ระบบตรวจสอบเครื่องปรับอากาศระยะไกล

Remote air conditioner monitoring system

ชนะยุทธ นิลจันทร์
นนทกร หาญสุขยงค์
นิธินันท์ ยุวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทการลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Remote air conditioner monitoring system

Chanayut Nilchan
Nontakorn Hansukyong
Nithinun Yuwattana

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจสอบเครื่องปรับอากาศระยะไกล
Remote air conditioner monitoring system

ผู้จัดทำ

1. นาย ชนะยุทธ	นิลจันทร์	รหัสประจำตัว	60010189
2. นาย นนทกร	หาญสุขยงค์	รหัสประจำตัว	60010490
3. นาย นิธินันท์	ยุวัฒนา	รหัสประจำตัว	60010539

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ภูดิท ชัยดิลกพัฒนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจสอบเครื่องปรับอากาศระยะไกล

นาย ชนะยุทธ	นิลจันทร์	60010189
นาย นนทกร	หาญสุขยงค์	60010490
นาย นิธินันท์	ยุวัฒนา	60010539
อาจารย์ ภูดิท	ชัยดิลกพัฒนกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ ศึกษาผลกระทบจากการทำงานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและประยุกต์ใช้กับ IoT เพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และยังสามารถพัฒนาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้แบบ Real time เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศและผู้ใช้งานจะได้ทำการซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศได้อย่างเหมาะสม การออกแบบชุดทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ใช้ความรู้จากวิชาการทำความเย็นและการปรับอากาศ วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ วิชาการถ่ายโอนความร้อน ศึกษาเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและระบบ Internet of Things เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ผลการทดสอบและได้สัมภาษณ์ช่างซ่อมเครื่องปรับอากาศ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยกับเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ สกปรก ,สารทำความเย็นรั่ว ,Run capacitor เสียหาย ,Printed Circuit Board เสียหาย และ Blower หรือ Fan เสียหาย จากการทดสอบเครื่องปรับแบบ Inverter ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (Energy Efficiency Ratio, EER) ที่สถานะปกติ ,สกปรก ,สารทำความเย็นรั่ว และ Blower เสียหาย เท่ากับ 14.41 (Btu/h)/W ,13.96 (Btu/h)/W ,9.49 (Btu/h)/W และ 11.27 (Btu/h)/W ตามลำดับ และค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ (coefficient of performance) ที่สถานะปกติ สกปรก สารทำความเย็นรั่ว และ Blower เสียหาย เท่ากับ 4.22 ,4.09 ,2.75 และ 3.30 ตามลำดับ

คำหลัก: เครื่องปรับอากาศแบบ Inverter, สารทำความเย็น, สมรรถนะการทำความเย็น, ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Remote air conditioner monitoring system

Chanayut	ninchan	60010189
Nontakorn	Hansukyong	60010490
Nithinun	Yuwattana	60010539
Phudit	Chaidilokpattanakul	Advisor

Academic Year 2020

Abstract

This research study effects of abnormal operates air conditioner. Apply the study with IoT for analyze energy efficiency ratio and for user notification in real time. This project expected to reduce cost of energy consumption and proper maintenance for the air conditioner. In order to build the test kit, we applied knowledge from thermodynamics, heat transfer, refrigeration, measurement and IoT for experiment. We have interviewed for the common problem in air conditioner such as dirty, refrigerant leakage, Run capacitor failure, shorted Printed Circuit Board's (PCB) circuit and condensing unit fan coil problem. We use inverter air conditioner for the experiment. From the experiment, energy efficient ratio of normal conditioner is 14.41(Btu/h)/W, for dirty air conditioner is 13.96 (Btu/h)/W, for refrigerant leakage is 9.49 (Btu/h)/W, for condensing unit fan coil problem is 11.27 (Btu/h)/W. The coefficient of performance of normal air conditioner is 4.22, for dirty air conditioner is 4.09, for refrigerant leakage is 2.75 and for condensing unit fan coil problem is 3.30

Keywords: Inverter ,Refrigerant , coefficient of performance ,Energy Efficiency Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากอาจารย์ ภูดิท ชัยดิลกพัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ทำงานวิจัยขอกราบขอบพระคุณและจารึกพระคุณนี้ไว้ในความทรงจำว่า ความสำเร็จในครั้งนี้เกิดขึ้นได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท เอช-อินฟินิตี้ ไฟเบอร์เน็ท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมาใช้ในการทำงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดา มารดาและบรูพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจสำคัญ ที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายชนะยุทธ นิลจันทร์
นายนนทกร หาญสุขยงค์
นายนิธินันท์ ยุวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2. จุดประสงค์ของงานวิจัย.....2
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย.....2
1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....2
1.5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....6
3.1. การจำแนกเครื่องปรับอากาศตามระบบการทำงาน.....6
3.1.1. เครื่องปรับอากาศระบบ Fixed Speed Compressor.....6
3.1.2. เครื่องปรับอากาศระบบ Inverter Compressor.....6
3.2. การจำแนกเครื่องปรับอากาศตามการใช้งาน.....7
3.2.1. เครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือน (Domestic air conditioning).....7
3.3.1. เครื่องปรับอากาศเชิงพาณิชย์ (Commercial air conditioning).....8
3.2. วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ.....11
3.3.1. หลักการทำงานของเครื่องอัดไอ (Compressor).....12
3.3.2. หลักการทำงานของเครื่องควบแน่น (Condenser).....13
3.3.1. หลักการทำงานของวาล์วลดความดัน (Expansion valve).....15
3.3.1. หลักการทำงานของเครื่องระเหย (Evaporator).....15
3.4. แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart).....17
3.4.1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature).....17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bilb Temperature) 17
3.4.3. อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew-point Temperature) 17
3.4.4. ความชื้น 17
3.4.5. เอนทาลปี (Enthalpy) 18
3.4.1. การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 19
3.5. สภาวะสบาย (Human comfort) 20
3.6. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) 21
3.7. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) 21
3.8. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor) 21
3.9. ความต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของเครื่องระเหย (ΔT) 22
3.10. ทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยภายในเครื่องปรับอากาศ 23
3.10.1. ปัญหาเครื่องปรับอากาศสกปรก 23
3.10.2. ปัญหาท่อสารทำความเย็นรั่ว 23
3.10.3. Run capacitor เสื่อมสภาพ 23
3.10.4. Printed Circuit Board (PCB) เสียหาย 23
3.10.5. พัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย 24
3.11. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด 24
3.11.1. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ AM2302 DHT22 24
3.11.2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบกระเปาะ (DS18B20 Temperature Sensor) 25
3.11.3. Digital Gauge for Refrigeration WK-6889 25
3.11.4. เครื่องมือวัดความเร็วลม UNI-T UT363 26
3.12. ทฤษฎีเกี่ยวกับ Internet of Things (IoT) 26
3.12.1. Microcontroller 27
3.12.2. IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้ในมาตรฐาน ASHRAE 28
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 29
4.1. แนวคิดการออกแบบชุดทดสอบ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2. สร้างโปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 30
4.3. ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ 35
4.4. ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูล 38
4.4.1. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ 39
4.4.2. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก 40
4.4.3. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว 41
4.4.4. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะ Run capacitor เสื่อมสภาพ 42
4.4.5. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะ PCB เสียหาย 42
4.4.1. ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย 42
บทที่ 5 ผลการทดสอบ 43
บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ 49
6.1. สรุปผลการทดสอบ 49
6.1.1. ผลการทดสอบสถานะปกติ 49
6.1.2. ผลการทดสอบสถานะสกปรก 49
6.1.3. ผลการทดสอบสถานะสารทำความเย็นรั่ว 49
6.1.4. ผลการทดสอบสถานะ Run capacitor เสื่อมสภาพ 49
6.1.5. ผลการทดสอบสถานะ PCB เสียหาย 49
6.1.6. ผลการทดสอบสถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย 50
6.2. วิจารณ์ผลการทดลอง 50
6.3. ข้อเสนอแนะ 50
ภาคผนวก 52
เอกสารอ้างอิง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศ Inverter 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1 เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง (wall-type) 7
รูปที่ 3.2 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type) 7
รูปที่ 3.3 เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ (movable type) 8
รูปที่ 3.4 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น (floor-standing type) 8
รูปที่ 3.5 เครื่องปรับอากาศแบบแขวนเพดาน (ceiling type) 9
รูปที่ 3.6 เครื่องปรับอากาศแบบฝ้าฝังในเพดานสี่ทิศทาง (cassette type) 9
รูปที่ 3.7 เครื่องปรับอากาศแบบท่อ (duct type) 9
รูปที่ 3.8 เครื่องปรับอากาศแบบชิลเลอร์ (chiller) 10
รูปที่ 3.9 เครื่องปรับอากาศแบบ VRF หรือ VRV 10
รูปที่ 3.10 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบน P-H Diagram 11
รูปที่ 3.11 เครื่องอัดไอ (Compressor) 12
รูปที่ 3.12 เครื่องควบแน่น (Condenser) 14
รูปที่ 3.13 วาล์วลดความดัน (Expansion valve) 15
รูปที่ 3.14 เครื่องระเหย (Evaporator) 16
รูปที่ 3.15 ค่าสมบัติของอากาศชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก 18
รูปที่ 3.16 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychromatric chart) 19
รูปที่ 3.17 กระบวนการทำความเย็นอากาศ 19
รูปที่ 3.18 แผนภูมิไซโครเมตริกของสภาวะสบาย (Human comfort) 21
รูปที่ 3.19 เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้า 22
รูปที่ 3.20 ลักษณะของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ AM2302 DHT22 24
รูปที่ 3.21 ข้อมูลจำเพาะของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ DHT22 24
รูปที่ 3.22 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ DS18B20 25
รูปที่ 3.23 Digital Gauge for Refrigeration WK-6889 26
รูปที่ 3.24 เครื่องมือวัดความเร็วลม UNI-T UT363 26
รูปที่ 3.25 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัดความเร็วลม 26
รูปที่ 3.26 ลักษณะของ NodeMCU ESP8266 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.27 ลักษณะของ Raspberry Pi 4 Model B 27
รูปที่ 4.1 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลและแสดงผล 30
รูปที่ 4.2 Jupyter Notebook..... 31
รูปที่ 4.3 Cool Prop 31
รูปที่ 4.4 โปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 32
รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม..... 33
รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงการทำงานของ P-H Diagram simulation 34
รูปที่ 4.7 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็น..... 35
รูปที่ 4.8 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันสารทำความเย็น 35
รูปที่ 4.9 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องระเหย 36
รูปที่ 4.10 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางออกเครื่องระเหย..... 36
รูปที่ 4.11 ติดตั้งเซ็นเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8226 37
รูปที่ 4.12 ติดตั้งเซ็นเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8226 37
รูปที่ 4.13 ติดตั้งเซ็นเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8226 38
รูปที่ 4.14 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ 38
รูปที่ 4.15 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ 39
รูปที่ 4.16 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ 39
รูปที่ 4.17 ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ..... 40
รูปที่ 4.18 ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ..... 40
รูปที่ 4.19 ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก..... 41
รูปที่ 4.20 ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว..... 41
รูปที่ 4.21 ทดสอบเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว..... 40
รูปที่ 5.1 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ 44
รูปที่ 5.2 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ..... 44
รูปที่ 5.3 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก..... 45
รูปที่ 5.4 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.5 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว 46
รูปที่ 5.6 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว..... 46
รูปที่ 5.3 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะเครื่องควบแน่นเสีย..... 47
รูปที่ 5.4 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะเครื่องควบแน่นเสีย 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ซึ่งปกติแล้วการทำงานของเครื่องปรับอากาศในอาคารสำนักงานค่าของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศนั้นมากกว่า 50% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [1] ถ้าไม่มีการตรวจสอบเครื่องปรับอากาศเวลาเครื่องทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ เพื่อลดปัญหาจะต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศให้อยู่ในคุณภาพที่ดีและพร้อมต่อการใช้งานที่ยาวนานอย่างต่อเนื่อง

เครื่องปรับอากาศนั้นเป็นเครื่องอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์เพื่อที่ปรับสภาพแวดล้อมภายในห้องหรืออาคารให้มี สภาวะที่สบายต่อมนุษย์มีอุณหภูมิที่พอดีประมาณ 25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% [2] หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะทำงานโดยการนำความร้อนภายในที่พักอาศัยหรืออาคารที่ต้องการทำความเย็นถ่ายเทไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างนอกที่พักอาศัยหรือข้างนอกอาคาร โดยผ่านตัวกลางคือสารทำความเย็น เมื่อทำการเปิดเครื่องปรับอากาศสารทำความเย็นซึ่งเป็นของเหลวในปริมาณที่พอเหมาะจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็นเข้าไปยังเครื่องระเหย ที่ติดอยู่ด้านในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นจะมีพัดลมที่คอยดูดเอาอากาศร้อนชื้นภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น จากนั้นอากาศภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพลังงานความร้อนที่ห้องถ่ายเทมาให้กับสารทำความเย็นส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากของผสมไปเป็นไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งพลังงานส่วนนี้เรียกว่า ความร้อนแฝง (latent heat) ทำให้อากาศภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นลดลงพอเหมาะกับที่มนุษย์จะรู้สึกสบาย หลังจากนั้นสารทำความเย็นในสถานะไออิ่มตัวจะถูกส่งไปสู่เครื่องอัดไอ เพื่อเพิ่มความดันทำให้อุณหภูมิจุดเดือดเพิ่มขึ้น จากนั้นสารทำความเย็นสถานะไอน้ำยิ่งยวดจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอกโดยส่วนใหญ่เป็นความร้อนแฝง ที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำยิ่งยวดเป็นของเหลวอัดตัว จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลไปยังวาล์วลดความดัน เพื่อลดความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น และไหลเข้าสู่เครื่องระเหย ที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น สารทำความเย็นจะวนเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลาที่เปิดเครื่องปรับอากาศและวัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor compression-refrigeration cycle) [3] สารทำความเย็นที่เป็นตัวกลางสำคัญในการแลกเปลี่ยนความร้อนถ้าเครื่องปรับอากาศขาดการบำรุงรักษาเป็นเวลานานจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงและเนื่องจากโรงงานหรืออาคารสำนักงานขนาดใหญ่แต่ละแห่งนั้นจะต้องมีเครื่องปรับอากาศไม่น้อยกว่า 200 units ผู้ใช้งานจึงไม่สามารถรับรู้ได้ว่าเครื่องอากาศเครื่องไหนที่ประสิทธิภาพลดลง โดยปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ช่วยเรื่องการติดต่อสื่อสารคือ Internet Of Things (IOT) ซึ่งหลักการทำงานของ IOT คือการที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ด้วยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ผู้จัดทำจึงนำ IOT มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหากับเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการพัฒนาเครื่องมือในการประมาณค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น ทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด และยังเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสิ้นเปลืองลง ทั้งนี้ยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยและรวมถึงอาคารพาณิชย์อีกด้วย

1.2. จุดประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ทฤษฎีจากวิชา Refrigeration and Air Conditioning

1.2.2. เพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องปรับอากาศ

1.2.3. เพื่อศึกษาตัวแปรที่สามารถตรวจสภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศและประยุกต์กับ IoT ได้

1.2.4. เพื่อประมาณค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

1.2.5. เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาและนำไปพัฒนาในการใช้งานต่อไป

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ซึ่งมีความนิยมในการใช้งานภายในที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์

1.3.2 ศึกษาออกแบบระบบตรวจสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1. ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่

1.4.2. ศึกษาเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องปรับอากาศ

1.4.3. ออกแบบชุดทดสอบที่ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

1.4.4. สร้างโปรแกรมสำหรับจำลองวัฏจักรการทำความเย็น

1.4.5. เก็บผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.4.6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1. ทราบถึงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ทฤษฎีจากวิชา Refrigeration and Air Conditioning

1.5.2. ทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องปรับอากาศ และสามารถอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นได้จากกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ (First law of thermodynamics)

1.5.3. สามารถแสดงวิธีคำนวณค่าความสามารถการทำความเย็น (Cooling capacity) และประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งนำไปใช้สร้างชุดการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องการปรับอากาศได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทรรศน์

เครื่องปรับอากาศทำงานด้วยวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (apor compression-refrigeration cycle) [3] เนื่องจากเครื่องปรับอากาศเมื่อใช้งานไปก็จะเริ่มมีการเสื่อมประสิทธิภาพและต้องทำการบำรุงรักษา และการรู้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศก่อนที่จะบำรุงรักษานั้นเป็นเรื่องที่สำคัญ สำหรับอาคารสำนักงานหรือโรงงานที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศจำนวนมาก ดังนั้นผู้ใช้งานต้องใช้เวลาและช่างเทคนิคเยอะในตรวจสอบประสิทธิภาพการของเครื่องปรับอากาศให้ครบทุกเครื่อง จึงมีการประยุกต์ใช้ IoT เข้ามาช่วยในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ เมื่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงผู้ใช้งานจะทราบทันที เพื่อผู้ใช้งานจะได้ทำการบำรุงรักษา

กระทรวงพลังงาน ได้แนะนำให้ทำการดูแลเครื่องปรับอากาศหรือล้างเครื่องปรับอากาศทุก 6 เดือน เพราะเมื่อใช้งานเครื่องปรับอากาศไปสักระยะ เครื่องปรับอากาศจะเริ่มมีฝุ่นเกาะสะสม จนทำให้ลมไม่สามารถพัดออกมาได้ การดูแลเครื่องปรับอากาศ เช่น การล้างเครื่องปรับอากาศสามารถช่วยกำจัดฝุ่นเพื่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ไม่เป็นแหล่งสะสมของเหล่าเชื้อโรค และที่สำคัญ ช่วยประหยัดค่าไฟได้ถึง 10% หลังจาก 6 เดือนแล้ว เครื่องปรับอากาศที่ไม่ได้ถูกล้างก็จะสกปรก ด้วยสาเหตุจากความชื้นและความเย็นที่เกิดขึ้นระหว่างเปิดใช้งาน ทำให้ภายในตัวเครื่องปรับอากาศและท่อเครื่องปรับอากาศเป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อโรค ประสิทธิภาพการทำงานถดถอยลง และบั่นทอนอายุการใช้งาน [5] แต่หลังจากที่คณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลแล้วระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศนั้นไม่มีระยะเวลาที่แน่นอน ระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานและสถานที่ที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เช่น ถ้าเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งอยู่ร้านแต่งหน้าทำผม เนื่องจากในร้านมีการฉีดสเปรย์ที่เป็นละอองสารเคมี และแป้งฝุ่น เครื่องปรับอากาศที่ถูกติดตั้งอยู่จะสกปรกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศก็จะลดลง หรือ ตามโรงงานที่มีการเปิดปิดประตูบ่อย มีการใส่รองเท้านำฝุ่นเข้าห้องปรับอากาศ จึงต้องมีการล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศเร็วกว่าปกติ ดังนั้นชุดทดลองประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะบอกได้ว่าควรจะล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศเมื่อไหร่ถึงจะเหมาะสม

Simone Baldi et al. ได้ทำการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศระหว่างระบบปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอกับระบบปรับอากาศที่ขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ โดยมีเกณฑ์การเปรียบเทียบ 2 เกณฑ์ คือ 1.ระบบแบบไหนที่ให้ความรู้สึกสบายต่อมนุษย์มากกว่า 2.ระบบแบบไหนสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า ผลปรากฏว่าระบบปรับอากาศแบบที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การดูแลรักษาอุปกรณ์ภายในระบบปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอนั้นให้ความรู้สึกสบายต่อมนุษย์ และประหยัดพลังงานมากกว่าระบบปรับอากาศแบบที่ขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ภายในเครื่องปรับอากาศ [6] นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศที่ขาดการบำรุงรักษายังมีโทษต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอีกด้วย กรณีที่ไม่ได้ล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศจะมีเชื้อราเกาะ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีความชื้นที่แผงถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหย

สมจินต์ พ่วงเจริญชัย เครื่องปรับอากาศเมื่อเราใช้ไประยะหนึ่งจะเกิดสิ่งสกปรกไปเกาะบริเวณครีบระบายความร้อนทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนของแผงคอนเดอนเซอร์ (condenser) ทำให้เปลืองพลังงานมากขึ้น จากการทดสอบก่อนล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการทำความเย็นเฉลี่ยเท่ากับ 34,179 Btu/hr สัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.62 และประสิทธิภาพการให้ความเย็นเฉลี่ย 8.9 Btu/hr Watt และหลังจากล้างแผงคอนเดนเซอร์ (condenser) เครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการทำความเย็นเฉลี่ยเท่ากับ 39,766 Btu/hr สัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยนเท่ากับ 3.12 และประสิทธิภาพในการทำความเย็นเฉลี่ย 10.7 Btu/hr Watt หากเปรียบเทียบจะพบว่าความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 16.35% และประสิทธิภาพในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 19.19% [7]

สันติรัฐ ไชยบุญเรือง et al. ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สาย (WSN) และอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor node) ประกอบด้วย 2 ส่วน คืออุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) และอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สาย โดยปอุปกรณ์วัดจะวัดอุณหภูมิและความชื้นและส่งข้อมูลไปยังระบบอุปกรณ์เครือข่ายในรูปของสัญญาณไร้สาย จากการทดสอบระบบเครือข่ายประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย 8 จุด แต่ลัวใช้กำลังไฟฟ้า 254 mW อุปกรณ์ต่างๆติดต่อสื่อสารกันแบบไร้สายด้วยอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Router) คงามถี่ 2.4 GHz อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในรัศมี 100 m ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจะถูกเก็บไว้บนเว็บไซต์ (Website) ที่ถูกบรรจุในอุปกรณ์ เช่น โทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) [8]

ASHRAE Standard 55 เป็นมาตรฐานที่กำหนดสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนที่ยอมรับได้ สำหรับผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี ไม่รวมสภาพแวดล้อมเรื่องอื่น เช่น แสงสว่าง เสียง คุณภาพอากาศ การปนเปื้อนทางเคมี หรือชีวภาพ ที่อาจมีผลต่อสุขภาพ และความสบาย สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะความสบายของมนุษย์ (human comfort) มี 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (air temperature:25°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity:50%) ความเร็วลม (air speed:0.2 m/s) อุณหภูมิการแผ่รังสี (radiant temperature:จะขึ้นอยู่กับผนังของห้อง) อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rate:จะขึ้นอยู่กับประเภทอาหารที่กินเข้าไปและการทำกิจกรรมต่างๆ) และความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clothing insulation:จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องแต่งกายที่สวมใส่) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

WELL Building Standard คือมาตรฐานทางสุขภาวะที่เริ่มต้นขึ้นในประเทศแคนาดา โดยภายหลังทางผู้จัดตั้งได้ร่วมมือกับกลุ่มผู้พัฒนามาตรฐาน LEED จากสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งสถาบัน IWBI (International WELL Building Institute) เป็นมาตรฐานแรกของโลกที่ให้ความสำคัญกับการส่งเสริมคุณภาพการอยู่อาศัยของผู้ใช้อาคาร เพื่อให้สามารถอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรมในปัจจุบันได้ และ WELL Building Standard มีรูปแบบการประเมินอาคารอย่างชัดเจน ภาตใต้แนวคิดที่สำคัญ 7 ข้อคือ อากาศ น้ำ สาธารณูปโภค แสง การออกกำลังกาย สภาพแวดล้อม และจิตใจ โดยก่อนหน้าที่จะมีการก่อตั้ง IWBI มาตรฐานด้านสุขภาพเป็นเพียงแค่ส่วนเล็กๆ ในมาตรฐานอื่นๆ อย่าง LEED หรือ ISO ซึ่งมักจะเน้นไปที่การบริหารทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานของอาคาร เพื่อให้เป็นอาคารที่สามารถลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ และเพื่อให้อาคารที่ออกแบบภายใต้มาตรฐานเหล่านั้นเป็นอาคารที่เป็นมิตรต่อธรรมชาติ หรือที่เราเรียกว่า “อาคารเขียว” กันได้เป็นส่วนใหญ่ ความจริงคือโลกเปลี่ยนไปแล้ว ถึงวันนี้เราหยุดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ มลพิษบนโลกก็ไม่ได้จะหายไปทันที เพราะฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องปรับตัวให้เข้ากับโลกที่เป็นอยู่ด้วย สิ่งที่เราต้องทำคือการทำสองสิ่งนี้ควบคู่กันไป ทั้งเพิ่มคุณภาพการอยู่อาศัยและลดปริมาณของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือก็คือการออกแบบโดยใช้มาตรฐาน WELL และ LEED ผสานกัน [9]

ระบบปรับอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ จะใช้เครื่องปรับอากาศแบบ Chiller โดยในอดีตการดูแลรักษาจะต้องใช้ช่างเข้าไปตรวจสอบคอยดูแลรักษาระบบอาจจะเป็นประจำหรือหลังจากที่เกิดปัญหา ซึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งด้านคนและพลังงาน แต่ในปัจจุบันเราสามารถประยุกต์ใช้ระบบ Internet of Things (IOT) กับอาคารอุตสาหกรรมให้เป็น Smart Building ได้โดยการประยุกต์ใช้ระบบ IOT กับเครื่องปรับอากาศแบบ Chiller นั้นจะทำการติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor) ไว้คอยวัดค่าต่างๆในระบบ Inlet condenser temperature, Outlet condenser temperature, Inlet evaporator temperature, Outlet temperature, Power or Energy consumption และ Evaporator load จากนั้นส่งค่าต่างๆผ่าน Cloud เพื่อมาเก็บบันทึกและวิเคราะปัญหาแบบ Real-time โดยเราสามารถ Monitor โดยทางทีมวิจัยก็ได้มีแนวคิดแนวเดียวกับระบบตรวจสอบของระบบ Chiller [10] มาใช้ประเมินสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานซึ่งส่วนมากเป็นระบบ wall-type กับ ceiling-type.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การที่จะคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบทำความเย็น การทำงานของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบทำความเย็น และความรู้เกี่ยวกับระบบ IOT ถ้าต้องการประเมินการทำงานจากระยะไกล ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศร่วมกับระบบ IoT

3.1. การจำแนกเครื่องปรับอากาศตามระบบการทำงาน

ระบบของเครื่องปรับอากาศสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ตามระบบการทำงานของเครื่องอัดไอ (Compressor) ได้แก่

3.1.1. เครื่องปรับอากาศระบบ Fixed Speed Compressor

เครื่องอัดไอ จะทำงานที่รอบการทำงานคงที่ 100% จนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ก็จะตัดการทำงาน การทำงานแบบนี้จะเกิดการกระชากไฟ และอุณหภูมิในห้องไม่คงที่ ± 2-3 °C

3.1.2. เครื่องปรับอากาศระบบ Inverter Compressor

ระบบอินเวอร์เตอร์ คือระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอ ที่จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์จึงเป็นระบบที่มีการทำงานคงที่ หมายความว่า เมื่อเครื่องปรับอากาศทำความเย็นถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ระบบอินเวอร์เตอร์นี้ยังคงทำงานอยู่ ไม่มีการหยุดทำงานของเครื่องอัดไอ ซึ่งการทำงานอยู่ตลอดนี้ทำให้ไม่เกิดการกระชากไฟ เวลาคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศเริ่มทำงานขึ้นอีกครั้งในตอนที่อุณหภูมิในพื้นที่ทำความเย็นนั้นสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิในห้องเสถียรกว่า ± 0.5 °

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2. การจำแนกเครื่องปรับอากาศตามการใช้งาน

เครื่องปรับอากาศ คือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับปรับอุณหภูมิของอากาศภายในอาคาร การปรับอากาศนอกจากจะเป็นการปรับสภาวะของอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เย็นสบายแล้ว ยังควบคุมความชื้น ช่วยให้อากาศสะอาด และกระจายลมเย็นไปทั่วห้อง เพื่อให้เกิดสภาวะสบายภายในห้องตามความต้องการ เครื่องปรับอากาศจะแบ่งตามการใช้งานได้ 2 แบบใหญ่ๆ คือ เครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือน (Domestic air conditioning) และเครื่องปรับอากาศเชิงพาณิชย์ (Commercial air conditioning) [11]

3.2.1. เครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือน (Domestic air conditioning) จะเป็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้สำหรับอาคารบ้านเรือน หรืออาคารสำนักงาน สาเหตุที่เครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือนมีขนาดความสารถในการทำความเย็นน้อยเพราะว่าเครื่องระเหยเล็ก แผงคอยด์เย็นและพัดลมที่อยู่ข้างในก็จะเล็กไปด้วย ซึ่งพัดลมที่อยู่ในเครื่องระเหยเป็นตัวกำหนดความเร็วลมและการกระจายตัวของลมเย็น เครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือนจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้ [12]

3.2.1.1. เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง (wall-type) เป็นเครื่องปรับอากาศที่นิยมที่สุดในการนำมาติดตั้งที่บ้านเรือน เช่น ห้องนอน ห้องนั่งเล่น โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 9,000 – 24,000 BTU/hr. [12]

รูปที่ 3.1 เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง (wall-type)

3.2.1.2. เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type) เป็นเครื่องปรับอากาศที่ค่อนข้างเก่าแล้ว โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 6,000 – 36,000 BTU/hr. [12]

รูปที่ 3.2 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.3. เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ (movable type) เป็นเครื่องปรับอากาศกึ่งพัดลม สามารถเคลื่อนที่ได้ มักนิยมใช้ควบคู่กันกับเครื่องปรับอากาศหลักของบ้าน เพื่อเสริมการกระจายอากาศเย็น และถ่ายเทอากาศภายในห้อง โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 9,000 – 20,000 BTU/hr. [12]

รูปที่ 3.3 เครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ (movable type)

3.2.2. เครื่องปรับอากาศเชิงพาณิชย์ (Commercial air conditioning) เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ โดยเครื่องปรับอากาศขนาดกลางมักจะนำไปติดตั้งในสำนักงาน ร้านอาหาร ห้องประชุม โรงแรม หรือติดตั้งในบ้านก็ได้เพื่อความสวยงามและได้แอร์ที่ส่งลมเย็นได้แรงมากขึ้น สำหรับห้องที่มีพื้นที่กว้าง โดยเครื่องปรับอากาศขนาดกลางได้แก่ เครื่องปรับอากาศตั้งพื้น เครื่องปรับอากาศแขวนใต้ฝ้า เครื่องปรับอากาศฝังฝ้าสี่ทิศทาง เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ขึ้น เช่น เครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม เครื่องปรับอากาศชิลเลอร์ มักจะนำไปติดตั้งในโรงงานหรืออาคารขนาดใหญ่ นอกจากนี้จะมีเครื่องปรับอากาศระบบ VRV หรือ VRF ที่นำไปใช้เฉพาะทางด้วยข้อจำกัดการติดตั้งหรือการใช้งานบางอย่าง ที่เครื่องปรับอากาศเชิงพาณิชย์มีขนาดสามารถในการทำความเย็นใหญ่ได้นั้นเพราะว่าตัวพัดลมระบายอากาศและแผงคอยด์เย็นมีขนาดใหญ่ จึงสามารถระบายอากาศเย็นได้ดี [11]

3.2.2.1. เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น (floor-standing type) จะเหมาะกับพื้นที่ทำความเย็นที่มีขนาดของห้องกว้าง เช่น หอประชุม สนามบิน ห้างสรรพสินค้า โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 42,000 – 176,000 BTU/hr. [12]

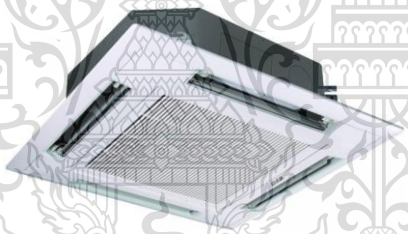
รูปที่ 3.4 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น (floor-standing type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.2. เครื่องปรับอากาศแบบแขวนเพดาน (ceiling type) เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 13,040 – 48,000 BTU/hr. [12]

รูปที่ 3.5 เครื่องปรับอากาศแบบแขวนเพดาน (ceiling type)

3.2.2.3. เครื่องปรับอากาศแบบฝ้าฝังในเพดานสี่ทิศทาง (cassette type) เหมาะสำหรับบ้านโมเดิร์น เน้นดีไซน์ที่ไม่ต้องการเครื่องปรับอากาศเครื่องใหญ่ๆมาบดบังทัศนียภาพ นอกจากใช้ในบ้านแล้วยังเหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า และโรงแรม เพื่อกระจายอากาศเย็นไปให้ทั่วถึงทุกพื้นที่ โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 13,880 – 48,000 BTU/hr. [12]



รูปที่ 3.6 เครื่องปรับอากาศแบบฝ้าฝังในเพดานสี่ทิศทาง (cassette type)

3.2.2.4. เครื่องปรับอากาศแบบท่อ (duct type) สามารถทำความเย็นโดยซ่อนคอยล์เย็นไว้ในฝ้าส่งลมเย็นผ่านท่อลม ส่งลมได้ไกลทำให้เลือกติดตั้งช่องลมออกได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ ใช้งานได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นสำนักงานหรือบ้านพักอาศัย โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 13,040 – 48,000 BTU/hr. [12]

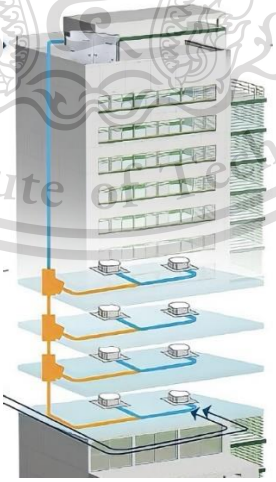
รูปที่ 3.7 เครื่องปรับอากาศแบบท่อ (duct type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.5. เครื่องปรับอากาศแบบซิลเลอร์ (chiller) เป็นเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่ใช้ในอาคารขนาดใหญ่จะเป็นเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่เรียกว่า ซิลเลอร์ ซึ่งแบ่งเป็นระบบระบายความร้อนด้วยน้ำและระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งซิลเลอร์จะอาศัยน้ำเป็นตัวนำพาความเย็นไปยังห้องหรือบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ โดยจะมีความสามารถในการทำความเย็นให้เลือกตั้งแต่ 12,000 – 600,000 BTU/hr. [12]

รูปที่ 3.8 เครื่องปรับอากาศแบบซิลเลอร์ (chiller)

3.2.2.6. เครื่องปรับอากาศแบบ VRF หรือ VRV คือ ระบบปรับอากาศที่ Condensing Unit (คอยล์ร้อน ตัวที่มีคอมเพรสเซอร์อยู่ข้างใน) 1 ชุด สามารถเชื่อมต่อกับ Indoor Unit (คอยล์เย็น หรือ แฟนคอยล์) ได้มากกว่า 60 ชุด โดยขึ้นอยู่กับ ขนาดบีทียู ของคอยล์ร้อน ยกตัวอย่างเช่น Condensing Unit หรือ คอยล์ร้อน ขนาด 240,000 BTU สามารถต่อกับ Indoor Unit หรือ คอยล์เย็น ขนาด 24,000 BTU ได้ถึง 10 ชุด [12]

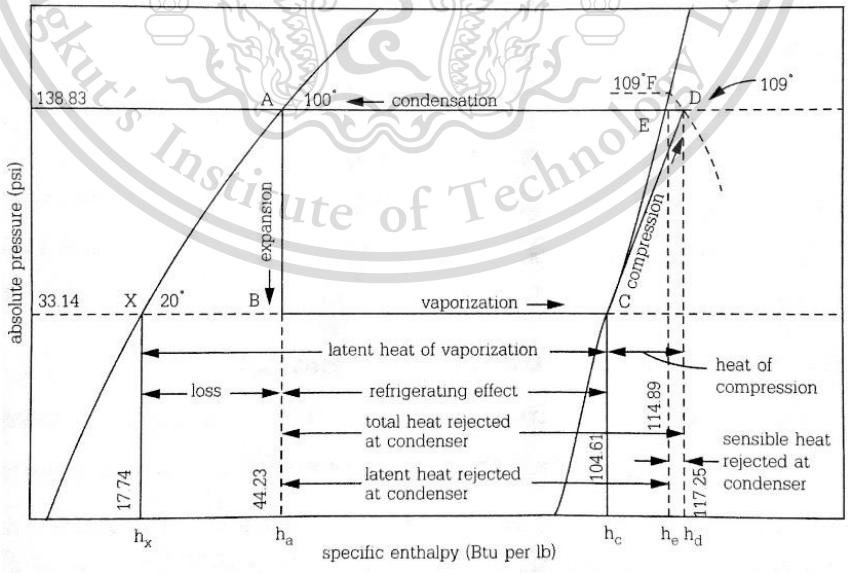


รูปที่ 3.9 เครื่องปรับอากาศแบบ VRF หรือ VRV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3. วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ (vapor compression-refrigeration cycle)

หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะทำงานโดยการนำความร้อนภายในที่พักอาศัยหรืออาคารที่ต้องการทำความเย็นถ่ายเทไปสู่สิ่งแวดล้อมข้างนอกที่พักอาศัยหรือข้างนอกอาคาร โดยผ่านตัวกลางคือสารทำความเย็น เมื่อทำการเปิดเครื่องปรับอากาศสารทำความเย็นซึ่งเป็นของเหลวในปริมาณที่พอเหมาะจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็นเข้าไปยังเครื่องระเหย (evaporator) ที่ติดอยู่ด้านในพื้นที่ที่จะทำความเย็นจะมีพัดลมที่คอยดูดเอาอากาศร้อนชื้นภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น จากนั้นอากาศภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพลังงานความร้อนที่ห้องถ่ายเทมาให้กับสารทำความเย็นส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากของผสมไปเป็นไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งพลังงานส่วนนี้เรียกว่า ความร้อนแฝง (latent heat) ทำให้อากาศภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นลดลงพอเหมาะกับที่มนุษย์จะรู้สึกสบาย หลังจากนั้นสารทำความเย็นในสถานะไออิ่มตัวจะถูกส่งไปสู่เครื่องอัดไอ เพื่อเพิ่มความดันทำให้อุณหภูมิจุดเดือดเพิ่มขึ้น จากนั้นสารทำความเย็นสถานะไอน้ำยิ่งยวดจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น (condenser) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอกโดยส่วนใหญ่เป็นความร้อนแฝง ที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำยิ่งยวดเป็นของเหลวอัดตัว จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลไปยังวาล์วลดความดัน (expansion vale) เพื่อลดความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น และไหลเข้าสู่เครื่องระเหย ที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น สารทำความเย็นจะวนเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลาที่เปิดเครื่องปรับอากาศและวัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor compression-refrigeration cycle) เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอนี้จะประกอบไปด้วย 4 อุปกรณ์หลักได้แก่ เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดัน และเครื่องระเหย [3]



รูปที่ 3.10 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบน P-H Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1. หลักการทำงานของเครื่องอัดไอ (Compressor)

เครื่องอัดไอ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอน้ำยิ่งยวดความดันต่ำจากเครื่องระเหย เข้ามาทางท่อดูดของเครื่องอัดไอและอัดไอของสารทำความเย็นนี้ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยการเพิ่มความดันนี้เรียกว่า กระบวนการของการอัดตัว (compression process) กระบวนการอัดตัวเกิดจากการทำงานของเครื่องอัดไอ โดยไอน้ำยิ่งยวดจากเครื่องระเหยจะถูกอัดตัวให้มีความดันสูงขึ้น (ในช่วง C-D) ตามกระบวนการไอเซนทรอปิก (isentropic process or constant entropy) หรือ เอเดียบาติกแบบไม่มีความฝืด (frictionless adiabatic process) [3]

ผลจากการทำงานของเครื่องอัดไอ นอกจากทำให้ความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแล้วยังส่งผลให้ค่าเอนทัลปี (enthalpy) เพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณความร้อนที่เทียบเท่ากับพลังงานกลที่ทำการอัดไอ เราเรียกผลของความร้อนที่เกิดจากการอัดของคอมเพรสเซอร์ว่าความร้อนจากการอัดไอ (heat of compression) โดยสามารถหาได้จาก

$$\dot{Q}_{comp} = \dot{m}(h_D - h_c) \tag{3.1}$$

เมื่อ $\dot{Q}_c$ คือ กำลังที่ใช้ขับเครื่องอัดไอ *(kJ/s)*

h_D คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องอัดไอ *(kJ/kg)*

h_C คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องอัดไอ *(kJ/kg)*

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหล *(kg/s)*

รูปที่ 3.11 เครื่องอัดไอ (Compressor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2. หลักการทำงานของเครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่น ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำยาเพื่อควบแน่นเป็นของเหลว เครื่องควบแน่นจะรับสารทำความเย็นต่อจากเครื่องอัดไอ สารทำความเย็นจะอยู่ในสถานะไอน้ำยิ่งยวด ที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่ไหลเข้ามาสู่เครื่องควบแน่น เครื่องควบแน่นจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศข้างนอกกับสารทำความเย็นที่อยู่ในท่อ สารทำความเย็นนั้นเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำยิ่งยวดเป็นของเหลว กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการควบแน่น (condensing process)

กระบวนการควบแน่นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องควบแน่น โดยในช่วงแรกจะระบายความร้อนออกเพื่อลดอุณหภูมิสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นจากสภาวะไอร้อนยิ่งยวด (ในช่วง D-E) จากนั้นจึงควบแน่นจนเป็นของเหลวอิ่มตัว ที่จุด A นั่นคือเครื่องควบแน่นทำหน้าที่ลดความร้อนสัมผัส (sensible heat ในช่วง D-E) และลดความร้อนแฝง (latent heat ในช่วง E-A) สารทำความเย็นในสภาวะของเหลวอิ่มตัวที่ได้จะถูกส่งไปยังลิ้นลดความดัน (expansion valve) [3]

ปริมาณความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์ (Q_c)

$$Q_{cond} = m(h_D - h_A) \tag{3.2}$$

$$Q_{cond} = Q_{sensible} + Q_{latent} \tag{3.3}$$

$$\dot{Q}_{cond} = mc_P\Delta T + mL \tag{3.4}$$

เมื่อ h_D คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องควบแน่น *(kJ/kg)*

h_A คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องควบแน่น *(kJ/kg)*

$Q_{sensible}$ คือ ปริมาณความร้อนจากความร้อนสัมผัส *(kJ)*

Q_{latent} คือ ปริมาณความร้อนจากความร้อนแฝง *(kJ)*

m คือ มวล *(kg)*

L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะของสารทำความเย็น *(kJ/kg ・K)*

c_P คือ ความร้อนจำเพาะ *(kJ/kg ・K)*

T คือ อุณหภูมิ *(K)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.12 เครื่องควบแน่น (Condenser)

การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศภายนอกนั้นเป็นการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) แบบการพาความร้อน (convection heat transfer) ความสามารถของการพาความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient : h) ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน โดยทั่วไปค่า h จะขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ เช่น ความเร็วและสมบัติของตัวกลางซึ่งมักได้จากการทดลองเป็นรายกรณี ค่า h มากหมายถึงการพาความร้อนได้ดี ในทางกลับกันค่า h น้อยหมายถึงพาความร้อนได้ไม่ดี พื้นฐานของการพาความร้อนอธิบายด้วย Newton's cooling law

$$\dot{Q} = hA\Delta T \tag{3.2}$$

เมื่อ $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน *(kJ/s)*

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน *($W/m^2 \cdot K$)*

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน *(m^2)*

ΔT คือ ความต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อนกับสิ่งแวดล้อม*(K)*

ซึ่งปัญหาการถ่ายเทความร้อนมีสาเหตุมาจากขีดจำกัดในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการมีพื้นที่จำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการ Newton's cooling law จะเห็นว่าวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนก็คือ การเพิ่มพื้นที่ที่ใช้ในการระบายความร้อน โดยการติดครีบ (fin) ซึ่งจะสามารถหาปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องระเหยหลังจากติดครีบจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\dot{Q} = h2nLH\Delta T \quad (3.5)$$

เมื่อ $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน *(kJ/s)*

n คือจำนวนครีบ

L คือความกว้างของครีบ *(m)*

H คือความยาวของครีบ *(m)*

3.3.3. หลักการทำงานของวาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

วาล์วลดความดัน ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องควบแน่น โดยสารทำความเย็นที่เข้ามายังวาล์วลดความดันอยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่มีความดันสูง และจะทำการลดความดันที่วาล์วลดความดัน กระบวนการลดความดันนี้เรียกว่า กระบวนการขยายตัว (expansion process)

กระบวนการขยายตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานของวาล์วลดความดัน (ช่วง A-B) โดยเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวจากเครื่องควบแน่นถูกส่งผ่านวาล์วลดความดัน เป็นการขยาดตัวแบบ Adiabatic expansion คือไม่มีการเพิ่มหรือลดความร้อนให้กับสารทำความเย็นหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทาลปี (enthalpy) จากผลของการลดความดันจะทำให้สารทำความเย็นส่วนหนึ่งเปลี่ยนสถานะเป็นไอและสารทำความเย็นจะอยู่ในสถานะของผสม (mixture) จะถูกส่งไปยังเครื่องระเหยต่อไป [3]

รูปที่ 3.13 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

3.3.4. หลักการทำงานของเครื่องระเหย (Evaporator)

เครื่องระเหย คืออุปกรณ์ของระบบทำความเย็นที่ทำงานโดยให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะของผสม ให้กลายเป็นไอร้อนยิ่งยว โดยการดูดความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นทำให้อุณหภูมิพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นลดลง

กระบวนการกลายเป็นไอ (vaporizing process) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหย (ช่วง B-C) ซึ่งจะดูดความร้อนจากระบบทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตามกระบวนการอุณหภูมิและความดันคงที่ (isothermal and isobaric process) สารทำความเย็นที่ออกจากที่ออกจากเครื่องระเหยจะมีสถานะเป็นไออิ่มตัว ดังนั้นความร้อนที่ถูกสารทำความเย็นดูดเข้าไปที่เครื่องระเหย หรือค่าทำความเย็น (refrigerating effect) [3] หาได้ดังนี้

$$\mathrm{RE} = \dot{\mathrm{Q}}_{\mathrm{evap}} = \dot{\mathrm{m}}(\mathrm{h_C} - \mathrm{h_B}) \tag{3.6}$$

เมื่อ $\dot{\mathrm{m}}$ คือ อัตราการไหล *(kg/s)*

$\mathrm{h_C}$ คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องระเหย *(kJ/kg)*

$\mathrm{h_B}$ คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องระเหย *(kJ/kg)*

รูปที่ 3.14 เครื่องระเหย (Evaporator)

โดยการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศภายในพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น โดยการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบการพาความร้อน (convection) โดยสารทำความเย็นจะไหลผ่านท่อที่มีครีบ (fin) เพื่อช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{\mathrm{Q}} = \mathrm{hA}\Delta\mathrm{T} \tag{3.7}$$

$$\mathrm{A} = 2\mathrm{nLH} \tag{3.8}$$

เมื่อ $\dot{\mathrm{Q}}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน *(kJ/s)*

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน *($W/m^2 \cdot K$)*

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน *(m^2)*

$\Delta\mathrm{T}$ คือ ความต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อนกับสิ่งแวดล้อม *(K)*

n คือ จำนวนครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

L คือ ความกว้างของครีบ *(m)*

H คือ ความยาวของครีบ *(m)*

โดย $\dot{Q}$ ที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจะถูกใช้ในการเปลี่ยนสถานะและเพิ่มอุณหภูมิของสารทำความเย็นจากสมการ

$$\dot{Q}_{cond} = mc_P\Delta T + mL \tag{3.9}$$

เมื่อ m คือ มวล *(m)*

L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะของสารทำความเย็น *(kJ/kg ・K)*

c_P คือ ความร้อนจำเพาะ *(kJ/kg ・K)*

3.4. แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

อากาศที่อยู่โดยรอบตัวเราประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อากาศแห้ง และไอน้ำหรือความชื้น เราสามารถทราบค่าสมบัติของอากาศชื้นได้จากการอ่านแผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริกยังสามารถใช้เพื่อแสดงภาวะของอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับอากาศต่างๆและสามารถใช้ประเมินภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินค่าของพลังงานที่ใช้ของระบบปรับอากาศได้ต่อไป แผนภูมิไซโครเมตริกสามารถแสดงค่าสมบัติของอากาศชื้นได้ดังนี้ [13]

3.4.1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature) แสดงบนแกนนอนของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะแห้งสามารถวัดและอ่านได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา

3.4.2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดและอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าหรือสำลีชุบน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะ

3.4.3. อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew-point Temperature) คือ ค่าของอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำเริ่มกลั่นตัวอุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ภาวะหนึ่งๆ อ่านได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะนั้นๆไปทางซ้ายของแผนภูมิจนตัดเส้นโค้งความชื้นสัมพัทธ์ 100% และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่อ่านได้ ณ จุดนั้นคืออุณหภูมิจุดกลั่นตัว

3.4.4. ความชื้น ประกอบไปด้วย

3.4.4.1. ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง มวนของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

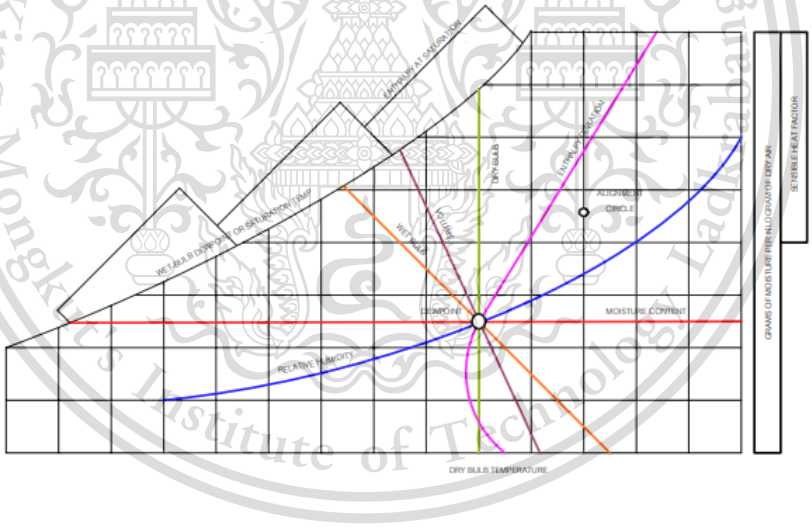
3.4.4.2. ความชื้นจำเพาะหรือสัดส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หมายถึง มวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งหนึ่งหน่วย แสดงบนแกนตั้งของแผนภูมิ

3.4.4.3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนของความดันที่ปริมาณไอน้ำจริงในอากาศต่อความดันไอที่ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงบนเส้นโค้งของแผนภูมิ

3.4.5. เอนทาลปี (Enthalpy) คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในอากาศ ซึ่งสามารถอ่านได้จากเส้นทแยงในแผนภูมิที่มีความชันใกล้เคียงกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก ค่าความร้อนภายในของอากาศประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

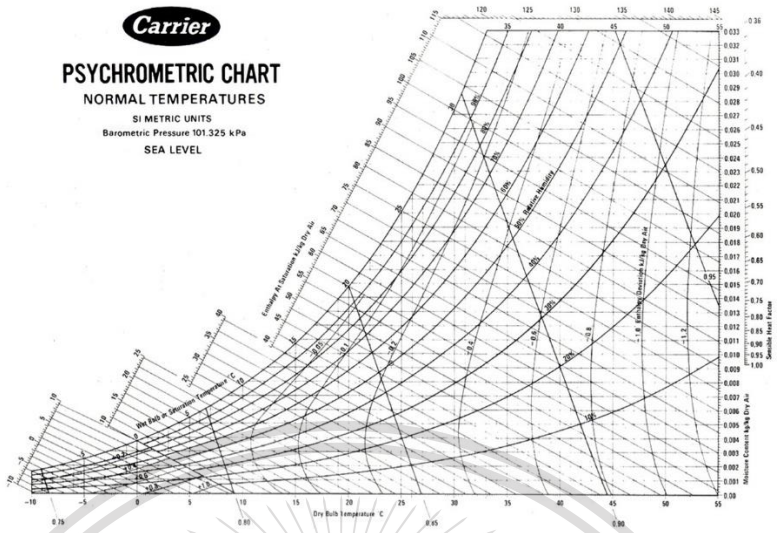
3.4.5.1. ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ความชื้นจำเพาะคงที่

3.4.5.2 ความร้อนแฝง (Latent Heat) การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่



รูปที่ 3.15 ค่าสมบัติของอากาศชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก

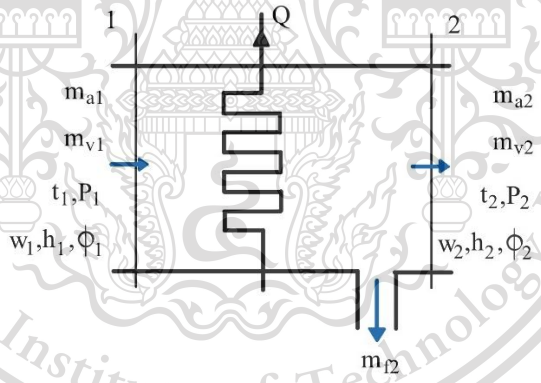
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.16 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

3.4.6. การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Air Condition Cooling System)

เครื่องปรับอากาศจะนำความร้อนและความชื้นออกจากอากาศ สามมารถคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 3.17 กระบวนการทำความเย็นอากาศ

$$\frac{Q}{m_a} = h_{a2} - h_{a1} + \frac{m_{f2}h_{f2}}{m_a} \tag{3.10}$$

$$m_{a1} = m_{a2} = m_{a3}\ ;\ m_{v1} = m_{v2} + m_{f2} \tag{3.11}$$

$$m_{f2} = m_{v1} - m_{v2} \tag{3.12}$$

$$w_1 - \frac{m_{v2}}{m_a}\ ;\ w_2 = \frac{m_{v2}}{m_a} \tag{3.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\frac{m_{f2}}{m_a} = w_1 - w_2 \quad (3.14)$$

$$Q = (m_{a2}h_2 + m_{f2}h_{f2}) - m_{a1}h_1 + W \quad (3.15)$$

$$Q = (m_a h_2 + m_{f2}h_{f2}) - m_a h_1 + 0 \quad (3.16)$$

$$\frac{Q}{m_a} = h_2 - h_1 + (w_1 - w_2)h_{f2} = h_2 - h_1 - (w_2 - w_1)h_{f2} \quad (3.17)$$

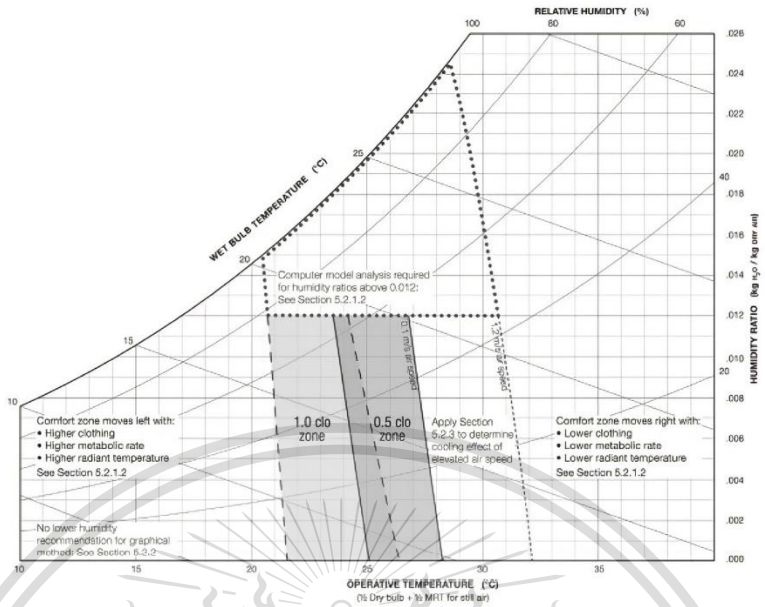
ค่าประมาณ $\frac{Q}{m_a} = h_2 - h_1$ (3.18)

เมื่อ Q คือ ความสามารถในการทำความเย็น *(KJ)*
m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง *(Kg_{dryair}/s)*
m_v คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ *(m^3/s)*
m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ *(Kg/s)*
W คือ อัตราส่วนความชื้น *(Kg_{dryair}/s)*
h_a คือ เอนทาลปีของอากาศ *(KJ/Kg_{dryair})*
h_f คือ เอนทาลปีของน้ำ *(KJ/Kg)*

3.5. สภาวะสบาย (Human comfort)

ASHRAE Standard 55 เป็นมาตรฐานที่กำหนดสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนที่ยอมรับได้ สำหรับผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี ไม่รวมสภาพแวดล้อมเรื่องอื่น เช่น แสงสว่าง เสียง คุณภาพอากาศ การปนเปื้อนทางเคมี หรือชีวภาพ ที่อาจมีผลต่อสุขภาพ และความสบาย สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะความสบายของมนุษย์ (human comfort) มี 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (air temperature:25°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity:50%) ความเร็วลม (air speed:0.2 m/s) อุณหภูมิการแผ่รังสี (radiant temperature:จะขึ้นอยู่กับผนังของห้อง) อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rate:จะขึ้นอยู่กับประเภทอาหารที่กินเข้าไปและการทำกิจกรรมต่างๆ) และความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clothing insulation:จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องแต่งกายที่สวมใส่) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.18 แผนภูมิไซโครเมตริกของสภาวะสบาย (human comfort)

3.6. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient Of Performance : COP)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณการทำความเย็นที่เป็นประโยชน์กับปริมาณพลังงานที่ใช้สุทธิ ซึ่งปริมาณพลังงานที่ใช้สุทธินั้นสามารถกำหนดได้หลายวิธี [14]

$$\mathrm{COP} = \frac{\text{Useful refrigeration effect}}{\text{Net ennergy supplied from external sources}} \tag{3.19}$$

3.7. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio : EER)

EER (Energy Efficiency Ratio) คือ ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ สามารถนำมาใช้บอกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ ค่า EER ยิ่งสูง ประสิทธิภาพพลังงานก็ยิ่งดี EER มีหน่วยเป็น (Btu/h)/W [15]

$$\mathrm{EER} = 3.415 \cdot \mathrm{COP} \tag{3.20}$$

3.8. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor)

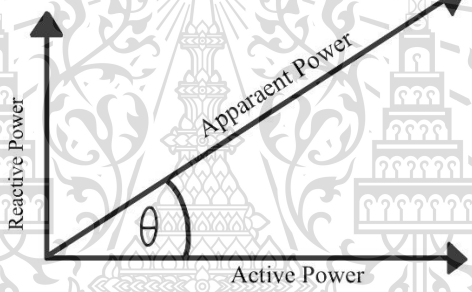
ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้ามี 3 ส่วนด้วยกัน คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริง (Active Power : P) คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดแล้วได้เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือพลังงานกล กำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power : Q) คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ และกำลังงานที่ปรากฏ (Apparent Power : S) คือผลรวมทางเวกเตอร์ของกำลังทั้งสองที่กล่าวมา ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คืออัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ หรือ $\cos\theta$ มีค่าไม่เกิน 1 โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า นั้นถือเป็นอีกค่าหนึ่งที่สำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกระแสในระบบมาก แต่ใช้ทำงานได้น้อยหม้อแปลงตัวใหญ่จ่ายโหลดได้น้อย แรงดันตกในสายมาก การสูญเสียในสายไฟและหม้อแปลงจะมาก ซึ่งสามารถหากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริงจาก [16]

$$P = VI\cos\theta \tag{3.21}$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริง *(W)*
V คือ กำลังรีแอคทีฟ *(VAR)*
I คือ กระแสไฟฟ้า *(A)*



รูปที่ 3.19 เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้า

3.9. ความต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของเครื่องระเหย (ΔT)

ΔT ถูกใช้เพื่อประมาณประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศขณะทำงาน ซึ่งในการทำงานปกติค่า ΔT จะมีค่าอยู่ที่ 10-14 ℃ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการทำงานเครื่องปรับขณะนั้นได้ เป็นการใช้งานเพื่อบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาต่างๆขึ้น จึงจำเป็นต้องตรวจสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อค่า ΔT มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วง 10-14 ℃

สำหรับค่า ΔT ที่มีค่าน้อยกว่า 10-14 ℃ สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้กับเครื่องปรับอากาศ เช่น สารทำความเย็นในระบบน้อย อัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องควบแน่นน้อยกว่าปกติ น้ำแข็งเกาะเครื่องระเหย วาล์วลดความดันมีปัญหา

สำหรับค่า ΔT ที่มีค่ามากกว่า 10-14 ℃ สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้กับเครื่องปรับอากาศ เช่น อัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องระเหยน้อยกว่าปกติ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.10. ทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยภายในเครื่องปรับอากาศ [18]

3.10.1. ปัญหาเครื่องปรับอากาศสกปรก

การที่เครื่องปรับอากาศสกปรกนี้โดยมากจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องระเหย (evaporator) และ เครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งเกิดจากฝุ่นเข้าไปเกาะที่กรองอากาศทำให้อากาศไหลเข้าไปเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยลง หรือเกาะที่ผิวท่อของเครื่องระเหยทำให้พื้นที่ผิวท่อที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นลดลง สารทำความเย็นในท่อไม่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมได้เท่าที่ควร ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานกว่าปกติ

3.10.2. ปัญหาท่อสารทำความเย็นรั่ว

สารทำความเย็นรั่วโดยมากมักจะเกิดจากตอนที่ทำการติดตั้ง การรั่วมักจะรั่วตามรอยต่อของระบบท่อสารทำความเย็น เมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับอากาศจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้สารทำความเย็นมีความเป็นกรดจนสามารถกัดกร่อนท่อหรือรอยต่อทำให้เป็นรอยรั่วที่ใหญ่ขึ้น เมื่อเกิดการรั่วของสารทำความเย็นจะทำให้ความดันของสารทำความเย็นภายในท่อนั้นลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเมื่อสารทำความเย็นมีความดันลดลงจะส่งผลให้อุณอิ่มตัวของสารทำความเย็นลดลงซึ่งปกติดจะถูกตั้งให้มีค่าประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิอิ่มตัวลดลงมาต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะทำให้หยดน้ำโดยรอบของท่อเครื่องระเหยกลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้เกิดปัญหาน้ำแข็งเกาะ

3.10.3. Run capacitor เสื่อมสภาพ

Run capacitor มีหน้าที่ ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็ก lag ใน compressor ทำให้ compressor หมุน แต่จะไม่เจออุปกรณ์นี้กับเครื่องปรับอากาศระบบ Inverter กับ ระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้ไฟฟ้า 3 phase ถ้า run capacitor เสื่อม เครื่องอัดไอก็จะหยุดทำงานไปด้วย แต่พัดลม (blower) ของเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นยังทำงานอยู่ จากที่เครื่องอัดไอหยุดทำงานความดันของสารทำความเย็นทั้งด้านวามดันต่ำและด้านความดันสูงความดันเท่ากันทั้งระบบ นั่นหมายความว่าไม่มีการไหลของสารทำความเย็นและจะไม่มีการทำความเย็นเกิดขึ้น

3.10.4. Printed Circuit Board (PCB) เสียหาย

ปัญหา PCB เสียหายนั้นปกติจะพบได้ยาก โดยสารถส่วนใหญ่มาจากปัจจัยภายนอก เช่น ไฟกระชาก หรือจิ้งจกเข้าไปข้างในแล้วถูกไฟช็อตทำให้แผงวงจรเสียหาย ซึ่งหากแผงวงจรเสียหายแล้วจะทำให้เกิดได้หลายอาการ แต่โดยส่วนใหญ่จะทำให้เครื่องปรับอากาศนั้นไม่สามารถเปิดใช้งานได้เลย โดยเราสามารถดูได้จากหากมีไฟไหลเข้าไปตามปกติแต่ไม่สามารถเปิดใช้งานได้แสดงว่ามีโอกาสสูงที่จะเกิดปัญหาจากแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.10.5. พัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย

หากพัดลมเสียหายไม่ว่าจากการลัดวงจรหรือเกิดปัญหาต่าง ๆ ที่มอเตอร์จะทำให้การถ่ายเทความร้อนที่จุดนั้นทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร เช่น หากพัดลมภายในเครื่องระเหยเสียนั้นจะทำให้ไม่สามารถดูดและเป่าอากาศที่อุณหภูมิห้องให้ผ่านขดลวดทำความเป็นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ และในทำนองเดียวกันหากพัดลมที่เครื่องควบแน่นเสียจะไม่สามารถดูดอากาศจากภายนอกมาเป่าท่อสารทำความเย็นเผื่อถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นได้

3.11. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

เซนเซอร์อุณหภูมิ คือ เซ็นเซอร์เพื่อการรับรู้หรือตรวจจับระดับอุณหภูมิ เริ่มแรกการพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมินั้นมาจากความต้องการในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจวัดที่มีคุณสมบัติหลายอย่าง (Multisensor) ทั้งนี้เพื่อตรวจวัดความสบาย (Comfort Sensor) โดยการนำเอาเซ็นเซอร์หลายชนิดรวมเข้าด้วยกัน เช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้น และเซ็นเซอร์วัดการไหลเวียนของอากาศ เซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยคือ

3.11.1. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ AM2302 DHT22 [19]

รูปที่ 3.20 ลักษณะของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ AM2302 DHT22

Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH
Long-term Stability	+-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

รูปที่ 3.21 ข้อมูลจำเพาะของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ DHT22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.11.2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบกระเปาะ(DS18B20 Temperature Sensor) คือ เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (-55 °C ถึง 125 °C) สามารถนำเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน IoT, Smart Farm, Temperature Monitor, Whether Station หรืองานด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิได้ คล้ายๆกับ DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor ข้อดีของ DS18B20 Temperature Sensor คือมีรูปแบบแพ็คเกจของตัวเซ็นเซอร์หลากหลายรูปแบบ เช่น รูปแบบไอซี รูปแบบหัวเซ็นเซอร์แบบกันน้ำ ทำให้สามารถใช้วัดอุณหภูมิในของเหลวได้ ดังรูป DS18B20 Temperature Sensor ในตัวอย่างนี้จะใช้บอร์ด ESPino32 อ่านค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ DS18B20 Temperature Sensor แล้วทำการแสดงผลเป็นอุณหภูมิแสดงออกทาง Serial Monitor โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้แพ็กเกจของเซ็นเซอร์ DS18B20 ให้เหมาะสมกับชนิดของงานที่ใช้ได้ตามต้องการ

รูปที่ 3.22 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ DS18B20

3.11.3. Digital Gauge for Refrigeration WK-6889 เกจวัดสารทำความเย็นแบบดิจิตอล โดยสามารถวัดสารทำความเย็นได้ทั้งด้านความดันสูงและความดันต่ำ ภายในเกจมีข้อมูลของสารทำความเย็นหลายชนิด จึงสาสามารถวัดสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศโดยไม่ต้องเปลี่ยนเกจวัดสารทำความเย็นชนิดนั้นๆ โดยมีข้อมูลจำเพาะของ WK-6889 ดังนี้

1.Pressure units: KPa ,inHg ,kgF/cm^2 ,Psi ,Bar

2.Vacuum units: Torr ,mmHg ,Micron ,%

3.Power: 1.5V AA x 4 = 6V

4.Pressure measuring: actual pressure

5.Temperature units: °C, °F

6.measuring range:

Vacuum: -101 KPa – 0 KPa

Proof pressure: 0 MPa – 6MPa

Refrigerant pressure: 0 MPa – 4MPa

7.Sensor resolution: 1KPa

8.Sensor accuracy : ±0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.23 Digital Gauge for Refrigeration WK-6889

3.11.4. เครื่องมือวัดความเร็วลม UNI-T UT363

เครื่องมอวัดความเร็วลมแบบพกพา ใช้วัดความเร็วลมด้านดูด (Return air) ของเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 3.24 เครื่องมือวัดความเร็วลม UNI-T UT363

Function	Range	Accuracy
Wind Speed Measurement	0~30m/s (Standard)	±(5%rdg+0.5)
	1.4~108Km/h (Reference)	±(5%rdg+15dgts)
	0.7~58Knots (Reference)	±(5%rdg+10dgts)
	0.8~67mph (Reference)	±(5%rdg+10dgts)
	78~5905ft/min (Reference)	±(5%rdg+180dgts)
Temperature Measurement	-10°C~50°C	±2°C

รูปที่ 3.25 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัดความเร็วลม UNI-T UT363

3.12. ทฤษฎีเกี่ยวกับ Internet of Things (IoT)

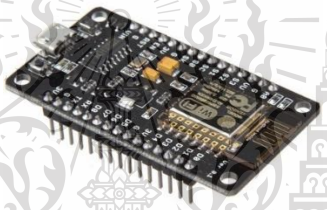
Internet of Things หรือ IoT เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิดตั้งแต่คอมพิวเตอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่อุปกรณ์โครงข่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่างๆเข้าด้วยกันอันเป็นผลให้ระบบต่างๆสามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อย่างเป็นอัตโนมัติทั้งยังเป็นผลให้มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลได้หลากหลายยิ่งขึ้นควบคุมอุปกรณ์และระบบต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [20]

3.12.1. Microcontroller คือ อุปกรณ์ควบคุม ขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอา ซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำ การบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่

NodeMCU ESP8266 บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและเซนเซอร์ชนิดอื่นๆ โดยการเขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยภาษาซีและติดตั้งคำสั่งลงในบอร์ด ไมโครคอลโทรลเลอร์ชนิดนี้สามารถเชื่อมต่อ WiFi ได้ จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟภายนอก 5 โวลต์ เป็นอุปกรณ์ใช้งานในรูปแบบ IOT (Internet of things) อย่างแพร่หลาย [21]



รูปที่ 3.26 ลักษณะของ NodeMCU ESP8266

Raspberry Pi 4 Model B บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ Raspberry Pi ถูกออกแบบให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ในชิปเดียวกัน ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ชนิด Raspbian และระบบอื่นๆได้ มีจุดเชื่อมต่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆได้ เป็นบอร์ดที่มีราคาต่ำและประหยัดพลังงานมากเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ทั่วไป

รูปที่ 3.27 ลักษณะของ Raspberry Pi 4 Model B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.12.2. IoT ที่นำมาประยุกต์ใช้ในมาตรฐาน ASHRAE

ปัญหาการจัดเก็บข้อมูลเป็นปัญหาในการยกระดับความสามารถของระบบ BAS (Building Automaton System) เพื่อการควบคุมระบบปรับอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE โดยสามารถแก้ปัญหาโดยใช้เทคโนโลยี IoT (Internet Of Things) คือระบบเซ็นเซอร์และระบบเก็บข้อมูล (Cloud Computing) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลให้เข้าถึงกันด้วยระบบอินเทอร์เน็ต โดย IoT เซ็นเซอร์สามารถใช้ได้ทั้งแบบมีสายและไร้สายใช้เพิ่มเติมระบบที่ขาดจาก BAS ส่วนระบบ Cloud จะใช้เก็บรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์และเชื่อมต่อข้อมูลจากระบบ BAS เพื่อระภาระของระบบ BAS รวมถึงสร้างระบบวินิจฉัยปัญหาแบบอัตโนมัติ (Automated fault detection and diagnostics, AFDD) โดยจะประมวลผลบนระบบ Cloud และจะส่งการแจ้งเตือนกลับมาที่ผู้ดูแลระบบผ่าน Email หรือ Mobile application

การใช้ระบบ BAS ได้อย่างเหมาะสมรวมถึงการติดตั้งระบบ IoT ช่วยวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างตรงจุด สามารถนำไปสู่การประหยัดพลังงานแบบยั่งยืน จากการเข้าแก้ไขปัญหาได้ถูกจุดและรวดเร็วทำให้ระบบปรับอากาศกลับมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ นำไปสู่การประหยัดพลังงานอย่างน้ำ 10% ของระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

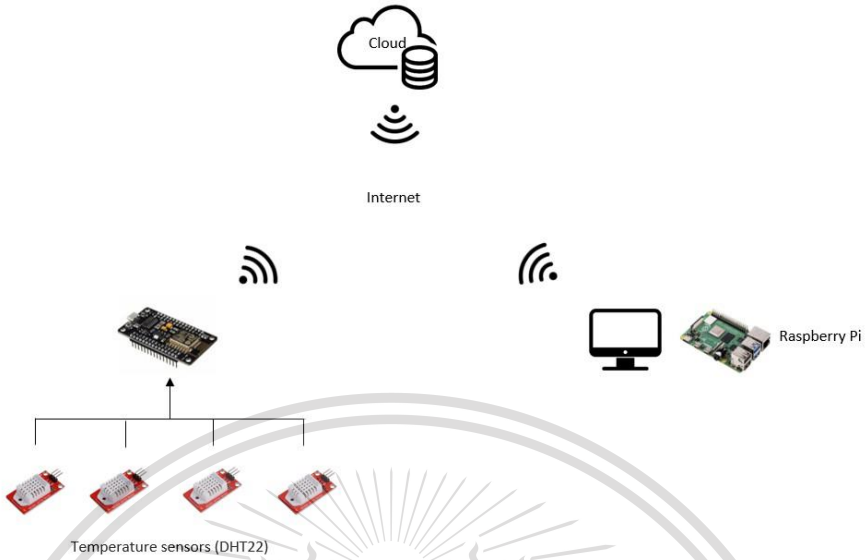
งานวิจัยชุดนี้เป็นงานวิจัยประดิษฐ์ชุดทดสอบประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยการเก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 7 ตำแหน่งได้แก่ อุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านความดันต่ำ อุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านความดันสูง ความดันของสารทำความเย็นทางด้านความดันต่ำ ความดันของสารทำความเย็นทางด้านความดันสูง อุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องระเหย อุณหภูมิอากาศทางออกเครื่องระเหย และความเร็วลมที่ทางเข้าเครื่องระเหย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1. แนวคิดการออกแบบชุดทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องปรับอากาศแบบ Inverter มาทดสอบกับชุดทดสอบประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานถึงสภาวะการทำงานในปัจจุบันของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการดูแลรักษาอาจทำให้เกิดปัญหาต่างๆภายในระบบปรับอากาศ และเนื่องจากโรงงานหรืออาคารสำนักงานแต่ละแห่งนั้นจะต้องมีเครื่องปรับอากาศหลายเครื่อง ผู้ใช้งานจึงไม่สามารถรับรู้ได้ว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องไหนที่ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีการออกแบบชุดทดสอบประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและทำการประยุกต์ใช้ Internet of Things เข้ามาช่วยในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ เมื่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงผู้ใช้งานจะทราบทันที จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศได้อย่างเหมาะสม

ในการของการทำงานชุดทดสอบจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมด 7 ค่า จากตำแหน่งต่างๆของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านความดันต่ำ อุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านความดันสูง ความดันของสารทำความเย็นทางด้านความดันต่ำ ความดันของสารทำความเย็นทางด้านความดันสูง อุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องระเหย อุณหภูมิอากาศทางออกเครื่องระเหย และความเร็วลมที่ทางเข้าเครื่องระเหย โดยอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกจากเครื่องระเหยจะใช้ IoT เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล โดยเซนเซอร์ทั้งหมดจะต่ออยู่กับ NodeMCU ESP8266 ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับสัญญาณจากเซนเซอร์อุณหภูมิ เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้งาน ถ้าประยุกต์ใช้กับเครื่องปรับอากาศหลายเครื่อง เช่น ในโรงงาน อาคารสำนักงานใหญ่ๆ NodeMCU ESP8266 จะส่งข้อมูลอุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ตไปยังระบบฐานข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป ผู้ใช้งานจะสามารถตรวจสอบสภาวะปัจจุบันของเครื่องปรับอากาศได้ เช่น การแจ้งเตือนผ่านมอนิเตอร์ การแจ้งเตือนจากไฟ LED เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลและแสดงผล

เนื่องจากต้องประมาณประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาในข้างต้น สิ่งที่สามารถบอกประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามฤดูกาลของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้สามารถคำนวณได้จาก P-H Diagram

4.2. สร้างโปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ในโครงงานนี้ต้องการศึกษาผลกระทบของเครื่องปรับอากาศจากการทำงานที่ผิดปกติ โดยศึกษาจากวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ และใช้ PH diagram เปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ทำงานปกเพื่อพิสูจน์การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) และค่าประสิทธิภาพ (Energy Efficiency Ratio, EER) ของเครื่องปรับอากาศ

การสร้างโปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเพื่อใช้ในโครงงานนี้ ใช้เครื่องนี้ดังนี้

1. Jupyter notebook เป็นโปรแกรมเขียนโค้ดโดยใช้ภาษา Python เป็นพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

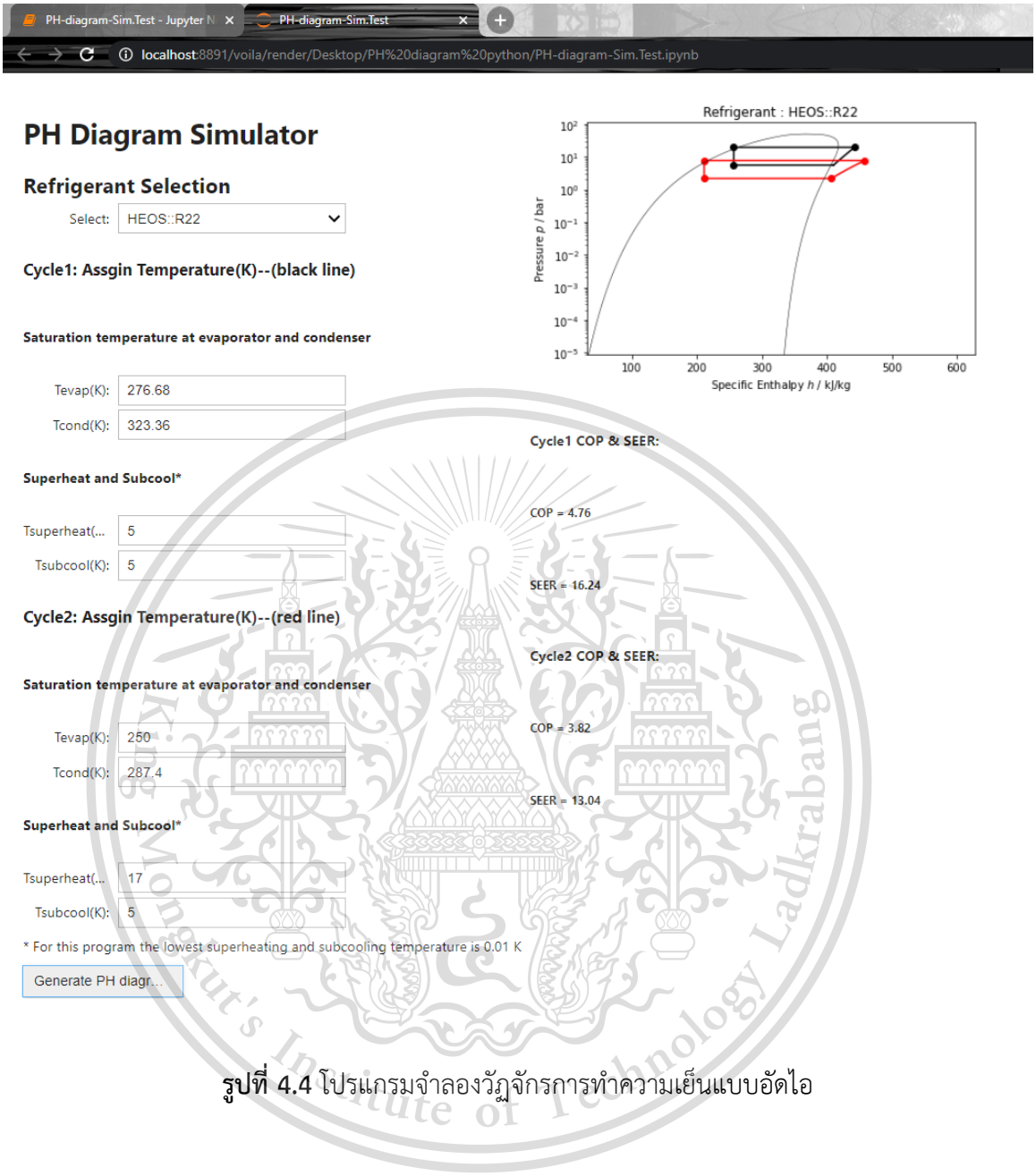
รูปที่ 4.2 Jupyter Notebook

2. Coolprop คือซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ ที่มีข้อมูลของสารทำความเย็นหลากหลายชนิด และมีชุดคำสั่งสำหรับการวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ สามารถใช้งานได้หลากหลายภาษา อาทิ เช่น Python, C++, MatLab เป็นต้น

รูปที่ 4.3 CoolProp

การสร้างโปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยการวิเคราะห์วัฏจักรการอัดไออย่างง่าย (Simple Vapor Compression Cycle) จาก PH diagram เท่านั้น วัฏจักรที่ได้จากโปรแกรมจำลองนี้จะไม่ใช่วัฏจักรการอัดไอจริง (Actual Vapor Compression Cycle)

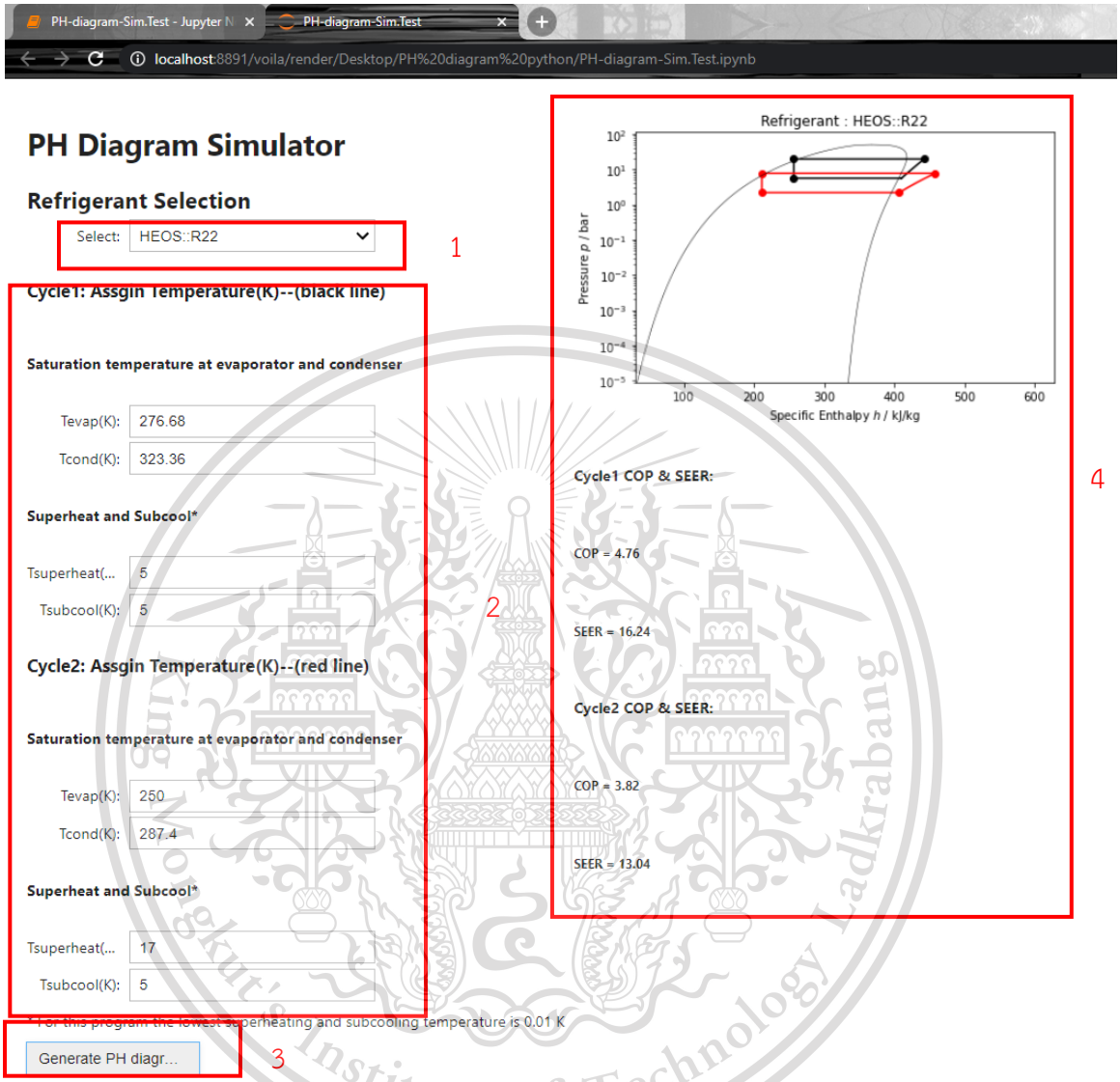
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 โปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โปรแกรมจำลองวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม

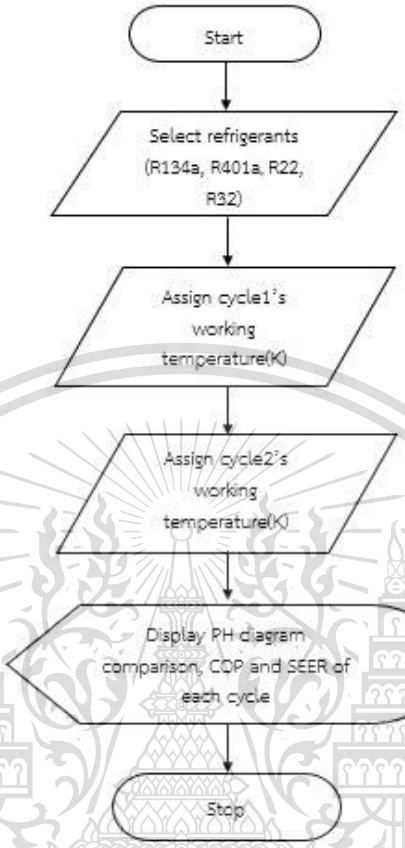
เมื่อ 1. คือ การเลือกประเภทของสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

2. คือ การใส่ค่าอุณหภูมิอิ่มตัว อุณหภูมิซุปเปอร์ฮีท (Superheat temperature) และอุณหภูมิซับคูล (Subcool temperature) โดยอุณหภูมิทั้งหมดมีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin) ขณะทำงานของเครื่องปรับอากาศ

3. คือ ปุ่มเริ่มต้นการวิเคราะห์ข้อมูล

4. คือ ช่องแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

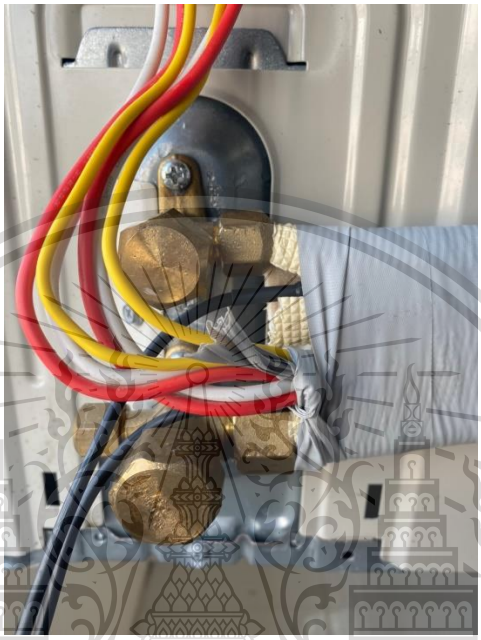


รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงการทำงานของ PH diagram simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3. ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

4.3.1. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวท่อสารทำความเย็นทางด้านความดันสูงและทางด้านความดันต่ำ



รูปที่ 4.7 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านความดันสูงและทางด้านความดันต่ำ

4.3.1. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันสารทำความเย็นทางด้านความดันสูงและทางด้านความดันต่ำ

รูปที่ 4.8 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันสารทำความเย็นทางด้านความดันสูงและทางด้านความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องระเหย

รูปที่ 4.9 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางเข้าเครื่องระเหย

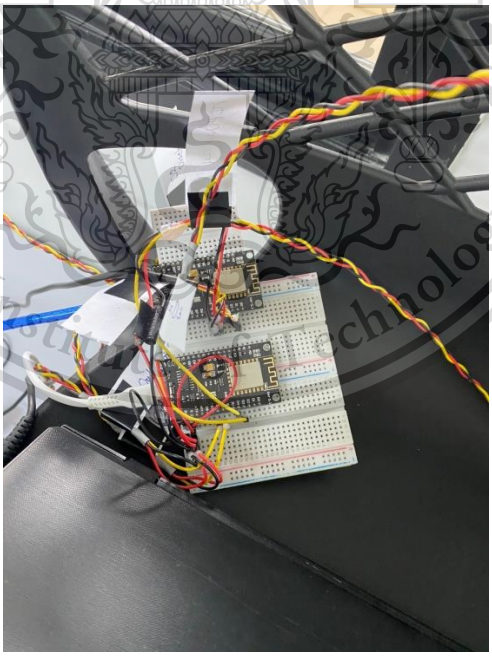
4.3.3. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางออกเครื่องระเหย

รูปที่ 4.10 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศทางออกเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

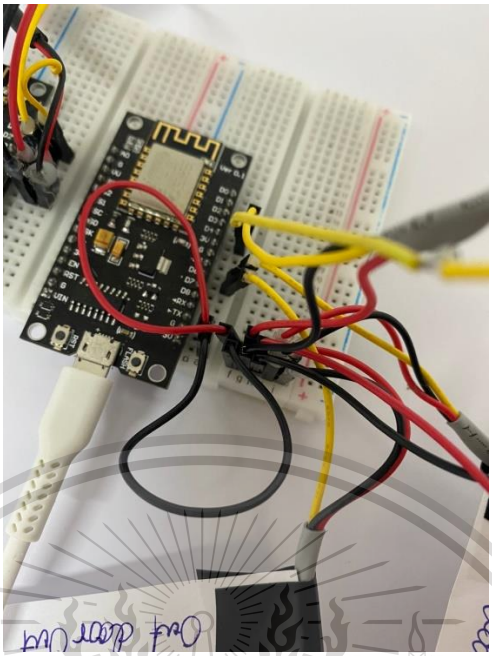
4.3.4. ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8266

รูปที่ 4.11 ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8266



รูปที่ 4.12 ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8266

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมดกับ NodeMCU ESP8266

4.4. ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูลในแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยกับเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ทำการทดสอบเป็นเครื่องปรับอากาศภายในบ้านเรือนแบบแยกส่วน ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter โดยทำการจำลองสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศที่สถานะทำงานปกติ เครื่องปรับอากาศที่สถานะสกปรก เครื่องปรับอากาศที่สถานะ Run capacitor เสื่อมสภาพ เครื่องปรับอากาศที่สถานะสารทำความเย็นรั่ว เครื่องปรับอากาศที่สถานะ Printed Circuit Board (PCB) เสียหาย และเครื่องปรับอากาศที่สถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย ขณะทำการทดสอบมีอาจารย์ที่ปรึกษาและช่างผู้มีประสบการณ์คอยให้คำปรึกษา ดูแลความปลอดภัยตลอดการทดสอบ

รูปที่ 4.14 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

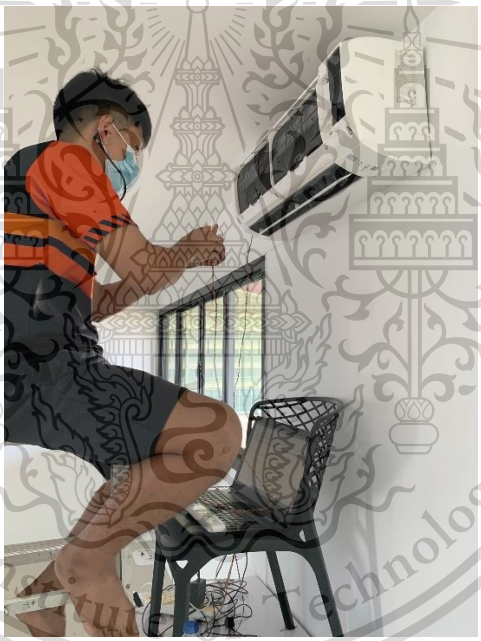
รูปที่ 4.15 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 4.16 ทดสอบเครื่องปรับอากาศ

4.4.1. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะปกติ โดยให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.17 ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะปกติ



รูปที่ 4.18 ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะปกติ

4.4.2. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะสกปรก จำลองเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก โดยการเอาผ้าไปปิดที่ทางเข้าอากาศของเครื่องระเหย ทำให้มีลมเข้าเครื่องระเหยได้น้อยเหมือนที่เครื่องปรับอากาศมีฝุ่นเกาะที่ทางเข้าอากาศของเครื่องระเหย และให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

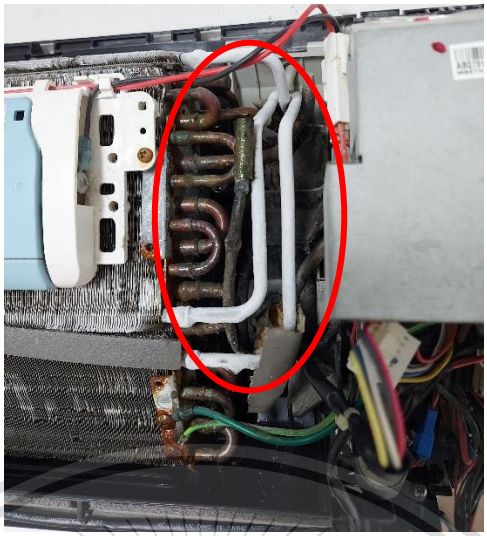
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.19 ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะสกปรก

4.4.3. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะสารทำความเย็นรั่ว จำลองโดยการปล่อยสารทำความเย็นออกจากระบบให้เหลือสารทำความเย็นภายในระบบ 80 psi และให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.20 ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะสารทำความเย็นรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะสารทำความเย็นรั่วจนท่อกลายเป็นน้ำแข็ง

4.4.4. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะ Run capacitor เสื่อมสภาพ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter ไม่มี Run capacitor ดังนั้นเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter จึงไม่เกิดปัญหา Run capacitor เสียหาย แต่ถ้าเป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Fixed speed เครื่องปรับอากาศจะไม่ทำงานเลยเพราะว่า Run capacitor เป็นตัวเริ่มการทำงานของเครื่องอัดไอในเครื่องปรับอากาศแบบ Fixed speed

4.4.5. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะ Printed Circuit Board (PCB) เสียหาย ถ้าเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter เสียหาย ก็จะทำให้เครื่องปรับอากาศเปิดไม่ติด ในการจำลองปัญหาก็คือการไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ

4.4.6. ทดสอบเครื่องปรับอากาศที่สถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย จำลองปัญหาโดยการเอาผ้าไปปิดทางเข้าอากาศของเครื่องควบแน่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

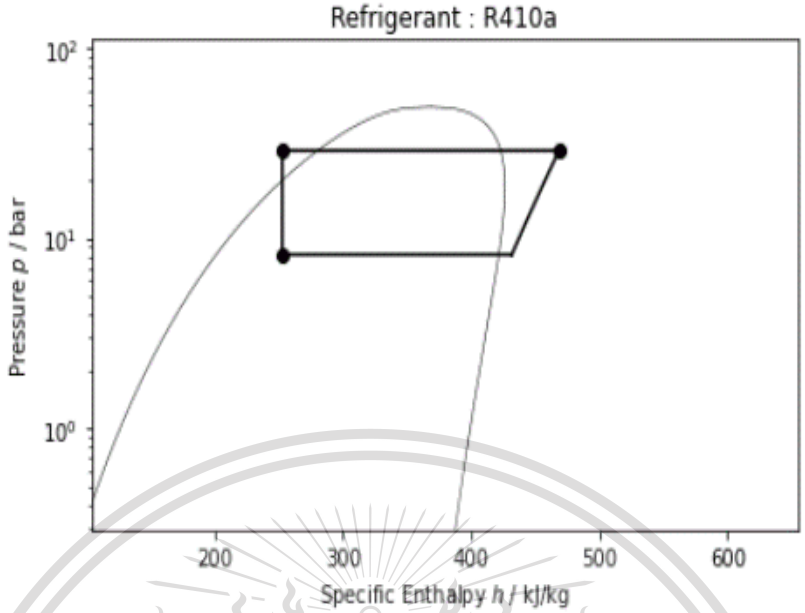
ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศ Inverter

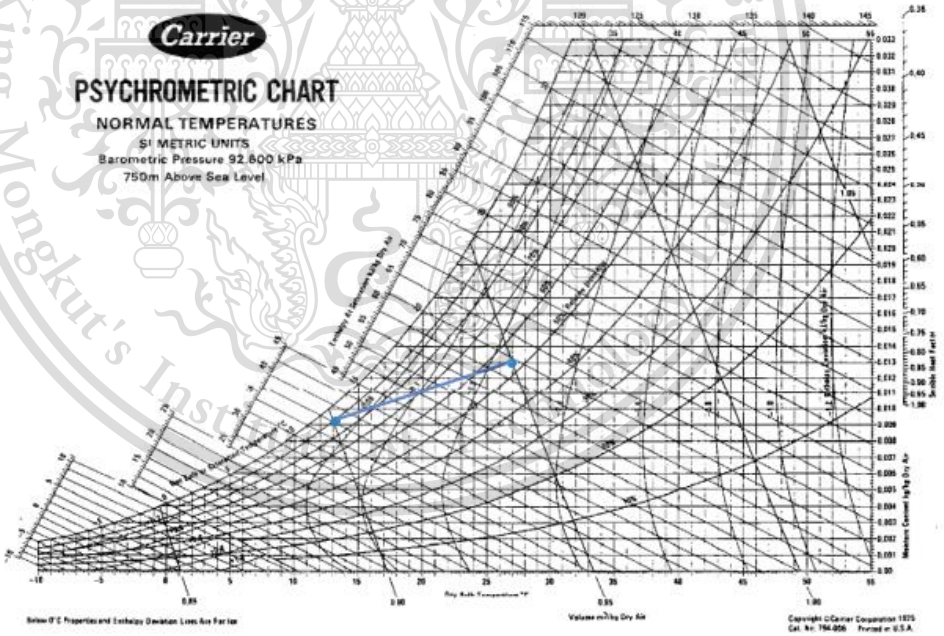
ข้อมูล / สถานะ	T_L (°C)	T_H (°C)	P_L (psi)	P_H (psi)	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	ΔT (°C)	RH_{in} (%)	RH_{out} (%)	I (A)	WS (ft/min)
ปกติ	10.2	32.85	119.20	417.10	27.07	13.42	13.65	57.41	90.16	4.16	255.40
สกปรก	4.1	32.70	102.38	358.33	25.26	7.48	17.90	57.72	90	3.42	146.55
สารทำความเย็นรั่ว	19.03	31.08	80.70	282.45	28.17	19.09	9.08	57.97	95.85	2.97	257.70
พัดลมเครื่องควบแน่นเสื่อม	17.93	48.19	133.48	467.18	25.39	13.32	12.07	58.59	90.87	4.68	260.10

เมื่อ T_L คือ อุณหภูมิท่อสารทำความเย็นทางด้านความดันต่ำ *(°C)*
T_H คือ อุณหภูมิท่อสารทำความเย็นทางด้านความดันสูง *(°C)*
P_L คือ ความดันสารทำความเย็นด้านความดันต่ำ *(psi)*
P_H คือ ความดันสารทำความเย็นด้านความดันสูง *(psi)*
T_{in} คือ อุณหภูมิของอากาศทางเข้าเครื่องระเหย *(°C)*
T_{out} คือ อุณหภูมิของอากาศทางออกเครื่องระเหย *(°C)*
ΔT คือ ความต่างของอุณหภูมิทางเข้า-ออกเครื่องระเหย *(°C)*
RH_{in} คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางเข้าเครื่องระเหย *(%)*
RH_{out} คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกเครื่องระเหย *(%)*
I คือ กระแสไฟฟ้า *(A)*
WS คือ ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าเครื่องระเหย *(ft/min)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

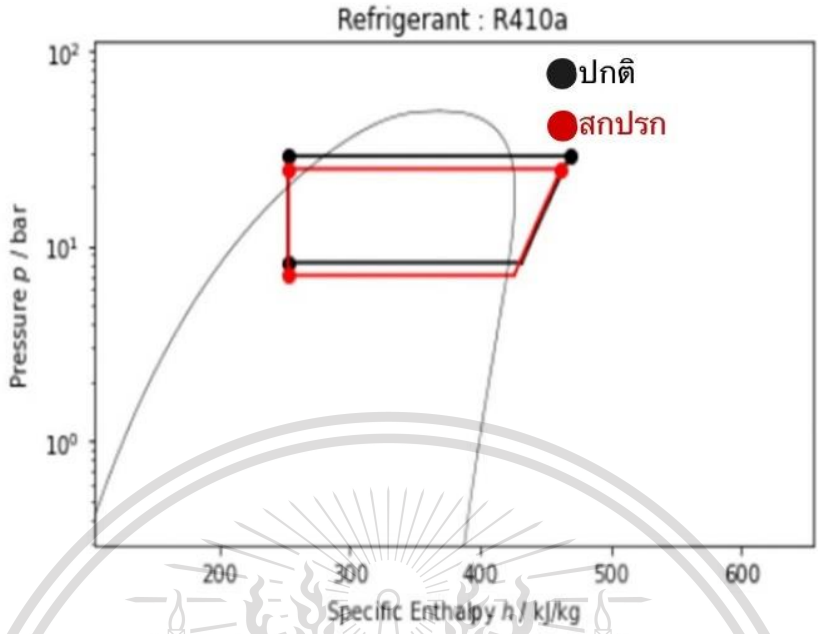


รูปที่ 5.1 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ

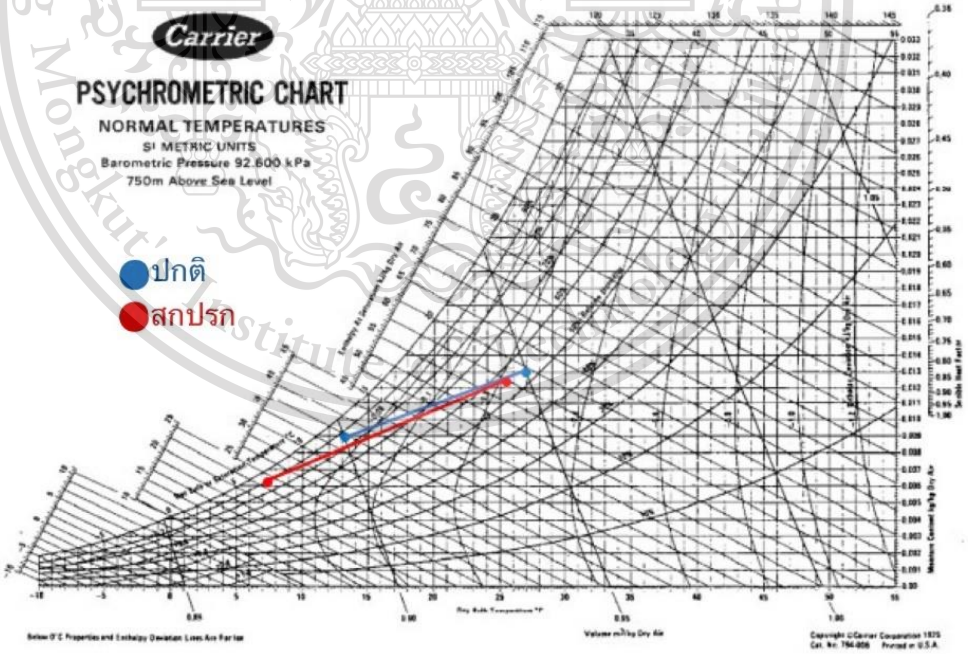


รูปที่ 5.2 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

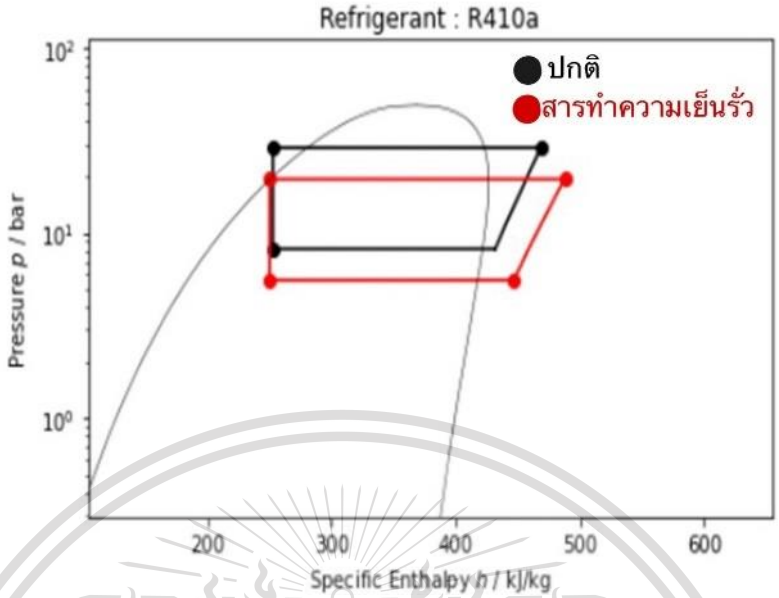


รูปที่ 5.3 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก

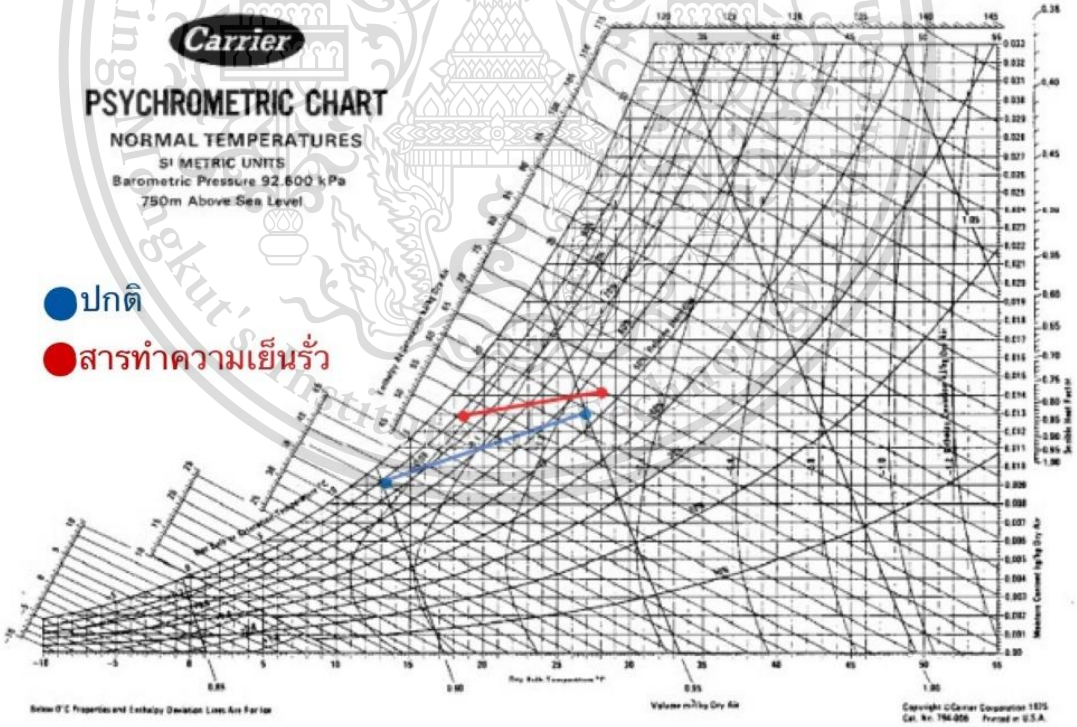


รูปที่ 5.4 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะสกปรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

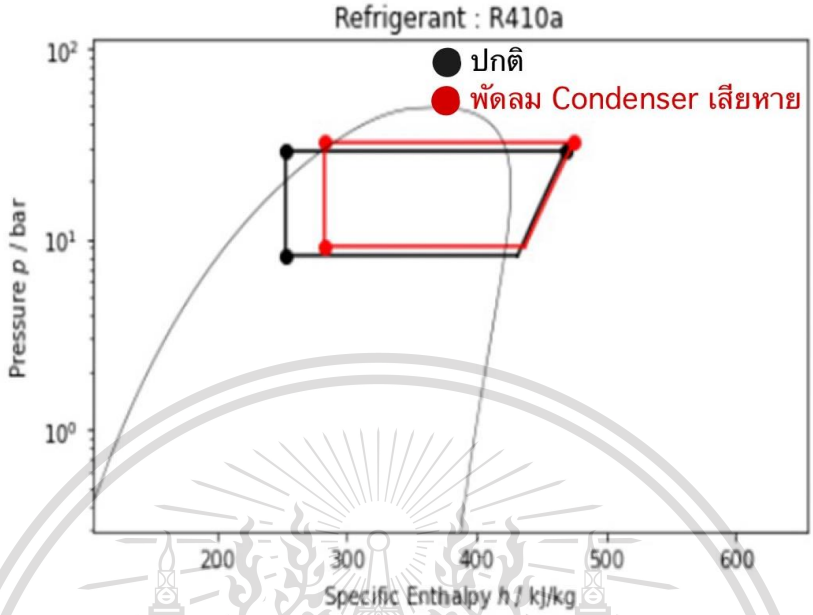


รูปที่ 5.5 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว

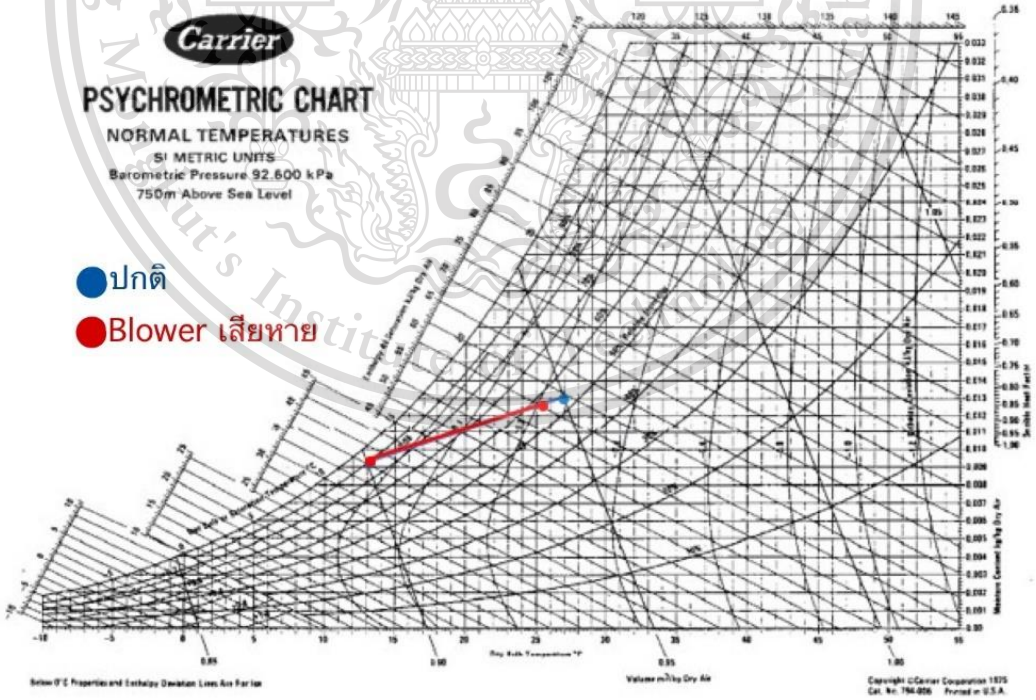


รูปที่ 5.6 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะสารทำความเย็นรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.7 วัฏจักรสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย



รูปที่ 5.8 แผนภูมิไซโครเมตริกของเครื่องปรับอากาศสถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวอย่างการคำนวณเครื่องปรับอากาศปกติ

ทางเข้าเครื่องระเหย (Evaporator) $T_{1,drybilb} = T_1 = 27.07$ *°C*

RH = 57 *%*

Wind speed = 255.4 *ft/min*

ทางออกเครื่องระเหย (Evaporator) $T_{2,drybilb} = T_2 = 13.42$ *°C*

RH = 90.17 *%*

จาก psychrometric chart

ปริมาตรจำเพาะ $w_1 = 0.87$ m^3/kg

เอนทาลปี $h_1 = 51.01$ *KJ/kg*

$h_2 = 35.20$ *KJ/kg*

พื้นที่หน้าตัดลมเข้าเครื่องระเหยเท่ากับ 1.02 ft^2 (ต้องใช้ความเร็วอากาศขาเข้า ไม่ใช่ขาออกเครื่องระเหย (Evaporator) ถึงจะสะท้อนถึงปริมาณอากาศที่ผ่านแผงรังผึ้งแลกเปลี่ยนความร้อน)

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศเข้าเครื่องระเหย

$$m_{v1} = 255.4\ ft/min \times 1.02\ ft^2$$

$$m_{v1} = 260.5\ CFM$$

$$m_{v1} = 0.122\ m^3/s$$

จากสมการ (3.11) และ (3.13)

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a$$

$$w_1 = m_1/m_a$$

$$m_a = m_{v1}/w_1$$

$$= 0.122/0.87$$

$$m_a = 0.141\ kg/s$$

ความสามารถในการทำความเย็น

$$Q = m_a(h_1-h_2)$$

$$Q = 0.141(59.01-35.20)$$

$$Q = 3.36\ KW$$

$$Q = 11464.8\ Btu/h$$

จาก (3.21) $P = VI\cos\theta$

$$P = (220 \times 4.16 \times 0.87)/1000$$

$$P = 0.79\ KW$$

จาก (3.19) $COP = Q/P = 3.36/0.79 = 4.22$

จาก (3.20) $EER = 3.415 \times COP = 14.42\ (Btu/h)/W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

6.1. สรุปผลการทดสอบ

6.1.1. ผลการทดสอบสถานะปกติ

ค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกเครื่องระเหย เท่ากับ 13.65 องศาเซลเซียส

ค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเท่ากับ 14.41 (Btu/h)/W

ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 4.22

6.1.2. ผลการทดสอบสถานะสกปรก

ค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและทางออกเครื่องระเหย เท่ากับ 17.9 องศาเซลเซียส

ค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเท่ากับ 13.96 (Btu/h)/W

ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 4.09

6.1.3. ผลการทดสอบสถานะสารทำความเย็นรั่ว

ค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและทางออกเครื่องระเหย เท่ากับ 9.08 องศาเซลเซียส

ค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเท่ากับ 9.41 (Btu/h)/W

ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 2.75

6.1.4. ผลการทดสอบสถานะ Run capacitor เสื่อมสภาพ

เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter นั้นไม่มี Run capacitor ดังนั้นจึงไม่สามารถเกิดปัญหา Run capacitor เสียหายได้ ถ้าเป็นระบบ Fixed-speed compressor เครื่องปรับอากาศก็ยังทำงาน แต่ compressor ไม่ทำงาน จะสามารถตรวจสอบผ่านระบบทางไกลได้ โดย delta T จะมีค่าเท่ากับศูนย์

6.1.5. ผลการทดสอบสถานะ Printed Circuit Board เสียหาย

เนื่องจาก Printed Circuit Board เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter ถ้า Printed Circuit Board เสียหายก็จะทำให้เครื่องปรับอากาศเปิดไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.1.6. ผลการทดสอบสถานะพัดลมเครื่องควบแน่นเสียหาย

ค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและทางออกเครื่องระเหย เท่ากับ 12.07 องศาเซลเซียส

ค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานตามฤดูกาล 11.27 (Btu/h)/W

ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 3.30

จากกการทดสอบพบว่าการที่เครื่องปรับอากาศขาดการซ่อมบำรุงจนเกิดปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น จะทำให้สมรรถภาพและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงจากเครื่องปรับอากาศที่ทำงานในสถานะปกติ ผู้ทดลองพบถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบความผิดปรกติของเครื่องปรับอากาศ โดนใช้ตัวที่ได้จากการทดลอง อุณหภูมิลมส่ง (Supply air) และ อุณหภูมิลมกลับ (Return air) ของเครื่องระเหย ซึ่งสามารถใช้ผลต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 เป็นดัชนีในการตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศและคาดการณ์ถึงปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นของเครื่องปรับอากาศ โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศปกติคือ 14°C

จากการศึกษาการใช้ IoT ร่วมกับระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ [2] พบว่าในระบบชิลเลอร์ใช้อุณหภูมิเข้าออกของเครื่องระเหยในการดูแลรักษาระบบปรับอากาศเช่นกัน

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้สร้างระบบการส่งข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิผ่านอินเตอร์เน็ต ประมวลผลข้อมูลด้วย raspberry pi และแจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานผิดปกติ โดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิเข้าออกเครื่องระเหยเป็นดัชนี ซึ่งเป็นต้นแบบของชุดทดสอบสภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

6.2. วิจารณ์ผลการทดลอง

การจำลองเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter ในสถานะสกปรกนั้นทำได้ยาก หากวัดเฉพาะอุณหภูมิหาวัดเฉพาะอุณหภูมิทางเข้า-ออกของเครื่องระเหย (Evaporator) สาเหตุเนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบ Inverter จะคอยควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่จะไหลเข้าเครื่องระเหยเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาสารทำความเย็นกลายเป็นไอไม่หมดที่ทางออกเครื่องระเหย เพราะถ้าสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวไหลเข้าสู่เครื่องอัดไอจะทำให้เครื่องอัดไอเสียหายได้ วิธีที่ควรใช้ถ้าเป็นเครื่องปรับอากาศ Inverter ก็ควรมีการวัดอุณภูมิภายในห้องที่ใกลจากเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับสถานะปกติด้วย

เนื่องจากข้อจำกัดในการสร้างห้องทำการทดลอง จึงไม่สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ยังต้องพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานได้ต่อไป

6.3. ข้อเสนอแนะ

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสร้างชุดทดสอบประสิทธิภาพเป็นเครื่องต้นแบบที่พร้อมจะพัฒนาและสามารถประยุกต์ใช้กับระบบ Internet of Things เพื่อจะให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้แบบ Real time จากระยะทางไกล ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนเครื่องปรับอากาศจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มากก็สามารถสร้างระบบให้แจ้งเตือนเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานผิดปกติได้ไม่ยาก และสามารถติดตั้ง sensor เพิ่มเติมให้ห้องเพื่อตรวจสภาพอากาศเช่น CO_2 หรือ smoke detector เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและสุขภาพของคนที่อยู่อาศัยอยู่ สุดท้ายนี้การทำวิธีการทดลองจากโครงงานนี้เป็นแนวทางในการประกอบการสอน เพื่อให้นักศึกษารุ่นต่อไปได้เรียนรู้ถึงลักษณะการทำงานของระบบทำความเย็นในเชิงปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

โค้ดของ PH diagram simulation

```
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')

import ipywidgets as widgets
from IPython.display import display, clear_output

import CoolProp
from CoolProp.Plots import PropertyPlot
from CoolProp.Plots import SimpleCompressionCycle
import matplotlib.pyplot as plt

# Refrigerant selection
refrigerant = widgets.Dropdown(
  options=['HEOS::R134a','HEOS::R22','HEOS::R410a','HEOS::R32'],
description='Select: ',
)

# Assign Temperature
Te1 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tevap(K): ', min=169.75,
max=374.21, value=270)
Tc1 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tcond(K): ', min=169.75,
max=374.21, value=310)
Tsuperheat1 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tsuperheat(K): ', min =
0.01)
Tsubcool1 =widgets.BoundedFloatText(description = 'Tsubcool(K): ',min = 0.01)
Te2 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tevap(K): ', min=169.75,
max=374.21, value=280)
Tc2 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tcond(K): ', min=169.75,
max=374.21, value=310)
Tsuperheat2 = widgets.BoundedFloatText(description = 'Tsuperheat(K): ', min =
0.01)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
Tsubcool2 =widgets.BoundedFloatText(description = 'Tsubcool(K): ',min = 0.01)

# Generate UI for input value from above
text_0 = widgets.HTML(value="<h1> PH Diagram Simulator</h1>")
text_1 = widgets.HTML(value="<h2>Refrigerant Selection<h2>")
text_2 = widgets.HTML(value="<h3>Cycle1: Assgin Temperature(K)--(black
line)<h3>")
text_3 = widgets.HTML(value="<h4>Saturation temperature at evaporator and
condenser<h4>")
text_4 = widgets.HTML(value="<h4>Superheat and Subcool*<h>")
text_5 = widgets.HTML(value="<h3>Cycle2: Assgin Temperature(K)--(red
line)<h3>")

#result text
text_result1 = widgets.HTML(value="<h4>Cycle1 COP & EER: <h4>")
text_result2 = widgets.HTML(value="<h4>Cycle2 COP & EER: <h4>")

#note
text_note1 = widgets.HTML(value="<h7>* For this program the lowest
superheating and subcooling temperature is 0.01 K")
# Button send value to generate graph plot
button_send = widgets.Button(
    description='Generate PH diagram!',
    tooltip='Send',
    style={'description_width': 'initial'}
 )

# Output to display graph
output = widgets.Output()
vbox_assignTemp =
widgets.VBox([text_3,Te1,Tc1,text_4,Tsuperheat1,Tsubcool1,text_5,text_3,Te2,Tc2,
text_4,Tsuperheat2,Tsubcool2,text_note1])
vbox_text =
widgets.VBox([text_0,text_1,refrigerant,text_2,vbox_assignTemp,button_send])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
def on_button_clicked(event):
    with output:
    # Plot Graph
   pp = PropertyPlot(refrigerant.value, 'PH', unit_system='EUR')
  pp.calc_isolines(CoolProp.iQ, num=2)
 cycle1 = SimpleCompressionCycle(refrigerant.value, 'PH', unit_system='EUR')
 cycle2 = SimpleCompressionCycle(refrigerant.value, 'PH', unit_system='EUR')
    clear_output()

   cycle1.simple_solve_dt(Te1.value, Tc1.value, Tsuperheat1.value,
Tsubcool1.value, 1, SI=True)
 cycle1.steps = 50
sc1 = cycle1.get_state_changes()

cycle2.simple_solve_dt(Te2.value, Tc2.value, Tsuperheat2.value, Tsubcool2.value,
1, SI=True)
 cycle2.steps = 50
 sc2 = cycle2.get_state_changes()

 plt.close(cycle1.figure)
  plt.close(cycle2.figure)

    pp.title(f'Refrigerant : {refrigerant.value}')
 pp.draw_process(sc1, line_opts = {'color':'black'})
pp.draw_process(sc2)
pp.show()


# COP, SEER and Other calculation
COP1 = cycle1.COP_cooling()
COP2 = cycle2.COP_cooling()
EER1 = COP1 * 3.412
EER2 = COP2 * 3.412
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
text_COP1 = widgets.HTML(value=f"<h5> COP = {COP1:.2f} <h5>")
text_COP2 = widgets.HTML(value=f"<h5> COP = {COP2:.2f} <h5>")
text_EER1 = widgets.HTML(value=f"<h5> EER = {EER1:.2f}<h5>")
text_EER2 = widgets.HTML(value=f"<h5> EER = {EER2:.2f}<h5>")
vbox_COP =
widgets.VBox([text_result1,text_COP1,text_EER1,text_result2,text_COP2,text_EER2]
)
display(vbox_COP)

button_send.on_click(on_button_clicked)

vbox_result = widgets.VBox([output,])
vbox_final = widgets.HBox([vbox_text, vbox_result])
display(vbox_final)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้านครหลวง. **“ค่าไฟฟ้า.”** [Online]. Available : https://www.mea.or.th. 2563.

[2] ASHRAE Standard. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** 2021.

[3] ชูชัย ศิริวัฒนา. การทำความเย็น และ การปรับอากาศ. 5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวง คลองเตย เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110 : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2537.

[4] กัมพล อรนนท์. **“ระบบปรับอากาศบนเครื่องบิน.”** [Online]. Available : http://eng.sut.ac.th/me/2014/subject_aeronautical-blue.php?page=ACforAircraft. 2013

[5] สำนักงานพลังงานจังหวัดสตูล. “**การทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ. 2563. สำนักงานพลังงานจังหวัด สตูลกระทรวงพลังงาน.**” [Online]. Available : https://provinces.energy.go.th.2563.

[6] Simone Baldi, Fan Zhang, Thuan Le Quang, Petr Endel, Ondreej Holub. Passive versus active learning in operation and adaptive maintenance of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Volume 252. 2019.

[7] สมจินต์ พ่วงเจริญชัย. “**เครื่องล้างทำความสะอาดแผงคอนเดนเซอร์.**” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2550.

[8] สันติรัฐ ไชยบุญเรือง, ณัฐวุฒ เป็นเรือนชุม, ธงชัย มณีชูเกตุ. “ระบบเครือข่ายตรวจวัดไร้สายกำลังงานไฟฟ้าต่ำแบบง่ายสำหรับเฝ้าตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์” **บทความทางวิชาการ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12**, 2559 หน้า 1216-1221

[9] คเณศ นิพัทธ์ธีรนันท์. “รู้จักกับ WELL Building Standard เทรนด์มาตรฐานอาคารใหม่ที่เป็นห่วงสุขภาพของผู้อาศัยอย่างแท้จริง.” [Online] Available : https://thestandard.co/anil-sathorn-12/. 16 September 2019.

[10] ฤชากร จิรกาลวสาน. **การปรับอากาศ (Air-Conditioning).** สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. บริษัท มิตรภาพการพิมพ์และสติวดิโอ จำกัด กรุงเทพฯ. ธันวาคม 2561.

[11] Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist. **Modern Refrigeration and Air Conditioning.** 19th Edition. The Goodheart-Willcox Company, Inc. 2014.

[12] Daikin. “Daikin Product Catalogues.” [Online] Available : https://www.daikin.com.sg/catalogue [เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2564].

[13] “ระบบปรับอากาศ (Air conditioning System).” **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(โรงงาน).**2553.

[14] Martin R. Braun, Stephen B. M. Beck, Haim Altan. **“Comparing COP Optimization with Maximizing the Coefficient of System Performance for Refrigeration Systems in Supermarkets.”** International Refrigeration and Air Conditioning Conference. 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[15] กองส่งเสริมประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าฝ่ายบริหารการใช้ไฟฟ้าและกิจการเพื่อสังคมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) **“ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 เครื่องปรับอากาศ.”** EGAT AC edition 2. กรกฎาคม 2563.

[16] Bluestone. “ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF).” [Online] Available : https://www.bluestone.co.th/ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์powerfactorpf. [วันที่เข้าถึง 25 เมษายนต์ 2563].

[17] Craig Migliaccio. **Refrigerant charging and service procedures for air conditioning**. AC Service Tech LLC. 2019.

[18] วิชัย แดงมณี, ผู้ให้สัมภาษณ์, 30 มีนาคม 2564.

[19] เจ้าของร้าน. **“สอนใช้งาน DHT22 Module โมดูลวัดอุณหภูมและความชื้น กับ Arduino.”** [Online]. Available : https://www.myarduino.net/article/64/สอนใช้งาน-dht22-module-โมดูลวัดอุณหภูมและความชื้น-กับ-arduino. 2560.

[20] Matana Wiboonyasake . **“ทำความรู้จักกับ Internet of Things.”** [Online]. Available : https://www.aware.co.th/iot-คืออะไร/. 2563.

[21] Support Thaieasyelec. **“บทความ ESPino32 ตอนที่ 13 การใช้งานเซ็นเซอร์.”** [Online] Available : https://blog.thaieasyelec.com/espino32-ch13-how-to-work-with-sensors/. [เข้าถึงเมื่อ 14 กรกฎาคม 2563].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.