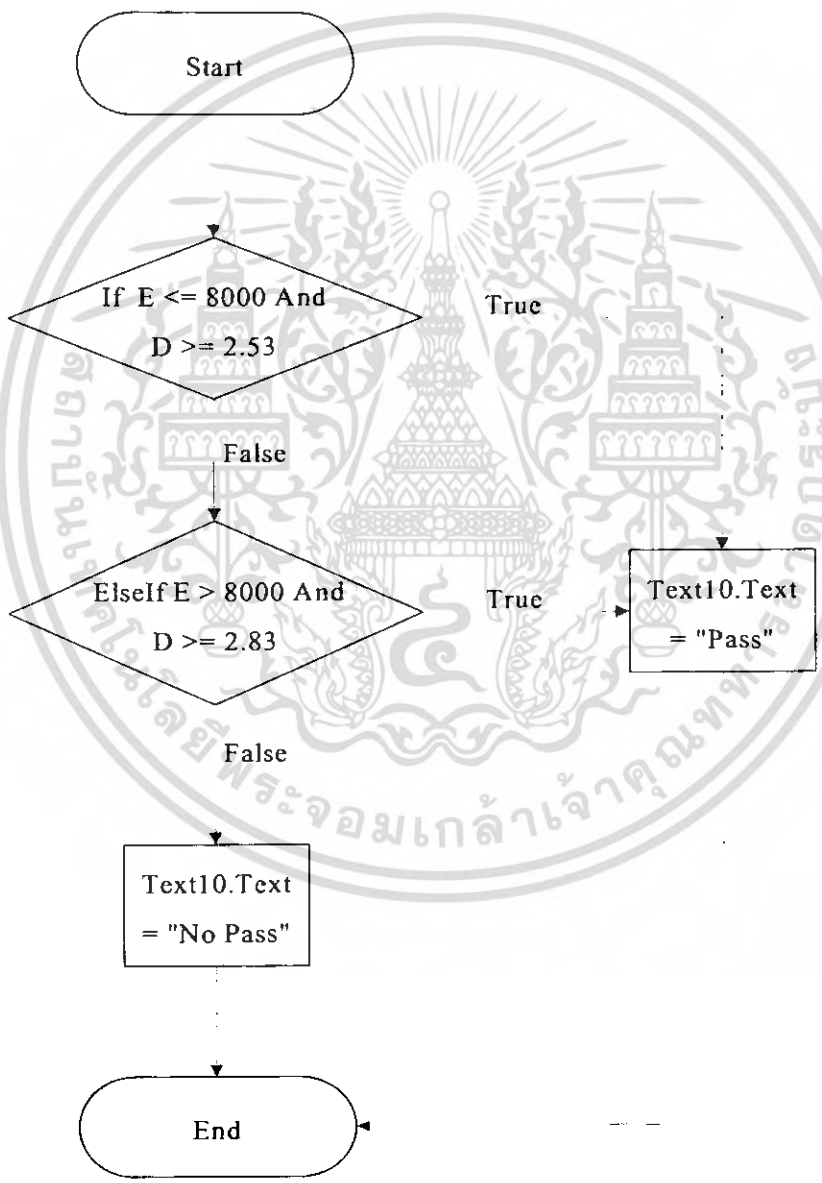
6.2.3 จากโปรแกรมข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

กรณีที่ 1 เมื่อ E มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 8000 ซึ่งคือค่าขนาดของเครื่องปรับอากาศ และ D มากกว่าหรือเท่ากับ 2.53 ซึ่งคือค่า EER มาตรฐาน ให้แสดงข้อความว่า Pass

กรณีที่2 เมื่อ E มีค่ามากกว่า 8000 และ D มีค่ามากกว่า 2.83 ให้แสดงคำว่า Pass

กรณีที่3 หากไม่เป็นไปตามกรณีที่ 1 และ 2 ให้แสดงคำว่า No Pass

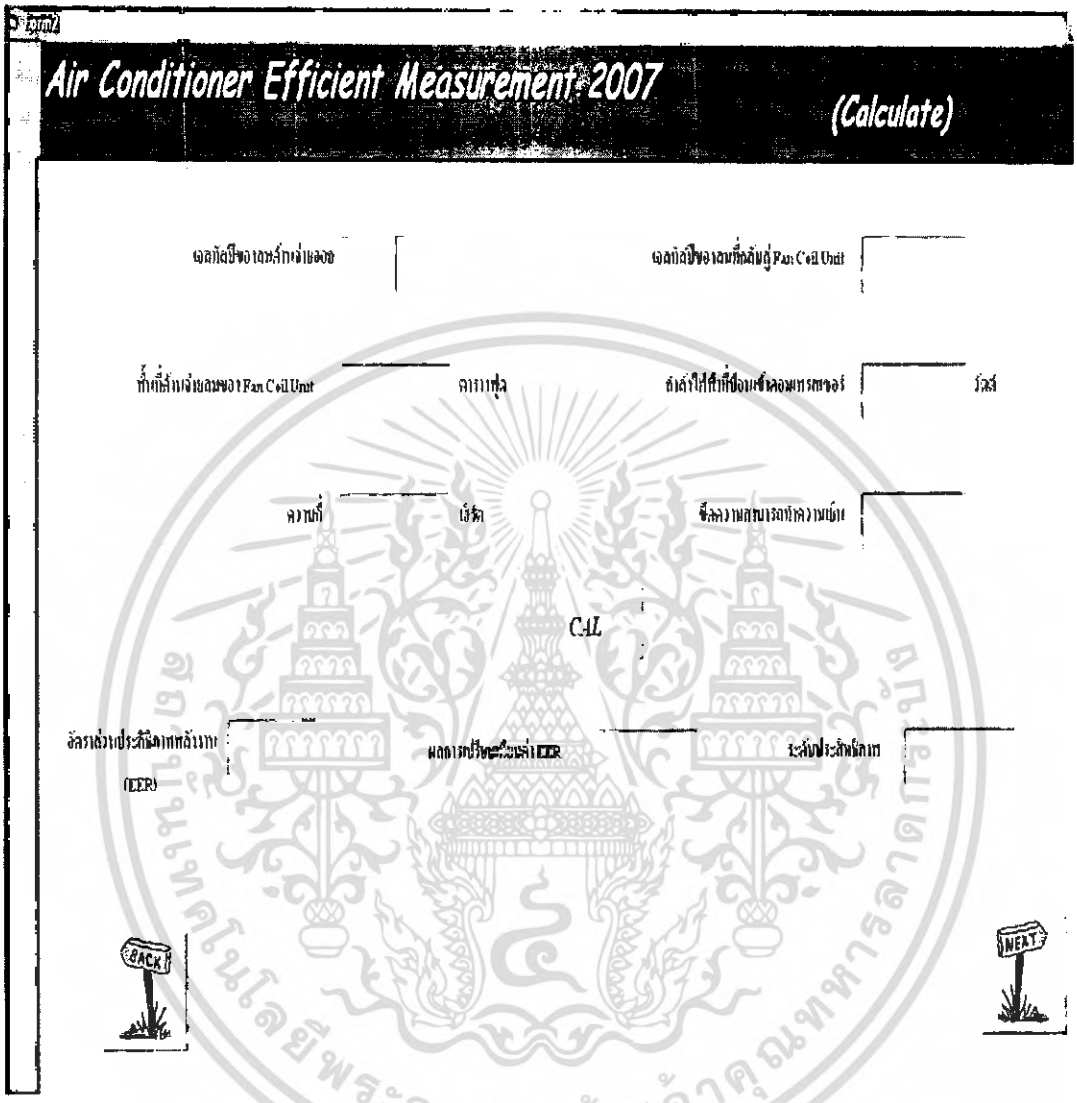
6.2.4 โฟรชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 6.2 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนในการสร้างโปรแกรมที่กล่าวมาเราสามารถสร้างโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าประสิทธิภาพและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีหน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 6.3



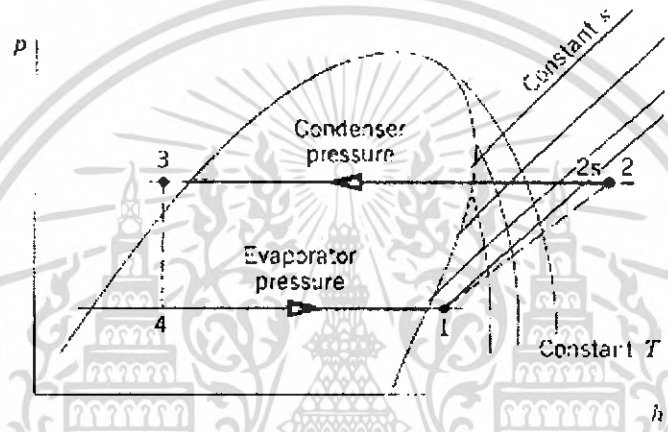
ภาพที่ 6.3 โปรแกรมคำนวณและเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศและเทคนิคการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

7.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

7.1.1 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศในทางทฤษฎี



ภาพที่ 7.1 แผนภาพ ความดัน-เอนธาลปี

7.1.1.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance; COP)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) คือปริมาณการทำความเย็นที่เป็นประโยชน์ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ขับสุทธิ

$$COP = \frac{usefulrefigeration}{network}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{.....(7.1)}$$

*โดย h : เอนธาลปีของสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็น หาได้จากแผนภูมิความดันเอนธาลปี

h_1 : เอนธาลปีของสารทำความเย็นด้านลมเข้าคอมเพรสเซอร์

h_2 : เอนธาลปีของสารทำความเย็นด้านลมออกจากคอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_4 : เอนธาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีแวปโพเรเตอร์

*หมายเหตุ

- $h_1 - h_4$ คือความเย็นที่ระบบสามารถทำได้
- $h_2 - h_3$ คือพลังงานที่ป้อนให้ระบบคอมเพรสเซอร์
- ค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ยิ่งมากแสดงว่าเครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการทำความเย็นสูง

7.1.1.2 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio; EER)

ประสิทธิภาพพลังงาน(EER) หมายถึงปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ต่อกำลังไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็น BTU/W หรือ $EER = \frac{BTU/Hr}{Watt}$ (สำหรับเครื่องปรับอากาศ)

$$EER = 3412 \times COP \quad \text{.....(7.2)}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) และค่าประสิทธิภาพพลังงาน(EER) ไม่สามารถหาค่าได้จริงในทางปฏิบัติเนื่องจากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและค่าความดันที่ใช้ในการคำนวณ กระทำการวัดที่บริเวณท่อน้ำยาแอร์ จึงจำเป็นต้องทำในระบบปิด หรือในห้องแลบนั้นเอง แต่เราสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงาน(EER) อีกแบบซึ่งจะพิจารณาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน(Split Type)

ตารางที่ 7.1 แสดงการจัดระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศด้วยค่า EER

ระดับที่	ค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	ค่า EER
ระดับที่ 1	ระดับที่มีประสิทธิภาพ ต่ำ	EER ต่ำกว่า 7.6
ระดับที่ 2	ระดับที่มีประสิทธิภาพ พอใช้	EER ตั้งแต่ 7.6 แต่ไม่ถึง 8.6
ระดับที่ 3	ระดับที่มีประสิทธิภาพ ปานกลาง	EER ตั้งแต่ 8.6 แต่ไม่ถึง 9.6
ระดับที่ 4	ระดับที่มีประสิทธิภาพ ดี	EER ตั้งแต่ 9.6 แต่ไม่ถึง 10.6
ระดับที่ 5	ระดับที่มีประสิทธิภาพ ดีมาก	EER ตั้งแต่ 10.6 ขึ้นไป

*หมายเหตุ

-ระดับประสิทธิภาพเบอร์ 1 ถึง เบอร์ 5 เป็นไปตามข้อกำหนดของสำนักงานการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (DSM) ของ ก.พ.ผ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศในทางปฏิบัติ

EER = อัตราการทำความเย็น/กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์

$$EER = \frac{4.5 \times A_0 \times V_0 (h_1 - h_0)}{P_{comp}} \quad \text{.....(7.3)}$$

โดย P_{comp} : กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (กิโลวัตต์)

A_0 : พื้นที่ของด้านจ่ายลมของ Fan Coil Unit (ตารางฟุต)

V_0 : ความเร็วของลมเย็นด้านจ่าย) (ฟุต/ นาที)

h_0 : เอนธาลปีของลมเย็นด้านจ่ายออก

h_1 : เอนธาลปีของลมเย็นที่กลับสู่ Fan Coil Unit

*หมายเหตุ

- การคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ(EER) ในหัวข้อนี้ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เท่านั้น
- ค่าเอนธาลปีหาได้จากการวัดอุณหภูมิและความความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปิดหาค่าเอนธาลปีในแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart)

7.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม : ประสิทธิภาพพลังงาน

7.2.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมถึง เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน(Split Type) และเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบติดผนัง ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 50 เฮิรตซ์ ที่มีขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิ ไม่เกิน 12000 วัตต์

7.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องปรับอากาศชนิดติดผนังห้อง มาตรฐานเลขที่ มอก.385และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน (Split Type) ระบายความร้อนด้วยอากาศ มาตรฐานเลขที่ มอก.1155 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (energy efficiency ratio -EER) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างขีด ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ กับ พิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์

2. เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบติดผนัง หมายถึง เครื่องปรับอากาศชนิดติดผนังห้องตาม มาตรฐานเลขที่ มอก.385 ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ มีส่วนประกอบซึ่งออกแบบให้รวมกันเป็นหน่วยเดียว ใช้ติดตั้งที่ช่องหน้าต่างหรือช่องในผนังห้อง เมื่อนำมาติดตั้งตามแบบของผู้ทำแล้ว สามารถปรับอากาศโดยลดอุณหภูมิและความชื้นให้กับห้องหรือบริเวณที่ปรับอากาศได้

3. เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน หมายถึง เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยก ส่วน ระบายความร้อนด้วยอากาศ ตามมาตรฐานเลขที่ มอก.1155 ซึ่งแยกออกเป็นชุดคอน-เดนซิง (condensing unit) และชุดแฟนคอยล์ (fan-coil unit) ที่ทำงานร่วมกัน เมื่อนำมาติดตั้งตามแบบของผู้ทำแล้ว สามารถปรับอากาศโดยลดอุณหภูมิและความชื้นในสถานที่ติดตั้งชุดแฟนคอยล์ได้

4. ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่อง (net total room cooling effect of a-unit) หมายถึง ความสามารถทั้งหมดของเครื่องที่จะระบายความร้อนสัมผัส (sensible heat) และความร้อนแฝง (latent heat) ออกจากบริเวณที่ปรับอากาศต่อหน่วยเวลาขณะทำงาน ณ ภาวะ-มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

5. พิกัดกำลังไฟฟ้า (rated power input) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้พร้อมกันของเครื่องอัดก๊าซ พัดลม อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์อื่นที่ประกอบใช้เครื่องปรับอากาศนั้นๆ ขณะทำงาน ณ ภาวะมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

7.2.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

1. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำให้เป็นไปตาม ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1
2. ประสิทธิภาพพลังงาน
   - อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานไม่น้อยกว่า ร้อยละ 93 ของค่าที่ระบุ
   -ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 ของ ขีดความสามารถ ทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องที่ระบุ
3. พิกัดกำลังไฟฟ้าไม่เกินร้อยละ 110 ของพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ระบุตามเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำตามมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ

แบบของเครื่องปรับอากาศ	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำ (EER)	
	ขีดความสามารถทำความเย็น ไม่เกิน 8000 วัตต์	ขีดความสามารถทำความเย็น 8001 วัตต์ ถึง 12 000 วัตต์
แบบติดผนัง ไม่น้อยกว่า	2.53 (2.82)*	2.53
แบบแยกส่วน ไม่น้อยกว่า	2.82	2.53

หมายเหตุ * ค่าใน ( ) หมายถึง ให้มีผลบังคับใช้วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2549

7.2.4 เครื่องหมายและฉลาก

ที่เครื่องปรับอากาศทุกเครื่องอย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายชัดเจนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

1. ชื่อแบบ (model) และชนิด
2. ชื่อแบบ (model) และชนิด ของชุดคอนเดนซิง และชุดแฟนคอยล์ที่ใช้คู่กัน (สำหรับแบบแยกส่วน)
3. ชื่อแบบ (model) ของคอมเพรสเซอร์
4. ชื่อแบบ (model) ของมอเตอร์
5. หมายเลขระดับปะ (เบอร์ที่ตัดอยู่ข้างเครื่อง)
6. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน
7. ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่อง เป็นวัตต์
8. แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด เป็นโวลต์
9. จำนวนเฟส
10. ความถี่ เป็นเฮิรตซ์
11. พิกัดกระแสไฟฟ้า เป็นแอมแปร์
12. พิกัดกำลังไฟฟ้า เป็นวัตต์
13. ชื่อสารทำความเย็นและปริมาณ เป็นกรัม
14. เดือน ปีที่ผลิตเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำพร้อมสถานที่ตั้ง

7.2.5 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.2.5.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เครื่องปรับอากาศแบบเดียวกัน มีขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของ เครื่องเดียวกันมีส่วนประกอบ/ชิ้นส่วนอุปกรณ์อย่างเดียวกัน ทำจากโรงงานเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

7.2.5.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

1. ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 1 เครื่อง

2. ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 7.3 และข้อ 7.4 ทุกรายการ จึงจะถือว่าเครื่องปรับอากาศรุ่นนั้นเป็นไป ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

7.2.6 การทดสอบ

1. ผู้ทำต้องแจ้งรายละเอียดของเครื่องปรับอากาศตาม ภาคผนวก ก.

2. การทดสอบ

2.1 การทดสอบเครื่องหมายและฉลากให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2.2 การทดสอบหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานให้ปฏิบัติตาม มอก. 385 หรือ มอก.1155 แล้วแต่กรณี

รายละเอียดของเครื่องปรับอากาศภาคผนวก ก. (ข้อ 7.6.1)

1. แบบ2 (.....) แยกส่วน ชื่อรุ่นของชุดคอนเดนซิง.....
ชื่อรุ่นของชุดแฟนคอยล์..... (.....) ติดผนังชื่อรุ่น.....
2. ขนาดขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิ.....วัตต์
3. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER).....
4. พิกัดกระแสไฟฟ้า (rated current).....แอมแปร์
5. พิกัดกำลังไฟฟ้า (rated power input).....วัตต์
6. แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด.....โวลต์
7. จำนวนเฟส.....เฟส
8. ความถี่.....เฮิรตซ์
9. ชื่อสารทำความเย็น..... ปริมาณ.....กรัม
10. รายละเอียดอุปกรณ์หลักของชุดคอนเดนซิง

10.1 คอมเพรสเซอร์ ยี่ห้อ..... รุ่น.....

10.2 มอเตอร์พัดลมรุ่น.....ขนาด.....วัตต์

ความเร็วรอบ .....รอบต่อนาที

จำนวน .....ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3 พัดลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง..... .....มิลลิเมตร

จำนวน.....ตัว

10.4 แผงควบแน่นขนาดพื้นที่ผิวหน้า (face area).....ตารางเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ.....มิลลิเมตร

จำนวนแถว.....แถว, ระยะระหว่างครีบ.....มิลลิเมตร

11. รายละเอียดอุปกรณ์หลักของชุดแฟนคอยล์

11.1 มอเตอร์รุ่น..... ขนาด.....วัตต์

ความเร็วรอบ..... รอบต่อนาที จำนวน.....ตัว

11.2 พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง.....มิลลิเมตร

ความยาว ..... มิลลิเมตร จำนวน.....ตัว

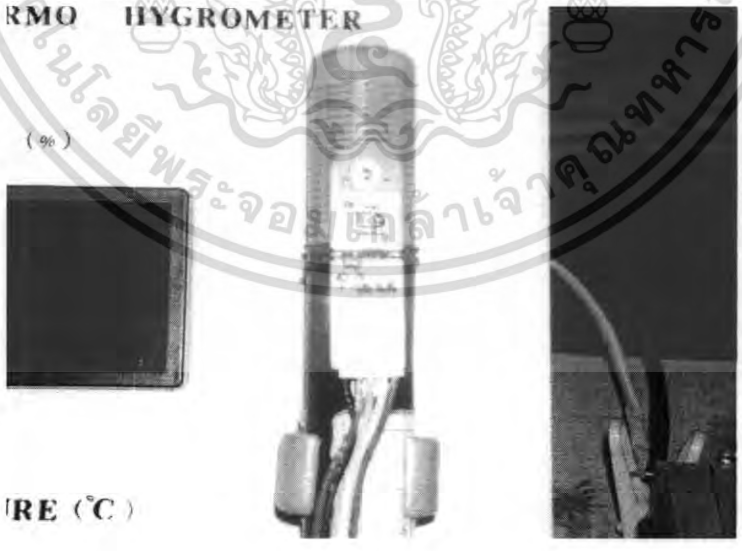
11.3 แผงอีแวพอเรเตอร์ขนาดพื้นที่ผิวหน้า (face area).....ตารางเมตร

จำนวนแถว.....แถว, ระยะระหว่างครีบ.....มิลลิเมตร

7.3 เทคนิคและขั้นตอนในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

7.3.1 เครื่องวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

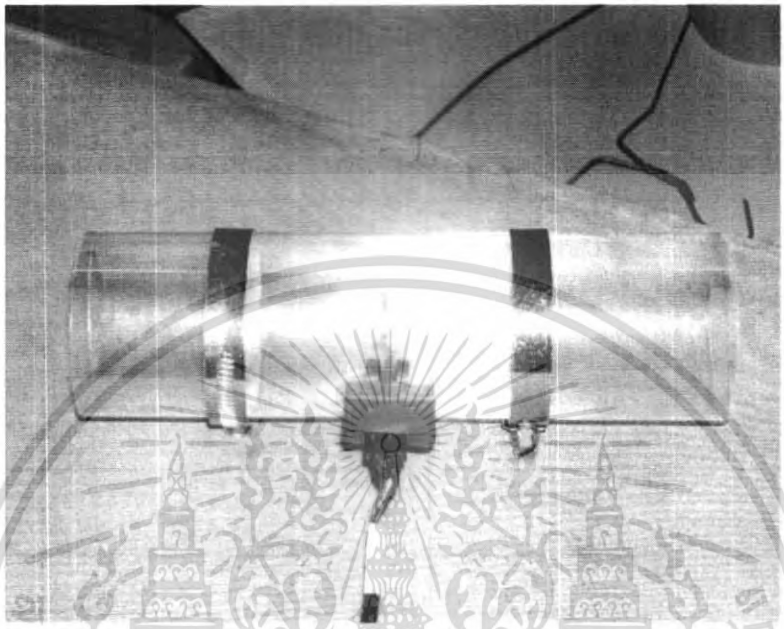
1. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์(Sensor SHT15) สามารถวัดค่าอุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส (^{0}C) และความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วย เปอร์เซ็นต์ (%)



ภาพที่ 7.2 เซนเซอร์ SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องวัดความเร็วลม(Anemometer) โดยใช้ Sensor Photomicrosensors (653-EE-570) ของ OMRON เป็นตัวจับสัญญาณพัลส์ ซึ่งจะนำความถี่มาคำนวณค่าความเร็วลมใน MICROSOFT VISUAL BASIC ในหน่วย ฟุต/นาที



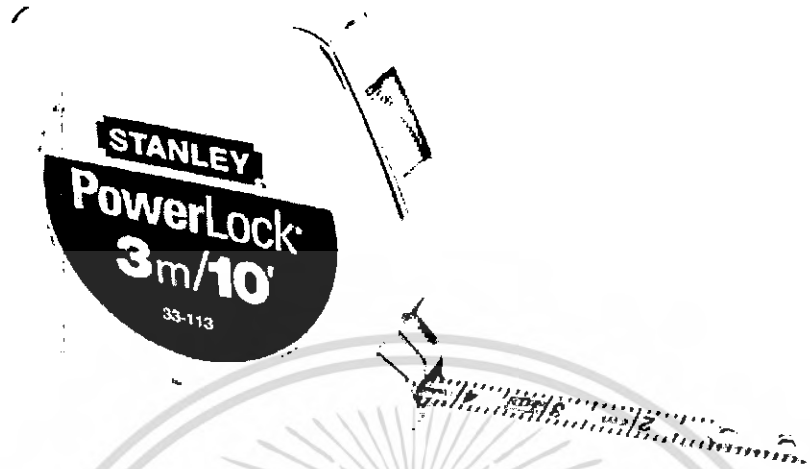
ภาพที่ 7.3 Anemometer

3. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) ในหน่วย กิโลวัตต์

ภาพที่ 7.4 Power meter

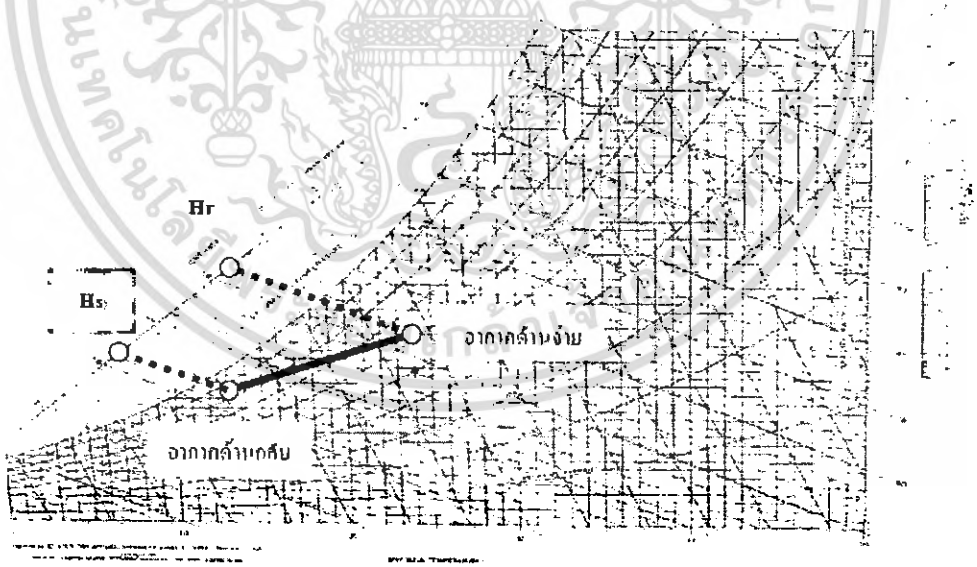
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตลับเมตรใช้ในการวัดพื้นที่ปล่อยลมเย็น(หน้าคอยล์เย็น) ในหน่วยตารางเมตร



ภาพที่ 7.5 ตลับเมตร

5. แผนภูมิไซโครเมตริก(Psychometric Chart)



ภาพที่ 7.6 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

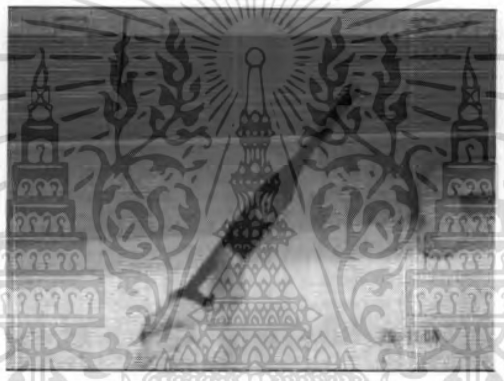
7.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมการวัด

1. ปรับตั้งระดับความแรงของพัดลมในเครื่องปรับอากาศที่ตำแหน่งแรงสุด (High Speed)
2. ปรับตั้งอุณหภูมิที่เทอร์โมสตัทไว้ที่ตำแหน่ง $24-25^{o}C$
3. ตรวจสอบไม่ให้มีการกีดขวางทางด้านลมจ่ายหน้าคอยล์เย็น

7.3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

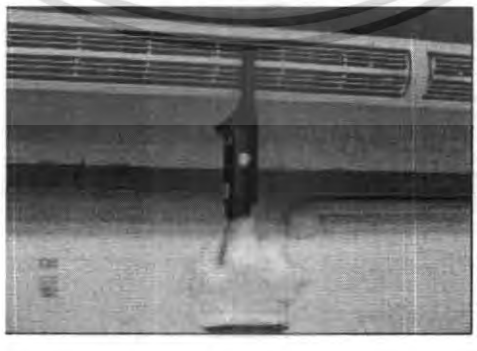
1. วัดขนาดความกว้างและความยาวของช่องลมด้านปล่อยลมเย็น(Supply Air) ด้วยตลับเมตร เพื่อใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัด (A) ในหน่วย ตารางฟุต

2. วัดอุณหภูมิ (^{0}C) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) ของอากาศทางด้านลมกลับ (Return Air) โดยใช้ Sensor SHT15



ภาพที่ 7.7 การวัดอุณหภูมิด้านลมกลับ

3. วัดอุณหภูมิ (^{0}C) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) ของอากาศทางด้านลมจ่าย (Supply Air) โดยใช้ Sensor SHT15

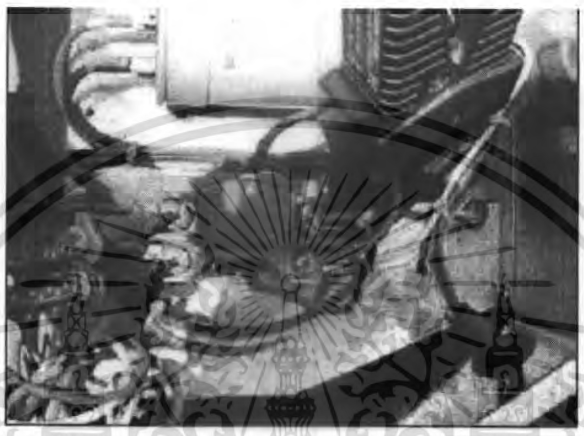


ภาพที่ 7.8 การวัดอุณหภูมิได้ลมจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วัดความเร็วของลมด้านลมจ่าย (Supply Air) โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม(Anemometer) ที่มี Sensor Photomicrosensors (653-EE-570) ของ OMRON และควรทำการวัดหลายๆ จุด (อย่างน้อย 3 จุด) เพื่อคำนวณผลเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ย

5. วัดกำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศในช่วงที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน (ส่วนของคอมเพรสเซอร์รัวกับส่วนของพัดลม) โดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power meter)



ภาพที่ 7.9 การวัดกำลังที่เครื่องปรับอากาศใช้งาน

7.3.4 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

7.3.4.1 คำนวณจากสูตรประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ(EER)

$$EER = \frac{4.5 \times A_0 \times V_0 (h_1 - h_0)}{P_{comp}}$$

โดย P_{comp} : กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (กิโลวัตต์)

A_0 : พื้นที่ของด้านจ่ายลมของ Fan Coil Unit (ตารางฟุต)

V_0 : ความเร็วของลมเย็นด้านจ่าย (ฟุต/ นาที)

h_0 : เอนธาลปีของลมเย็นด้านลมจ่าย

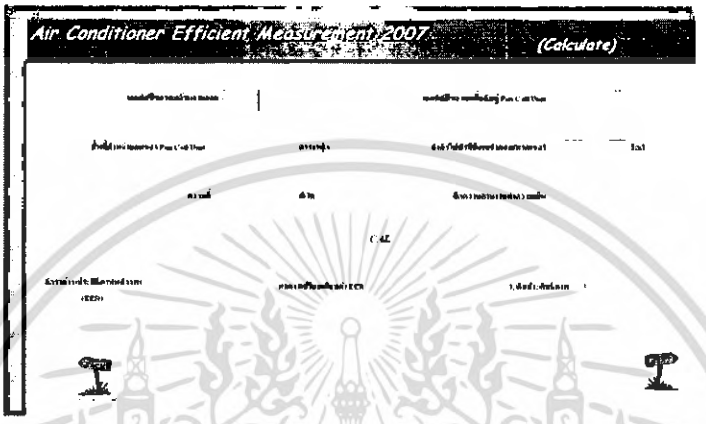
h_1 : เอนธาลปีของลมที่กลับสู่ Fan Coil Unit

ค่า เอลธาลปี ของอากาศด้านลมจ่ายและด้านลมกลับจากค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตรวจวัดได้ สามารถหาได้จากการเปิดแผนภูมิ แผนภูมิไซโครเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Psychometric Chart) โดยในที่นี้จะกำหนดตัวแปรของค่าเอนธาลปีของอากาศด้านลมจ่ายและด้านลมกลับให้เป็น h_0 และ h_1

7.3.4.2 คำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (EER) ได้จาก โปรแกรม MICROSOFT VISUAL BASIC ที่ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นมา



ภาพที่ 7.10 หน้าโปรแกรมในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

1. ทำการใส่ค่าเอนธาลปีของลมเย็นด้านลมจ่าย
2. ทำการใส่ค่าเอนธาลปีของลมที่กลับสู่ Fan Coil Unit
3. ทำการใส่ค่าความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น
4. ทำการใส่ค่ากำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เครื่องปรับอากาศใช้
5. ทำการใส่ค่าพื้นที่ หน้าคอยล์เย็น

หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่ามาตรฐานเครื่องปรับอากาศ

ในกรณีที่ค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า ค่ามาตรฐานทาง โปรแกรมมีการประเมินผลให้เครื่องปรับอากาศตัวนี้ต่ำกว่ามาตรฐานซึ่งไม่ควรจะใช้ต่อไปเพราะว่าจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยแสดง คำว่า No Pass

ในกรณีที่ค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่คำนวณได้ มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน ทาง โปรแกรมมีการเปิดเมินผลให้เครื่องปรับอากาศตัวนี้มีสูงกว่ามาตรฐานซึ่งแสดงว่าเครื่องปรับอากาศนี้ยังสามรถที่จะใช้งานได้ต่อ ไม่สิ้นเปลืองพลังงานโดย ใช่เหตุ โดยแสดงคำว่า Pass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.5 ผลการทดลอง

จากการทดลองทำการวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ชนิดแยกส่วนขนาด 12000 BTU ที่ห้องพักอาจารย์

1. อุณหภูมิหน้าคอยล์เย็น 18.8 ความชื้นสัมพัทธ์ 69.7

ได้ค่าเอนธาลปี มีค่าเท่ากับ h_0 = 45

2. อุณหภูมิหน้าหน้าลมกลับ 27.9 ความชื้นสัมพัทธ์ 59.0

ได้ค่าเอนธาลปี มีค่าเท่ากับ h_1 = 65

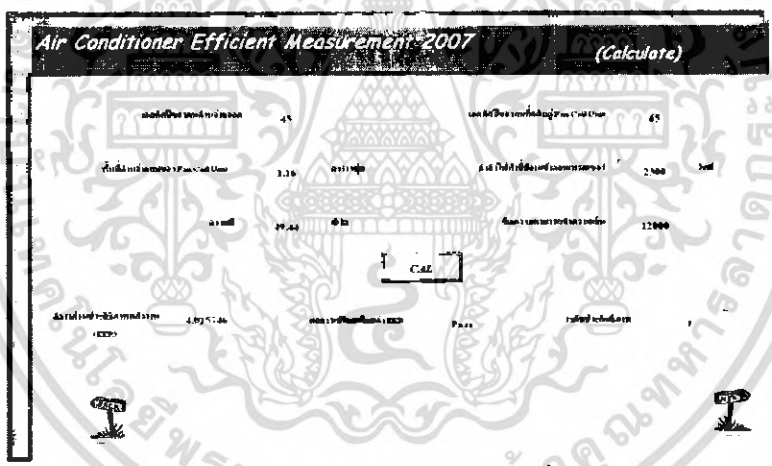
3. พื้นที่ปล่อยลมหน้าคอยล์เย็น A_0 = 1.16 ตารางฟุต

4. ความถี่ที่วัดได้จาก Anemometer เท่ากับ $\overline{f}$ = 49.44 Hz

f_1 = 50.3 Hz , f_2 = 47.5 Hz , f_3 = 50.51 Hz , $\overline{f}$ = 49.44 Hz

5. กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอมเพลสเซอร์ P_{comp} = 2,300 w

นำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดนี้ไปใส่ในโปรแกรมสนับสนุนการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 7.11 หน้าโปรแกรมในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศจากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปและวิจารณ์

การวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner Efficient Meter) เป็นการตรวจสอบสมรรถนะการทำความเย็น (EER) ของเครื่องปรับอากาศที่ได้ใช้งานมานานแล้วให้รู้ถึงความสามารถในการทำความเย็นเทียบกับพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องปรับอากาศว่าสามารถทำงานได้ดี ประหยัดพลังงาน และมีสมรรถนะในการทำความเย็นสูงสุด ดังนั้นถ้าหากเราทราบว่าเครื่องปรับอากาศที่กำลังใช้งานอยู่นี้ มีค่าสมรรถนะ ในการทำความเย็นเป็นเท่าไร เราก็จะสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างเหมาะสมกับระยะเวลาและงบประมาณที่มีอยู่ รวมทั้งนำผลที่ได้ไปประเมินต่อในเชิงประหยัดพลังงาน

ในส่วนองค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อให้ทราบถึงค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศประกอบด้วย เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม วัดต์มิเตอร์ และโปรแกรมสนับสนุนการคำนวณค่าสมรรถนะการทำความเย็น(EER)

เซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คือ Sensor SHT15 ของบริษัท Sensirion ที่มีความสามารถ ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ในตัวเดียวกัน โดยมีโปรแกรมสนับสนุนการทำงานคือ โปแกรมภาษา C ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 (89C52) แสดงผลผ่านจอ LCD16*2 ซึ่ง Sensor SHT15 จัดเป็นเซนเซอร์ที่มีความเที่ยงตรงสูงขนาดกะทัดรัดง่ายต่อการติดตั้งในการตรวจสอบ

เซนเซอร์วัดความเร็วลม (Anemometer) นั้นจะมีลักษณะเป็นใบพัด ใช้งานร่วมกับ Sensor Photomicrosensors (653-EE-570) ของ OMRON โดยหลักการทำงานของ Anemometer จะทำหน้าที่แปลงอัตราการไหลของของไหลให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า หรือสัญญาณพัลส์นั่นเอง คือเมื่อลมหรือของไหลวิ่งผ่านใบพัดจะทำให้ใบพัดหมุน ตัดกับ Photo micro sensors เกิดสัญญาณพัลส์จาก Photo micro sensors ทำการต่อ Agilance Technology เครื่องตรวจสอบสัญญาณความถี่เข้ากับ Anemometer เพื่อให้ทราบถึงความถี่ของสัญญาณพัลส์และนำค่าความถี่มาคำนวณ หาค่าความเร็วลมต่อไปในโปรแกรมสนับสนุนการคำนวณค่าความเร็วลม

ในส่วนของการเขียนโปรแกรมขึ้นมาสนับสนุนการทำงาน ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศค่าความเร็วลมนั้น จำเป็นต้องนำเอาทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับการทำงาน เช่น การจัดการข้อมูลที่สำคัญลงบนฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MICROSOFT VISUAL BASIC (VB6) การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จริงกับค่าประสิทธิภาพตามมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ มอก. 1155 แสดงสถานะของประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ว่าผ่านมาตรฐานหรือไม่ผ่านหน้าจอ PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถึงอย่างไรก็ตามเซนเซอร์ต่างๆที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้นมานี้อาจมีค่าผิดเพี้ยนไปจากค่ามาตรฐานอยู่บ้าง เนื่องจากเครื่องมือวัดต่างๆ ก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง จำเป็นต้องมีการสอบเทียบเสียก่อน และการสอบเทียบเครื่องมือวัดนี้จำเป็นต้องทำในระบบปิดซึ่ง ไม่มีผลของความร้อน แสงแดด ลม และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งทางผู้วิจัยไม่สามารถที่จะทำการสอบเทียบได้จริงในทางปฏิบัติ จึงส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่คำนวณได้บ้างเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วัชระ มั่งวิทิตกุล , กระบวนการและเทคนิคลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

[2] การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร, เอกสารเผยแพร่, กรมพัฒนาพลังงานทนแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน

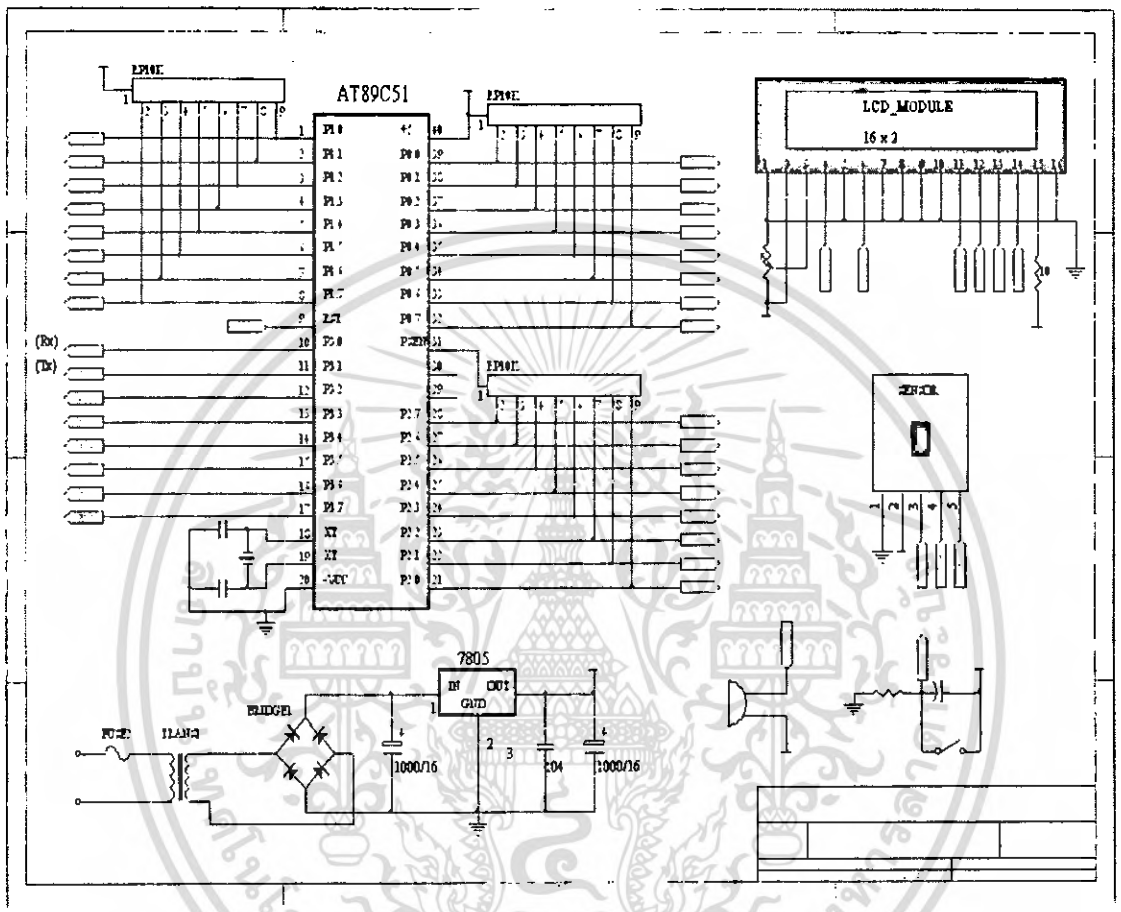
[3] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ด้วยโปแกรมภาษา ซี ฉบับ P89V51RD2

[4] สันติ นุราช, อุกฤษฎ์ ตันทสุทธานนท์, เรียนรู้ไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51 ฉบับภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ภาพแสดงวงจรการวัดอุณหภูมิและความชื้น

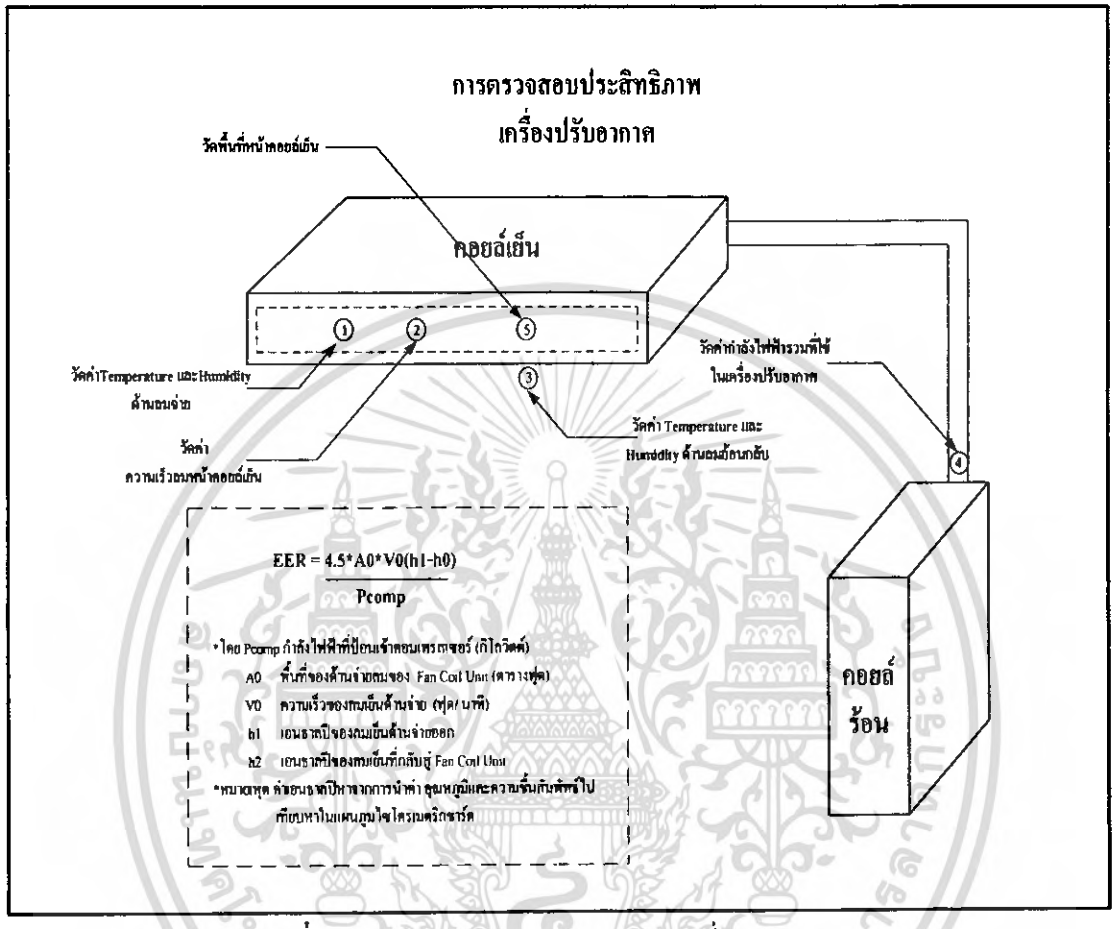


ภาพที่ ก.1 แสดงวงจรการวัดอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ภาพการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ ข.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้