



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน
โดยการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่น
Performance Improvement of Split Type Air Condition Systems
by Decreasing Condensing Unit Temperature

กิตติศักดิ์ นพวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

โดยการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่น

Performance Improvement of Split Type Air Condition Systems

by Decreasing Condensing Unit Temperature

กิตติศักดิ์ นพวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่น
ชื่อ-สกุล นักศึกษา กิตติศักดิ์ นพวรรณ
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน ไพพงษ์ วงศ์วัฒน์
สถานประกอบการ บริษัท เบทาโกร จำกัด มหาชน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ในเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยอากาศร่วมกับการระเหยของน้ำ โดยทำการศึกษาออกแบบ และสร้างเครื่องลดอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนให้สารทำความเย็นด้วยแผ่นเซลล์โลส จากนั้นทำการทดสอบหาค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าสมรรถนะระบบทำความเย็น และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนสารทำความเย็นเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 30.23 องศาเซลเซียส ความเร็วลมของอากาศที่ผ่านแผ่นเซลล์โลสเฉลี่ย 2.7 เมตรต่อวินาที จากการทดสอบพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อนติดตั้งอุปกรณ์เท่ากับ 291.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นหลังติดตั้งอุปกรณ์เท่ากับ 280.29 กิโลวัตต์ชั่วโมงลดลงจากเดิม 4 เปอร์เซ็นต์ ค่าสมรรถนะระบบทำความเย็น และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 25 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การทำความเย็นแบบระเหย, สมรรถนะการทำความเย็น

Cooperative Title: Performance improvement of Split Type Air Condition Systems
by Decreasing Condensing Unit Temperature

Student intern name: Kittisak Nophawan

Faculty: Engineering **Department:** Agricultural Engineering

Advisor name: Asst. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan

Mentor name: Paipong Wongwat

Company: Betagro Public Company Limited

ABSTRACT

The objective of the study was to make a comparison of the electrical energy consumption of the air conditioner unit between air cooled and air cooled with water cooled. This study, designed and constructed Evaporative cooler for cooling the refrigerant. Then test the electrical energy consumption, Coefficient of performance, Energy Efficiency Ratio of the system for 1 week. Average water temperature for cooling the refrigerant is 29 degrees Celsius. Average ambient temperature is 30.32 degrees Celsius. Average wind speed through the cellulose pad is 2.7 meter per second. The results of the study were as follows The electrical energy consumption in the air conditioning system before installing the equipment was 291.5 kilowatt hours, the electrical energy consumption in the air conditioning system after installing the equipment was 280.29 kilowatt hours down 4 percent from original state. Coefficient of performance and Energy Efficiency Ratio increase of 25 percent

Keywords : Evaporative Cooling, Coefficient of performance

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากหลายภาคส่วน ซึ่งไม่สามารถนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกคือ ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญาานิพนธ์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

ขอขอบพระคุณนายไพพงษ์ วงศ์วัฒน์ พนักงานที่ปรึกษาแผนกวิศวกรรมกลางบริษัทเบทาโกร ที่คอยให้ คำปรึกษา และช่วยเหลือในการปฏิบัติงานขณะปฏิบัติงาน ณ บริษัทเบทาโกร เสมอมา

ขอขอบพระคุณบริษัทเบทาโกร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือวัดในการทำการ ทดสอบจนเสร็จสิ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาที่คอยให้คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังที่ให้การช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือช่าง และสถานที่ในการปฏิบัติการมาโดยตลอด

นายกิตติศักดิ์ นพวรรณ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling).....	6
2.1.1 หลักการการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ.....	6
2.1.2 ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ.....	7
2.1.3 แผ่นทำความเย็น (Cooling Pads).....	8
2.2 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี.....	10
2.2.1 กระบวนการอัดไอ.....	10
2.2.2 กระบวนการควบแน่น.....	11
2.2.3 กระบวนการลดความดัน.....	11
2.2.4 กระบวนการระเหย.....	12
2.3 แผนภูมิวัดสภาวะน้ำสabay (Psychrometric Chart).....	12
2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศในแผนภูมิวัดสภาวะน้ำสabay.....	13
2.3.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก.....	17
2.4 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น หรือระบบปรับอากาศ.....	21
2.4.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็น (COP : Coefficient of Performance).....	21
2.4.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio).....	22
2.5 การออกแบบขนาดเครื่องสูบน้ำ.....	23
2.5.1 เฮด (Head).....	23
2.5.2 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation).....	26

2.5.3 กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve).....	26
2.5.4 กราฟเฮดของปั๊ม (Pump Curve).....	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 แนวทางการออกแบบ.....	31
3.1.1 แนวทางการออกแบบ Cooling pad โครงประกอบ และฐานรับน้ำหนัก.....	31
3.1.2 แนวทางการออกแบบระบบจ่ายน้ำ.....	32
3.1.3 แนวทางการออกแบบระบบพ่นน้ำ และระบายน้ำ.....	32
3.1.4 แนวทางการออกแบบวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ควบคุมระบบ.....	32
3.2 การสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ.....	32
3.2.3 กระบวนการสร้าง Cooling pad โครงประกอบ และฐานรับน้ำหนัก.....	32
3.2.2 กระบวนการสร้างระบบจ่ายน้ำ.....	35
3.2.3 กระบวนการสร้างวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ควบคุมระบบ.....	40
3.3 กระบวนการทดสอบการใช้ไฟฟ้า และประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็น.....	45
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	47
4.1 ผลทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น.....	47
4.2 ผลทดสอบความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect : Q_e).....	48
4.3 ผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance : COP)	49
4.4 ผลทดสอบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER)	50
4.5 ต้นทุน และผลประโยชน์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบการทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยน้ำ.....	51
4.6 จุดคุ้มทุน (Break Even Point).....	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	54
5.1.1 ระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบปกติ.....	54
5.1.2 ระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำร่วมกับอากาศ.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ.....	57
ภาคผนวก ข ผลทดสอบอุณหภูมิ และความชื้นสถานะแวดล้อมการทดลอง.....	65
ภาคผนวก ค แบบแปลนส่วนประกอบชุดอุปกรณ์ระบายความร้อน และแบบวงจรไฟฟ้า.....	67
ภาคผนวก ง โปรแกรมควบคุมระบบจ่ายน้ำ และระบายน้ำด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	71
ภาคผนวก จ รายการวัสดุอุปกรณ์.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ.....	4
ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ.....	8
ตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	23
ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์.....	37
ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	47
ตารางที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและ หลังติดตั้งอุปกรณ์.....	48
ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	49
ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	50
ตารางที่ 4.5 ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	51
ตารางที่ 1-ข ผลทดสอบอุณหภูมิ และความชื้นสภาวะแวดล้อมการทดลอง.....	66
ตารางที่ 1-จ รายการวัสดุอุปกรณ์.....	79

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Direct Evaporative Cooling.....	6
รูปที่ 2.2 Indirect Evaporative Cooling.....	6
รูปที่ 2.3 การทำความเย็นแบบ Direct/Indirect Evaporative cooling บนแผ่นภูมิอากาศชื้น.....	7
รูปที่ 2.4 fiber pad จากไม้ aspen.....	9
รูปที่ 2.5 Rigid cellulose pad.....	9
รูปที่ 2.6 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี.....	10
รูปที่ 2.7 Psychrometric Chart.....	13
รูปที่ 2.8 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature line).....	13
รูปที่ 2.9 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature line).....	14
รูปที่ 2.10 แสดงเส้นอุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew point temperature line).....	14
รูปที่ 2.11 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume line).....	15
รูปที่ 2.12 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้นของอากาศ (Humidity Ratio line).....	15
รูปที่ 2.13 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity line).....	16
รูปที่ 2.14 แสดงเส้นเอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy line).....	17
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะทิศทางการลด และเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ.....	18
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ.....	19
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ.....	20
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการเพิ่มความชื้นโดยการลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหย.....	21
รูปที่ 2.19 สรุปกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของอากาศ.....	21
รูปที่ 2.20 ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า ประเภทเครื่องปรับอากาศ(แบบแยกส่วน).....	22
รูปที่ 2.21 กราฟเฮตของระบบท่อเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง.....	27
รูปที่ 2.22 กราฟเฮตของระบบท่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง.....	27
รูปที่ 2.23 กราฟคุณลักษณะ (กราฟเฮตหรือกราฟ H-Q) ของปั๊ม.....	28
รูปที่ 2.24 จุดทำงานของปั๊มคือจุดตัดของกราฟเฮตของระบบ และกราฟเฮตของปั๊ม.....	28
รูปที่ 3.1 แผ่นระเหยน้ำเซลลูโลส Celdek 7090 Black Coating.....	33
รูปที่ 3.2 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านล่าง.....	34
รูปที่ 3.3 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านบน.....	34
รูปที่ 3.4 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านข้าง.....	34
รูปที่ 3.5 ฐานรับน้ำหนักเหล็กฉากเจาะรูเคลือบสี.....	35
รูปที่ 3.6 ระยะกระจายน้ำ และตำแหน่งการติดตั้งหัวจ่ายน้ำ.....	36
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮตรวม กับอัตราการไหลของระบบ.....	38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮตรวม กับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ.....	39
รูปที่ 3.9 แผนภูมิจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ (Operation Point).....	39
รูปที่ 3.10 OMRON Power Relay DPDT 5A MY2F AC220/240.....	40
รูปที่ 3.11 DHT11 Humidity and Temperature Sensor.....	40
รูปที่ 3.12 Adapter 220V to 5V.....	41
รูปที่ 3.13 Relay Module 5V 250V/10A 2 Channel.....	41
รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบ Microcontroller Aduio UNO R3.....	42
รูปที่ 3.15 แผนภาพวงจรควบคุมระบบจ่ายน้ำ และระบายน้ำ.....	43
รูปที่ 3.16 ผังงานวัฏจักรการทำงานของระบบ.....	43
รูปที่ 3.17 ชุดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยด้านลมเข้า.....	44
รูปที่ 3.18 ชุดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยด้านลมออก.....	44
รูปที่ 3.19 Power Quality Analyzers.....	45
รูปที่ 3.20 Thermal Environmental Monitor.....	45
รูปที่ 3.21 Thermo Recorder.....	46
รูปที่ 3.22 Anemometer.....	46
รูปที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	48
รูปที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	49
รูปที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์.....	50
รูปที่ 4.5 แสดงจุดคุ้มทุนบนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวม กับรายได้.....	53
รูปที่ 1-ก ชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้านลมเข้า.....	58
รูปที่ 2-ก ชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้านลมออก.....	58
รูปที่ 3-ก เครื่องควบแน่นด้านลมเข้า.....	59
รูปที่ 4-ก เครื่องควบแน่นด้านลมออก.....	59
รูปที่ 5-ก เครื่องระเหยด้านลมเข้า.....	60
รูปที่ 6-ก เครื่องระเหยด้านลมออก.....	60
รูปที่ 7-ก การวัดสถานะแวลวล้อมในการทดสอบ.....	61
รูปที่ 8-ก การวัดความเร็วลมที่ผ่านเครื่องระเหย.....	61
รูปที่ 9-ก การวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ.....	62
รูปที่ 10-ก การวัดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องระเหย.....	62
รูปที่ 11-ก การวัดปริมาณการใช้น้ำของระบบ.....	63

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 12-ก การวัดความชื้นสภาวะแวดล้อมเพื่อควบคุมการทำงานเครื่องสูบน้ำ.....	63
รูปที่ 13-ก ก่อวงจรควบคุมการจ่ายน้ำ และระบายน้ำของระบบ.....	64
รูปที่ 1-ค แบบฐานรับน้ำหนัก.....	68
รูปที่ 2-ค แบบโครงประกบด้านบน.....	68
รูปที่ 3-ค แบบโครงประกบด้านล่าง.....	69
รูปที่ 4-ค แบบโครงประกบด้านข้าง.....	69
รูปที่ 5-ค แบบวงจรไฟฟ้าของระบบจ่ายน้ำและระบายน้ำ.....	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เบทาโกร ซีโอป เป็นช่องทางจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารสด อาหารพร้อมปรุง และอาหารพร้อมรับประทานที่หลากหลาย ให้แก่ผู้ประกอบการภัตตาคาร ร้านอาหาร ตลอดจนลูกค้าทั่วไป ภายใต้แนวคิด “เพื่อคุณภาพชีวิต” ด้วยการส่งมอบสินค้าที่ได้มาตรฐาน สด สะอาด และปลอดภัย ปัจจุบันมีร้านเบทาโกร ซีโอป กระจายอยู่ทั่วประเทศมากกว่า 180 สาขา ให้แก่ผู้บริโภคทั่วทั้งประเทศไทยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียังเย็น (CHILL ROOM) เพื่อเก็บรักษาอาหารที่รอการจำหน่าย และรอการตัดแต่งเนื้อ ซึ่งจะต้องรักษาอุณหภูมิของอาหารให้มีอุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์เพื่อชะลอการหมดอายุของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การเก็บรักษาในที่ยังเย็นใช้สำหรับเก็บรักษาอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable food) โดยใช้แผ่นฉนวนสำเร็จรูป (sandwich panel) หรือผนังที่ยังเย็นประกอบขึ้นเป็นที่ยังเย็น (cold room or cold storage) และยังไปใช้ทำผนังที่ยังเย็นอื่นๆ รวมถึงแผ่นฉนวนที่ยังเย็น ได้แก่ เนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู เนื้อวัว เนื้อแพะ เนื้อแกะ อาหารทะเล ทั้งสดและปรุงสุกแล้ว เช่น ปลา กุ้ง ปลาหมึก ไข่อาหารพร้อมบริโภค (ready-to-eat food) และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ เช่น ไส้กรอก แฮม เบคอน แหนม การแช่แข็งเป็นการถนอมอาหาร (food preservation) มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogen) เช่น Salmonella ชะลอปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมี การแช่เย็นเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ (cold storage of meat and meat products) ซึ่งระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้ต้นทุนด้านการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศมีจำนวนมาก

สำหรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน จะต้องติดตั้งอุปกรณ์สองชุดภายในระบบ คือส่วนจ่ายลมเย็น (fan coil unit) ที่ติดตั้งภายในห้องที่ต้องการทำความเย็น หรือพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ และส่วนระบายความร้อน (condensing unit) ที่ถูกติดตั้งภายนอกอาคาร วิธีนี้จะเป็นการระบายความร้อนสู่อากาศภายนอก สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิภายนอกค่อนข้างสูง ทำให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เครื่องอัดไอทำงานมากขึ้น อายุการใช้งานของเครื่องควบแน่นลดต่ำลง ทำให้เกิดแนวคิดในการแก้ปัญหา ด้วยวิธีการลดอุณหภูมิของอากาศที่ระบายความร้อนให้กับส่วนระบายความร้อน ให้มีอุณหภูมิต่ำลง ด้วยการใช้น้ำในการระเหยของน้ำ (evaporative cooling) คือการนำน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศมาระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิ และความดันของสารทำความเย็นภายในส่วนระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศมีอุณหภูมิต่ำลง และความดันลดต่ำลง

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้มีการศึกษาวิธีการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และเพิ่มค่าสมรรถนะ ระบบปรับอากาศโดยใช้การระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำมาช่วย เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน

ให้กับสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อที่จะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ และเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศให้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และ ระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะระบบทำความเย็น และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ

1.2.3 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบความคุ้มค่าจากอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วนของ CHILL BUTCHER ROOM_BETAGRO SHOP สาขาประชาชื่น

1.3.2 ศึกษาเฉพาะวิธีระบายความร้อนสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นด้วยอากาศ และชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ร่วมกับการระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ

1.3.3 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นในสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันต่างกันไม่เกิน 4.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันต่างกันไม่เกิน 20%

1.3.4 การเก็บข้อมูลการทดลองใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์ต่อระบบการระบายความร้อนแต่ละระบบ โดยระยะเวลาเก็บข้อมูล ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ขั้วางแผนงาน

- (1) กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต วิธีการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- (2) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องของระบบปรับอากาศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ การศึกษาวิธีการเพื่ประสิทธิภาพการระบายความร้อนเครื่องควบแน่นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
- (3) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศแยกส่วนระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ

1.4.2 ขั้ดำเนินการ

- (1) ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเอนทาลปีของอากาศที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ วัดอัตราการไหลของอากาศและบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ระบบการทำความเย็นแบบระเหย โดยในแต่ละระบบการระบายความร้อนจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 1 สัปดาห์หรือ 168 ชั่วโมง
- (2) ออกแบบระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ เช่น การออกแบบอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำที่ต้องการ จำนวนเวลาที่ทำการสูบน้ำเพื่อเลี้ยงวัสดูรับน้ำ รอบในการสูบน้ำที่ผ่านการหมุนเวียนในวัสดูรับน้ำที่ทิ้งออกไปสู่สาธารณะ และจำนวนจำนวนหัวจ่ายน้ำเลี้ยงให้กับวัสดูรับน้ำ
- (3) ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำเข้ากับ ด้านลมกลับเครื่องควบแน่นของระบบปรับอากาศที่ทำการทดลอง
- (4) ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเอนทาลปีของอากาศที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ และบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ โดยในแต่ละระบบการระบายความร้อนจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 1 สัปดาห์หรือ 168 ชั่วโมง

1.4.3 ขั้สรุป และประเมินผลโครงการ

- (1) วิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง คำนวณหาค่าสมรรถนะระบบปรับอากาศทั้งสองระบบ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้วยการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า
- (2) สรุปผลการทดสอบอุปกรณ์ และเขียนรายงาน

1.4.4 แผนการดำเนินงานตลอดการสหกิจศึกษา

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ

รายการ	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการ																
-ศึกษาทฤษฎีหลักการการทำงานของเครื่องปรับอากาศ																
-ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำระเหย																
-ศึกษาวิธีการวัดค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ																
-ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์จุลภาค																
2. ออกแบบ และติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยน้ำระเหย																
-ออกแบบขนาด และอัตราการใช้น้ำของวัสดุรับน้ำ																
-ออกแบบเครื่องสูบน้ำ และถังพักน้ำ																
-ออกแบบการติดตั้งท่อส่งน้ำ จำนวนหัวจ่ายน้ำ																
3. ทำการทดสอบ บันทึกผลการทดลอง																
-ทดสอบและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง, อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ และการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนการติดตั้งอุปกรณ์																
-ทดสอบและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง, อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ และการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการติดตั้งอุปกรณ์																
4. วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง																
-วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสมรรถนะระบบปรับอากาศ (COP)																
-วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)																
-วิเคราะห์จุดคุ้มทุนของอุปกรณ์																

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของ CHILL BUTCHER ROOM

1.5.2 สามารถสร้างชุดต้นแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นของ CHILL BUTCHER ROOM

1.5.3 สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP : Coefficient of Performance) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ (EER : Energy Efficiency Ratio)

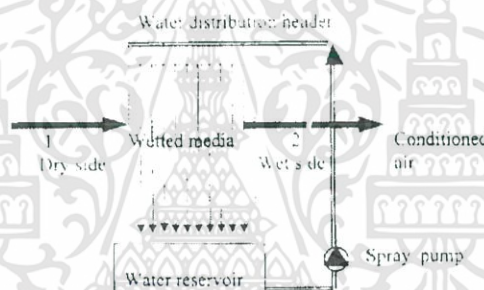


บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

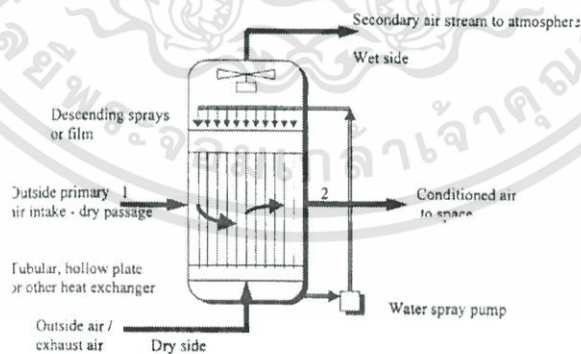
2.1 การทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ(Evaporative Cooling)

2.1.1 หลักการการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ

อาศัยหลักการดึงความร้อนจากอากาศไประเหยน้ำ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง หลังออกจากระบบ โดยปกติแล้วจะใช้ วัสดุผิวเปียก (Wetted media) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำ กับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำเร็วขึ้น โดยทั่วไประบบ Evaporative cooling จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ direct evaporative cooling และ Indirect evaporative cooling ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 Direct Evaporative Cooling

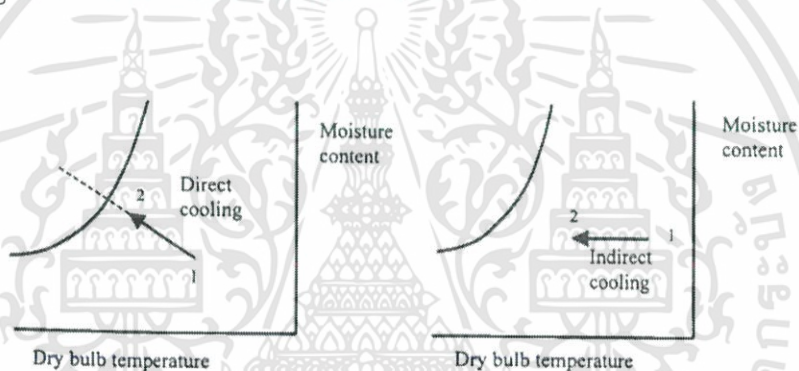


รูปที่ 2.2 Indirect Evaporative Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบ Direct evaporative cooling จากรูปที่ 2.1 เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่าน Wetted media จากด้านที่ 1 (Dry side) ไปด้านที่ 2 (Wetted side) ทำให้น้ำที่ผิวของวัสดุผิวเปียกระเหยกลายเป็นไอ โดยการดึงความร้อนจากอากาศ (Latent heat) ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่าดังนั้นจึงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในขณะที่ความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในแผนภูมิอากาศชื้น ในรูปที่ 2.3

การทำงานของระบบ Indirect evaporative cooling เมื่อ Primary air เคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในมีระบบพ่นฝอยน้ำและ Secondary air ไหลผ่าน น้ำภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะระเหยและ Secondary air จะเย็นลงและแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Primary air (Sensible heat) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ Primary air เย็นลงซึ่งข้อดีของระบบ Indirect evaporative cooling คือสามารถลดอุณหภูมิอากาศโดยไม่เพิ่มความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งสองระบบแล้ว ระบบ Direct evaporative cooling จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่ระบบ Indirect evaporative cooling จะได้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า



รูปที่ 2.3 พฤติกรรมการทำความเย็นแบบ Direct/Indirect Evaporative cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น

2.1.2 ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ

ระบบทำความเย็นแบบ Direct evaporative cooling สมรรถนะหรือประสิทธิภาพของระบบสามารถดูได้ตั้งแผนภูมิอากาศชื้น โดยลากเส้นในแผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric chart) จากจุดอากาศเข้า(อากาศภายนอก) ลากไปตามเส้นเอนทาลปีคงที่ (Adiabatic) หรือตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ไปจนถึงจุดความชื้นสัมพัทธ์ 100% จะหาประสิทธิภาพได้ 100% แต่ในการใช้งานจริง อากาศที่ผ่าน Wetted media ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ใช่ 100% ดังนั้น ประสิทธิภาพของระบบ Direct evaporative cooling แสดงดังสมการที่ 2.1

$$efficiency(\%) = \frac{T_{db,1} - T_{db,2}}{T_{db,1} - T_{wb,1}} \quad (2.1)$$

ดังนั้น ความสามารถในการลดอุณหภูมิของระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ แสดงดังสมการที่ 2.2

$$T_{supply} = T_{db,1} - (T_{db,1} - T_{wb,1}) \times efficiency \quad (2.2)$$

โดยที่ $T_{db,2}, T_{supply}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านแผงลดอุณหภูมิ (°C)
 $T_{db,1}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านแผงลดอุณหภูมิ (°C)
 $T_{wb,1}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ (°C)

สามารถแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศ ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ณ สภาวะอุณหภูมิอากาศต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการลดอุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ

INDOOR TEMPERATURE									
RELATIVE HUMIDITY									
INDOOR TEMPERATURE	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
10°C	4.0	4.5	5.5	6.0	7.0	7.5	8.0	9.0	9.5
15°C	7.5	8.5	9.5	10.5	11.0	12.0	13.0	13.5	14.0
20°C	11.0	12.0	13.0	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.0
25°C	14.5	16.0	17.0	18.5	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
30°C	17.5	19.5	21.0	22.5	24.0	25.0	26.5	28.0	29.0
35°C	-	23.0	25.0	26.5	28.5	30.0	31.5	32.5	34.0
40°C	-	26.5	29.0	31.0	32.5	34.5	36.0	37.5	39.0
45°C	-	-	32.5	35.0	37.0	39.0	40.5	42.0	44.0
50°C	-	-	36.5	39.0	41.0	43.5	45.0	47.0	48.5

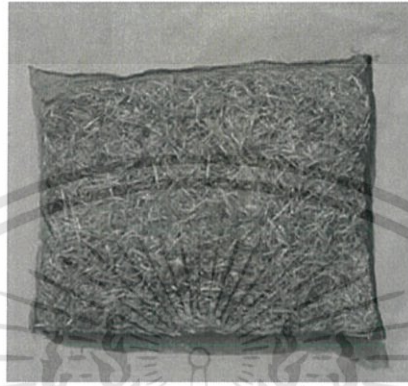
จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.2 พบว่าสภาวะที่แผงลดอุณหภูมิสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้มากที่สุดคือในช่วงสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกก่อนผ่านแผงลดอุณหภูมิมียุคค่าความชื้นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับค่าของอุณหภูมิของอากาศภายนอกที่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลงจะทำให้อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนของแผงลดอุณหภูมิของอากาศดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านแผงลดอุณหภูมิของอากาศลดลงมากขึ้น

2.1.3 แผ่นทำความเย็น (Cooling Pads)

ระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำสามารถแบ่งวัสดุระเหยน้ำได้ 2 ประเภทคือ

(1) Fiber pad

ส่วนใหญ่ผลิตจากไม้ aspen นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆบรรจุในถุงตาข่ายเคลือบสารเพิ่มความเปียก (wettability additives) ราคาและประสิทธิภาพของวัสดุระเหยน้ำ fiber pad จะขึ้นอยู่กับขนาด และความหนาของวัสดุ โดยทั่วไปจะมีความหนา 2.5 ถึง 5 เซนติเมตร ข้อเสียของวัสดุระเหยน้ำชนิดนี้คือเกิดเชื้อราได้ง่าย และยากต่อการบำรุงรักษาจึงไม่เป็นที่นิยม



รูปที่ 2.4 fiber pad จากไม้ aspen

(2) Rigid cellulose pad

ผลิตจากเยื่อกระดาษชนิดพิเศษ (Special High Cellulose Material) มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำ และอุ้มน้ำได้ดี (Highly Absorbent) ผ่านการเคลือบสารเคมีให้มีคุณสมบัติแข็งแรง ไม่เปื่อยยุ่ยง่าย คงทนต่อการย่อยสลาย และทนต่อการเกิดเชื้อรา การนำมาใช้งานจะผ่านการขึ้นรูปเป็นลอน กำหนดมุมไหลผ่านของน้ำและมุมไหลผ่านของอากาศ และรวมเป็นแผ่นให้มีความหนาเชื่อมต่อกัน ซึ่งมุมที่กำหนดจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการทำความเย็น ปกติวัสดุระเหยน้ำชนิดนี้จะมีความหนาตั้งแต่ 15 ถึง 30 เซนติเมตร ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการระเหยน้ำได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity) อุณหภูมิของอากาศ และพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ

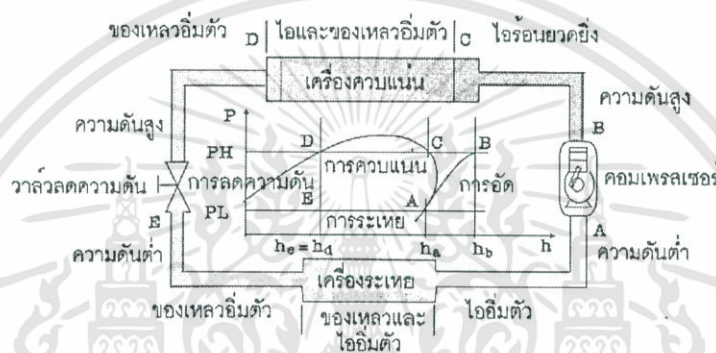


รูปที่ 2.5 Rigid cellulose pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี

วัฏจักรการทำความเย็นทางทฤษฎีเป็นวัฏจักรอย่างง่าย โดยสมมุติว่าไอสารทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องระเหยและเข้าสู่เครื่องอัดไอต้องเป็นไออิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันการกลายเป็นไอ ส่วนสารทำความเย็นเหลวที่ออกจากเครื่องควบแน่นก่อนจะเข้าสู่อุปกรณ์ลดความดัน เป็นของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันควบแน่น การศึกษาวัฏจักรการทำความเย็นในทางทฤษฎีจึงมีความสำคัญ ใช้เป็นพื้นฐานที่จะทำความเข้าใจระบบจริง นอกจากนี้ยังใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงให้กับวัฏจักรจริง



รูปที่ 2.6 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี

2.2.1 กระบวนการอัดไอ

เครื่องอัดไอ (Compressor) จะทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหย ซึ่งสารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนในขณะที่ระเหยในเครื่องระเหย (Evaporator) และสารทำความเย็นจะถูกอัดด้วยเครื่องอัดไอให้ มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ไอของสารทำความเย็นจะอยู่ในสภาพไอร้อนยิ่งยวด (Super Heated Compress Gas) จากนั้นเครื่องอัดไอจะจ่ายไอสารทำความเย็นเข้าไปสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ต่อไป กำลังงานที่เกิดจากการอัดไอของเครื่องอัดไอกระทำต่อสารทำความเย็น แสดงดังสมการที่ 2.3

$$W_{comp} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (2.3)$$

โดยที่	W_{comp}	คือ กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ (kW)
	h_1	คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
	h_2	คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
	\dot{m}	คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

2.2.2 กระบวนการควบแน่น

หลักการพื้นฐานการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องควบแน่นคือ การลดปริมาณไอของสารทำความเย็นลงแล้วทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว นั่นคือการถ่ายโอนความร้อน ออกจากระบบ แสดงดังสมการที่ 2.4

$$Q_{out,cond} = Q_{in,evap} + W_{comp} \quad (2.4)$$

สารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอและถูกอัดให้มีความร้อนสูงขึ้นในเครื่องอัดไอจนมีความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้น สารทำความเย็นจะถูกระบายความร้อนออกที่เครื่องควบแน่น ความร้อนจะถูกระบาย ออกสู่บรรยากาศ สารทำความเย็นที่เป็นไอซูเปอร์ฮีทจะค่อยๆเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวใน เครื่องควบแน่น ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนออกสู่บรรยากาศ หรือพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในกระบวนการควบแน่น แสดงดังสมการที่ 2.5

$$Q_{cond} = \dot{m} \times (h_2 - h_3) = 0.0204 \times \text{CMM} \times (h_s - h_r) \quad (2.5)$$

โดยที่ Q_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการควบแน่น (kW)
 h_2 คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางเข้าคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)
 h_3 คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางออกคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)
CMM คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/min)
 h_r คือ เอนทาลปีอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (kJ/kg_{dry air})
 h_s คือ เอนทาลปีอากาศหลังออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg_{dry air})

2.2.3 กระบวนการลดความดัน

กระบวนการลดความดัน โดยวัฏจักรการทำความเย็นทางทฤษฎีถือเอาว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของสารทำความเย็นเหลว ตลอดช่วงที่ไหลผ่านท่อนำสารทำความเย็นจากเครื่องควบแน่นไปสู่วาล์วลดความดัน ดังนั้นค่าเอนทาลปีที่ทางเข้าวาล์วลดความดันจึงเท่ากับ ค่าเอนทาลปีที่ทางออกวาล์วลดความดัน อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เป็นอุปกรณ์ลดความดัน โดยจะทำหน้าที่ควบคุมสารทำความเย็นให้ไหลผ่านไปในอัตราที่ พอเหมาะ สารทำความเย็นจะกลายเป็นแก๊สในเครื่องระเหย (Evaporator) อุปกรณ์ลดความดันเป็น อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความดัน เพื่อมิให้สารทำความเย็นซึ่งเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอมีความดัน มากเกินไป เพื่อป้องกันการระเบิด ในทางทฤษฎีอุปกรณ์นี้จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนเลย อุปกรณ์ลด ความดันสามารถแบ่งตามวิธีการปรับความดันเป็น 2 แบบ คือ แบบอัตรา

การไหลไม่คงที่ โดยจะใช้ท่อทองแดงขนาดเล็ก และแบบอัตราการไหลแปรเปลี่ยน ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลเพื่อให้เหมาะสมกับ ความดันและการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็น

2.2.4 กระบวนการระเหย

อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการระเหยคือ เครื่องระเหย (Evaporator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างสารทำความเย็นกับภาระความร้อนในระบบ โดยความร้อนในระบบจะทำให้สารทำความเย็นในสถานะของเหลวเดือดกลายเป็นไอที่ความดันต่ำแล้วส่งผ่านไปยังด้านดูดของเครื่องอัดไอ ต่อไปโดยพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในกระบวนการระเหย แสดงดังสมการที่ 2.6

$$Q_{evap} = \dot{m} \times (h_1 - h_4) = 0.0204 \times \text{CMM} \times (h_r - h_s) \quad (2.6)$$

โดยที่

Q_{evap} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการระเหย (kW)

h_1 คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางออกอีวาพอเรเตอร์ (kJ/kg)

h_4 คือ เอนทาลปีสารทำความเย็นที่ทางเข้าอีวาพอเรเตอร์ (kJ/kg)

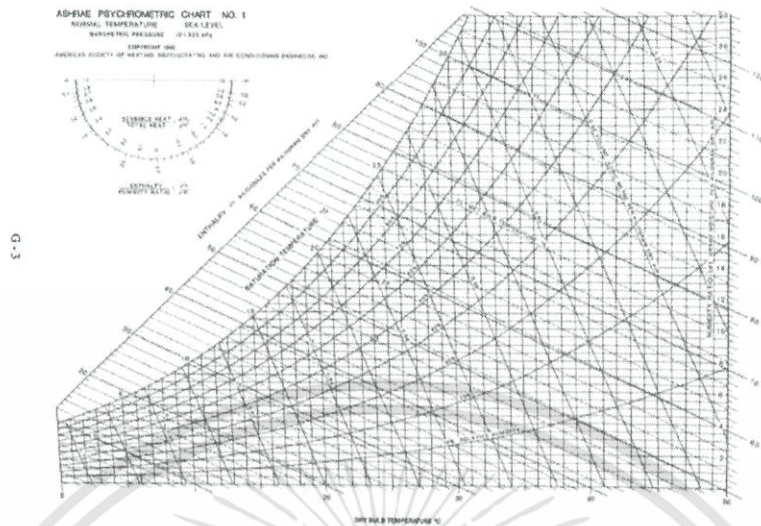
CMM คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/min)

h_r คือ เอนทาลปีอากาศหลังออกจากอีวาพอเรเตอร์ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

h_s คือ เอนทาลปีอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

2.3 แผนภูมิวัดสถานะน้ำสลาย (Psychrometric Chart)

ไซโครเมทริกส์ (Psychrometrics) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสมก๊าซและไอ (gas-vapor mixtures) ในงานด้านการแปรรูปอาหาร จะใช้ระบบของอากาศและไอน้ำ (air-water vapor system) หรืออากาศชื้น (moist air) ซึ่งเป็นของผสมระหว่างอากาศแห้งและไอน้ำ การเข้าใจวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางไซโครเมทริกส์จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการแปรรูปรวมทั้งระบบการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ความรู้ในเรื่องของคุณสมบัติของผสมอากาศ-ไอน้ำยังมีความสำคัญ ต่อการออกแบบระบบของเครื่องทำความเย็นสำหรับการเก็บผัก-ผลไม้สด เครื่องอบแห้งสำหรับอบเมล็ดธัญพืชและหอทำความเย็น (cooling tower) ในโรงงานแปรรูปอาหาร เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมอากาศ-น้ำ

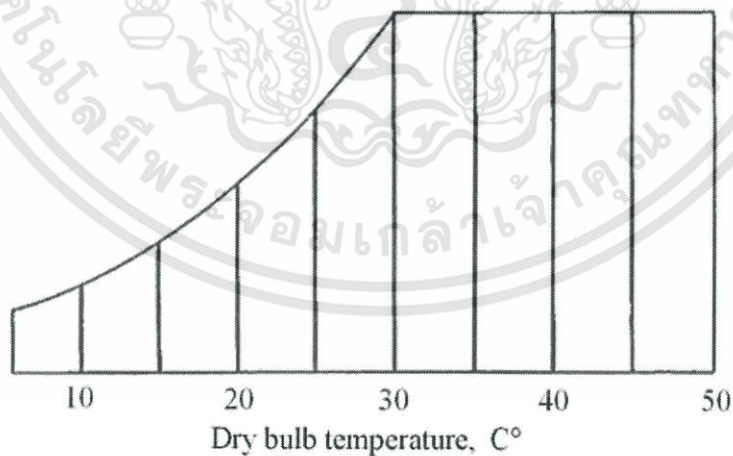


รูปที่ 2.7 Psychrometric Chart

2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศในแผนภูมิวัดสภาวะน่าสบาย

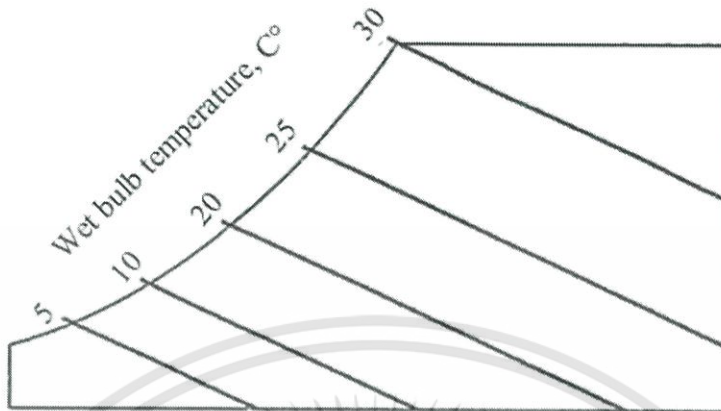
Psychrometric Chart ประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของอากาศ ดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) หรือ DBT, T_d เป็นอุณหภูมิของอากาศที่วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาทั่วไป



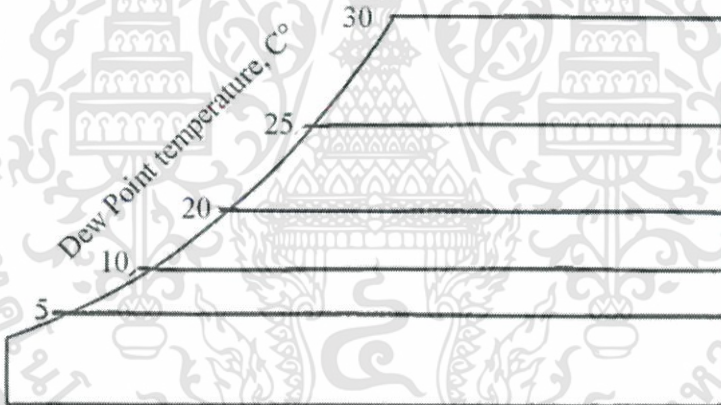
รูปที่ 2.8 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature line)

(2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) หรือ WBT, T_w เป็นอุณหภูมิของอากาศที่วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา ซึ่งกระเปาะของหลอดแก้วถูกหุ้มด้วยผ้าเปียก



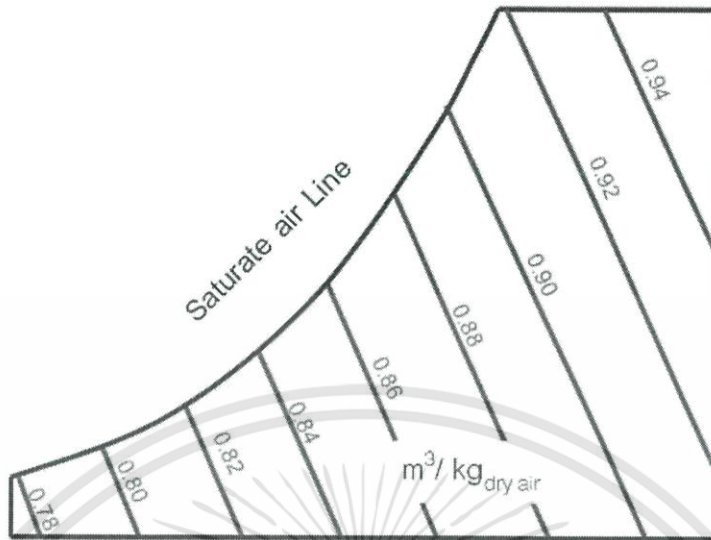
รูปที่ 2.9 แสดงเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature line)

(3) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (dew point) หรือ DP คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนจุดกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของไอน้ำในอากาศ และกำลังดันของตัวเอง



รูปที่ 2.10 แสดงเส้นอุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew point temperature line)

(4) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (specific volume) หรือ SV, V คือปริมาณต่อมวลซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้รับน้ำได้มากขึ้น



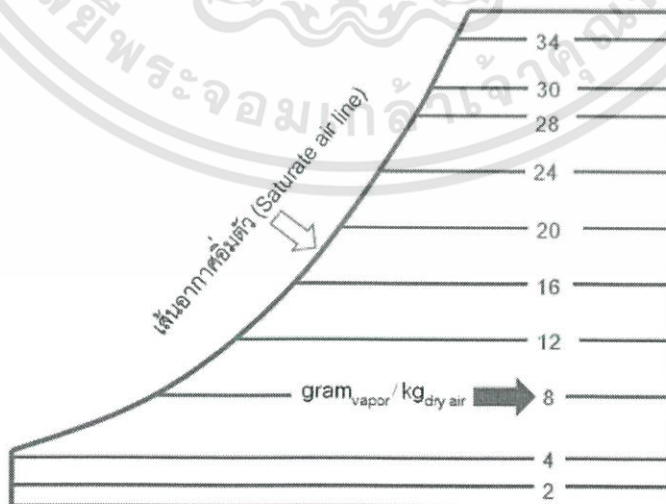
รูปที่ 2.11 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume line)

(5) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หรือ w คือปริมาณน้ำที่อยู่ในอากาศเป็นปริมาณของไอน้ำโดยมวล ต่อปริมาณของอากาศโดยมวล ในปริมาตรใดๆ ที่อุณหภูมิใดๆ ค่าความชื้นสัมบูรณ์แสดงดังสมการที่ 2.7

$$w = 0.622 \frac{P_w}{P_{atm} - P_w} \quad (2.7)$$

โดยที่

- w คือ อัตราส่วนความชื้น
- P_w คือ ความดันไอน้ำ (kN/m^2), $P_{ws} \times \%RH$
- P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (kN/m^2), 101.325 kN/m^2

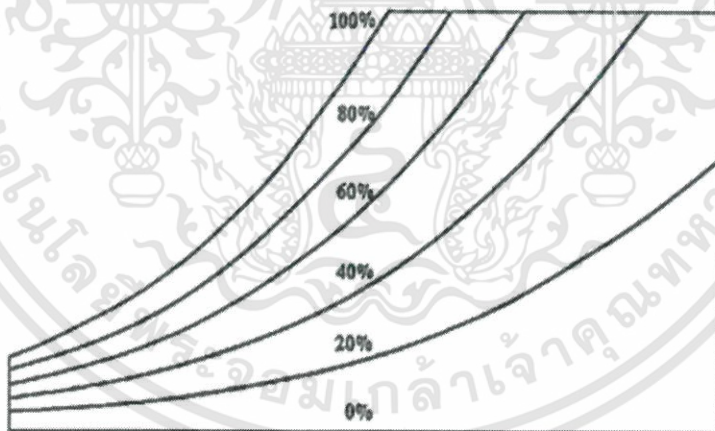


รูปที่ 2.12 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้นของอากาศ (Humidity Ratio line)

(6) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หรือ RH คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณไอน้ำมากที่สุดที่อากาศจะสามารถอุ้มได้ หากอากาศหนึ่งมีความชื้นสัมบูรณ์เต็มทีหมายความว่าอากาศนั้นได้อิ่มตัว (saturated) และไม่สามารถรับไอน้ำไว้ได้อีกต่อไป ค่าความชื้นสัมพัทธ์ แสดงดังสมการที่ 2.8

$$RH = \frac{e_w - A \times P \times \Delta t}{e_d} \quad (2.8)$$

โดยที่	RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
	e_w	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวเนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียก , $6.112 \times e^{17.502 \times T_w / 240.97 + T_w}$
	e_d	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวเนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะแห้ง , $6.112 \times e^{17.502 \times T_d / 240.97 + T_d}$
	A	คือ สัมประสิทธิ์ความชื้น (The measuring humidity coefficient) , $0.00066 \times (1 + 0.00115 \times T_w)$
	P	คือ ความดันบรรยากาศเฉลี่ย, 101,325 Pa
	Δt	คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

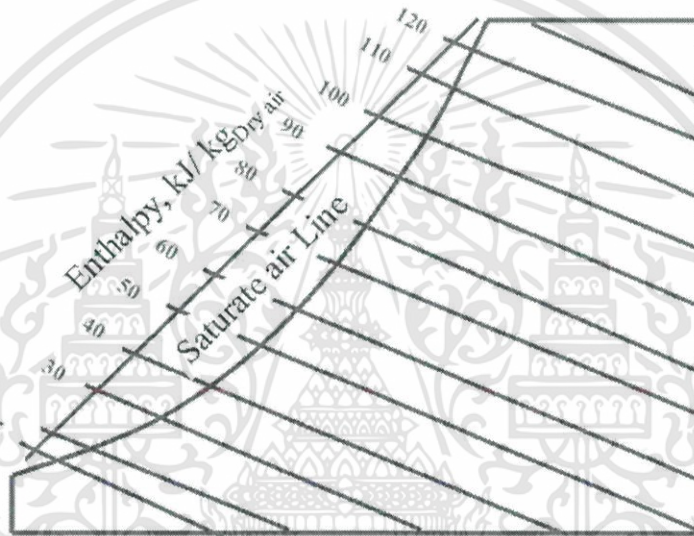


รูปที่ 2.13 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity line)

(7) เอนทัลปี (enthalpy) หรือ H, h คือค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ และความชื้นในแผนภูมิสถานะนำสบายแกนเอนทัลปีซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ในอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีค่าเอนทัลปีสูงกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันอากาศที่มีความชื้นสูงกว่าจะมีค่าเอนทัลปีสูงกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากอากาศต้องการความร้อนมากกว่าที่จะทำให้ความชื้นกลายเป็นไอน้ำทางกลับกันก็ต้องการพลังงานมากขึ้น เพื่อลดปริมาณความชื้นให้ต่ำลง และเย็นลง ค่าเอนทัลปี แสดงดังสมการที่ 2.9

$$h = c_p t + w h_{g0} \quad (2.9)$$

โดยที่	h	คือ เอนทัลปี (kJ/kg)
	c_p	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg°C), $c_p = 1 + W1.86$
	t	คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (°C)
	w	คือ อัตราส่วนความชื้น
	h_{g0}	คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว ณ จุด 0 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 0 องศาเซลเซียส (kJ/kg _w), 2501 kJ/kg _w



รูปที่ 2.14 แสดงเส้นเอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy line)

2.3.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก

ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้เรามองการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นและสามารถนำมาคิดคำนวณหาพลังงานและทำให้เรารู้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องใช้สูตรในการคำนวณให้ยุ่งยากโดยที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นเราสามารถพิจารณาด้วยไซโครเมตริกชาร์ตได้ดังนี้

(1) กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน (Heating and Cooling Process)

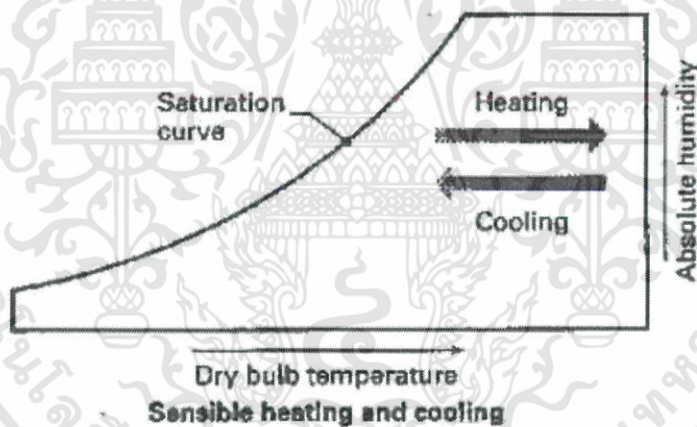
- กระบวนการเพิ่มความร้อน (Heating Process)

คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการหรือจากการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง ความร้อนของอากาศจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่สถานะความดันคงที่ ตัวอย่างเมื่อเราให้ความร้อนกับ

อากาศที่ความดันคงที่ อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศเพิ่มขึ้นหรืออากาศมีน้ำหนักเบาขึ้นเพราะอากาศเกิดการขยายตัว ในขณะที่ไอน้ำในอากาศมีเท่าเดิม และค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเพราะอากาศสามารถรองรับไอน้ำที่ปะปนอยู่ได้เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 14 สำหรับกระบวนการนี้ส่วนใหญ่ก็จะเป็นกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นกับวัสดุหรือพืชผลทางการเกษตรต่าง ๆ สำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะเป็นความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) หรือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของกระบวนการให้ความร้อน (Heating) ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นในแนวขนานกับแกนอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Tdb) ในทิศทางห่างออกไปจากเส้นอากาศอิ่มตัวดังรูปที่ 2.12

- กระบวนการลดความร้อน (Cooling Process)

คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการนั้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลงที่ความดันคงที่ เช่น ในระบบการปรับอากาศ เมื่อเราเริ่มต้นเปิดเครื่องปรับอากาศก็จะทำให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศค่อย ๆ ลดลงที่ความดันคงที่ และผลจากกระบวนการนี้ก็จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะลดลง หรืออากาศมีความหนาแน่นขึ้นและจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะทิศทางการลด และเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ

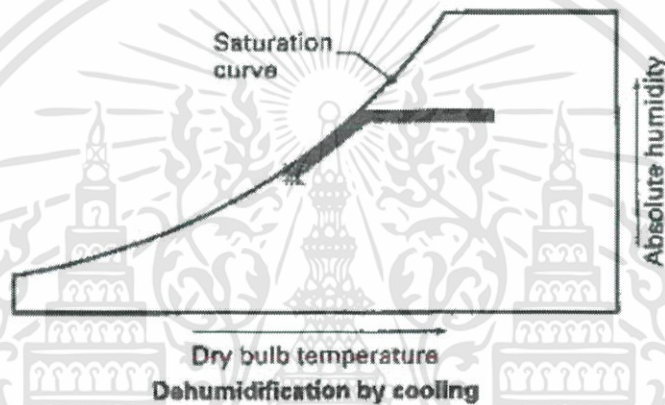
(2) กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification Process)

ได้มีการกล่าวถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของความชื้นตั้งแต่ตอนแรก ๆ ของบทความนี้แล้ว เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าที่สภาวะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการควบคุมสภาวะอากาศให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่อุณหภูมิเท่านี้เราสามารถที่จะทำได้โดยวิธีการดังนี้คือ

- การลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิ (Dehumidification by Cooling)

คือการลดอุณหภูมิของอากาศ ณ จุดที่เป็นจุดลดความชื้นให้ลดลงจนถึงจุดน้ำค้าง (Tdp)

ของอากาศ ตัวอย่างที่เราสามารถเห็นได้ก็คือในห้องที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก เราจะเห็นว่าที่ด้านล่างของคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีถาดรองน้ำรองอยู่ซึ่งเป็นที่รองไอน้ำที่ควบแน่นจากการกลั่นตัวนั่นเอง โดยหลักการทำงานง่ายก็คือสมมติในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังนั้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 13.8 เซลเซียส และที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิประมาณ 7 เซลเซียส ดังนั้นเมื่ออากาศถูกดูดเข้าไกล์คอล์ยเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศดังกล่าวและเมื่อที่จุดดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศจึงทำให้ความชื้นในอากาศเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ ทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศลดลง สำหรับการลดความชื้นด้วยการลดอุณหภูมินั้นจะแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ

- การลดความชื้นโดยวิธีการดูดซึมความชื้น (Dehumiditification by Absorption)

การลดความชื้นแบบนี้เป็นการใช้วัสดุดูดซึมความชื้น (Absorption Material) เช่น ซิลิกาเจล เป็นตัวลดความชื้นออกจากอากาศ การลดความชื้นวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องลดอุณหภูมิ เมื่อเรานำวัสดุดูดความชื้นมาวาง วัสดุดูดความชื้นก็จะดูดไอน้ำหรือความชื้นในอากาศออกจากอากาศในระบบนั้น เป็นผลให้ความชื้นในอากาศลดลงโดยที่อุณหภูมิของอากาศคงที่

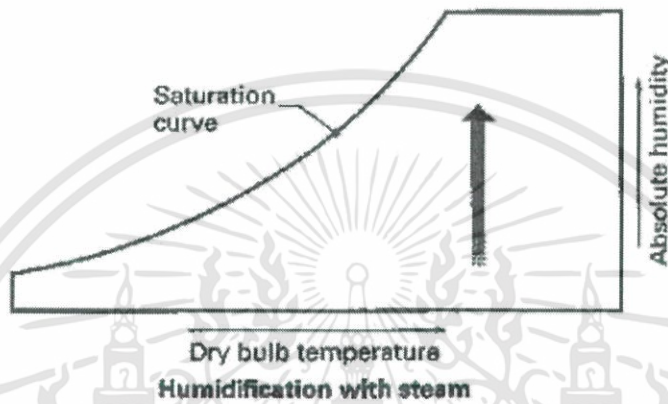
(3) กระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidity Process)

ในกรณีที่สภาวะอากาศรอบ ๆ ระบบนั้นมีความชื้นน้อยแต่เราต้องการให้มีความชื้นมากภายในระบบ เช่น ในระบบปรับอากาศในเมืองหนาวที่ใช้ฮีทเตอร์เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแต่ความชื้นของระบบยังไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับระบบซึ่งวิธีการส่วนใหญ่ที่ทำกันคือ

- การเพิ่มความชื้นโดยการเติมไอน้ำเข้าสู่ระบบ (Humidification by Steam)

เมื่อเราเติมไอน้ำเข้าไปปะปนในอากาศ ไอน้ำก็จะเจือปนอยู่กับอากาศในระบบทำให้ภายใน

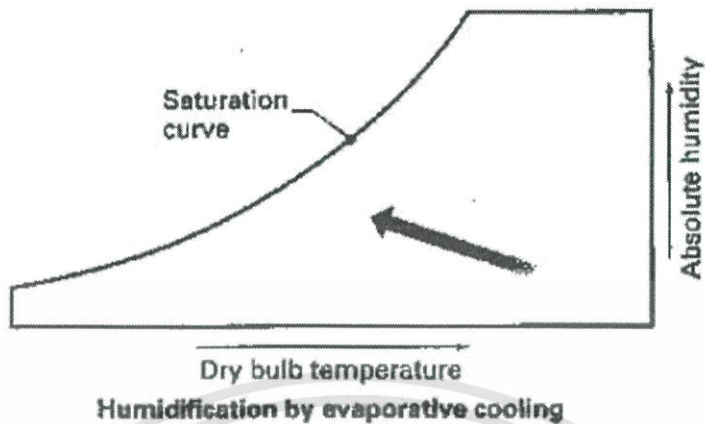
ระบบดังกล่าวมีความชื้นมากขึ้นตามที่ต้องการ สำหรับในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะแสดงดังรูปที่ 2.14 โดยที่กระบวนการจะเริ่มที่อุณหภูมิเริ่มต้นและเมื่อไอน้ำค่อย ๆ เข้าไปในระบบแล้วความชื้นในระบบจะค่อย ๆ เพิ่มโดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งยังคงที่ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนไปคือค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะเปียกดังรูป เราจะสังเกตได้ว่าเมื่อเราเพิ่มความชื้นเข้าไปในระบบเรื่อย ๆ ค่าตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนตามคือค่าอัตราส่วนความชื้นที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามวลของไอน้ำที่เราเติมเข้าไบนั้นมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะการเพิ่มความชื้นโดยการเติมไอน้ำเข้าสู่ระบบ

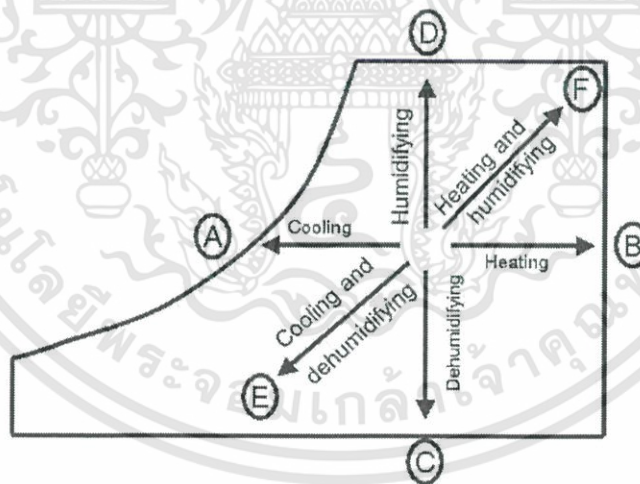
- การเพิ่มความชื้นโดยการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย (Humidification by Evaporative Cooling)

คือการเพิ่มความชื้นในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิไปในเวลาเดียวกันตัวอย่างของกระบวนการนี้ให้เรานึกถึงพัดลมแบบที่มีช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ด้านหน้าของใบพัด สมมติว่าเราเอาพัดลมตัวนี้ไปวางไว้ในห้องเมื่อพัดลมเริ่มทำงานพัดลมก็จะเป่าทำให้น้ำแข็งระเหยกลายเป็นไอเย็นออกมาทำให้อุณหภูมิรอบ ๆ พัดลมนั้นค่อย ๆ เย็นลง แต่ขณะเดียวกันนั้นปริมาณไอน้ำที่เกิดจากการระเหยก็จะค่อย ๆ มากขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อย ๆ มากขึ้น ๆ ไปด้วย สำหรับกระบวนการในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นไปและมีทิศทางดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการเพิ่มความชื้นโดยการลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหย

จากที่กล่าวในเรื่องของกระบวนการต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่กล่าวมาในข้างต้นพอจะสรุปกระบวนการต่าง ๆ ในรูปของแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังรูปที่ 2.16 ในการพิจารณาทิศทางของกระบวนการต่าง ๆ นั้น ให้เราพลอตที่จุดแรกของสภาวะอากาศลงในแผนภูมิไซโครเมตริก จากนั้นเราก็พลอตค่าสภาวะอากาศจุดที่สองลงในแผนภูมิไซโครเมตริก เมื่อเราได้จุดทั้งสองจุดแล้วก็จากเส้นจากจุดแรกไปยังจุดที่สอง จากนั้นเราก็ได้เส้นของกระบวนการที่เกิดขึ้นและสามารถพิจารณาได้ว่ากระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการใด



รูปที่ 2.19 สรุปกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของอากาศ

2.4 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น หรือระบบปรับอากาศ

2.4.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็น (COP : Coefficient of Performance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนซึ่งสารทำความเย็นสามารถดูดซับได้ที่เครื่องระเหย ต่อพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ แสดงดังสมการที่ 2.10

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (2.10)$$

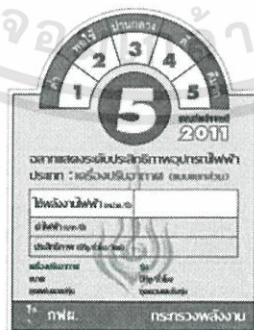
โดยที่ Q_{evap} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการระเหย (kW)
 W_{comp} คือ กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ (kW)

2.4.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER : Energy Efficiency Ratio)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของเครื่องปรับอากาศ คือ ขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งก็คือปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศถ่ายเทออกจากห้องนั่นเอง ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องอัดไอ พัดลม ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็น Input ของเครื่องปรับอากาศ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศจึงคิดจากผลลัพธ์และ Input ดังกล่าว คือประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เรียกว่า Energy Efficiency Ratio (EER) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน แสดงดังสมการที่ 2.11

$$EER = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = COP \times 3.412 \quad (2.11)$$

โดยที่ Q_{evap} คือ งานที่เครื่องระเหยสามารถทำได้ (BTU/hr)
 W_{comp} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็น (W)



รูปที่ 2.20 ฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า ประเภทเครื่องปรับอากาศ(แบบแยกส่วน)

ตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า

ระดับประสิทธิภาพ		ประสิทธิภาพ (EER)
ระดับ 5	ดีมาก	10.6 ขึ้นไป
ระดับ 4	ดี	9.6 – 10.6
ระดับ 3	ปานกลาง	8.6 – 9.6
ระดับ 2	พอใช้	7.6 – 8.6
ระดับ 1	ต่ำ	ต่ำกว่า 7.6

2.5 การออกแบบขนาดเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยสูบน้ำหรือทำให้น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ปัจจุบันเครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นสำหรับบ้านพักอาศัยโดยเฉพาะอาคารชุดหรืออาคารที่มีความสูงหลายชั้น เครื่องสูบน้ำทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ จะช่วยให้ทราบถึงแนวทางในการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำอย่างถูกวิธีจะทำให้ประหยัดน้ำและไฟฟ้า

2.5.1 เฮด (Head)

การเข้าใจถึงพลังงานของของไหลเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์การทำงานและการกำหนดขนาดของปั๊ม พลังงานของของไหลประกอบด้วยพลังงานสามส่วนคือ พลังงานเนื่องจากความดันของของไหล พลังงานจลน์เนื่องจากความเร็วของของไหล และพลังงานศักย์เนื่องจากความสูง พลังงานทั้งสามส่วนนี้จะมีหน่วยในการคำนวณเป็นหน่วย จูล (J)

(1) เฮดความดัน (Pressure Head, H_p)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลว นั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน H_p แสดงดังสมการที่ 2.12

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad (2.12)$$

โดยที่ H_p คือ เฮดความดัน (m)

P	คือ ความดัน (N/m ²)
γ	คือ น้ำหนักจำเพาะ (N/m ³)
ρ	คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m ³)
g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s ²)

(2) เสดความเร็ว (Velocity Head, H_v)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใดๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเสดความเร็วเสดความเร็วอาจให้คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก จนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลว นั้น เสดความเร็วแสดงดังสมการที่ 2.13

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad (2.13)$$

โดยที่ H_v คือ เสดความเร็ว (m)
V คือ ความเร็วของการไหล (m/s)

(3) เสดสถิตย์ (Potential Head หรือ Total Static Head, Z)

เสดสถิตย์ คือระยะทางตามแนวตั้งของของเหลวที่ไหลผ่านท่อหรือทางน้ำเปิดซึ่งมีพลังงานศักย์อยู่ภายใน

(4) เสดการสูญเสียรวม (Total Head Loss, H_L)

Osborne Reynolds วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองเพื่อแบ่งรูปแบบการไหลของของไหล โดยกำหนดตามอัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อแรงหนืด (หรือแรงที่เกิดเนื่องจากความฝืดของของไหล) และเรียกอัตราส่วนของแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนี้ว่า ค่าเรย์โนลด์ (Re) คำนวณหาได้ดังสมการที่ 2.14

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.14)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วการไหลในท่อ (m/s)
D คือ ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 ρ คือ ความหนาแน่นของไหล (kg/m³)
 μ คือ ความหนืดสมบูรณ์ (N.s/m²)

U คือ ความหนืดจลน์ (m^2/s)

ถ้าค่า	Re	≤ 2000	ถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ
	Re	≥ 4000	ถือว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน
	2000	$\leq Re \leq 4000$	ถือว่าเป็นการไหลที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลง

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งทางด้านจุดและด้านจ่าย พลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังภายในของท่อ และพลังงานหรือเฮดในการไหลอีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์เมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ผลรวมของการสูญเสียพลังงานหรือเฮดทั้งสองส่วนนี้รวมเรียกว่าเฮดการสูญเสียรวม

- การเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก

เมื่อของเหลวไหลภายในท่อจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับของเหลว ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความดันสูญเสียของของเหลวภายในท่อ การสูญเสียพลังงานในลักษณะนี้เรียกว่าการเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก (Major Losses) โดยสามารถคำนวณได้จากวิธีคำนวณของ Darcy – Weisbach

$$H_{Lf} = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.15)$$

โดยที่	H_{Lf}	คือ เฮดของการสูญเสียเนื่องจากความฝืดหรือเฮดการสูญเสียหลัก (m)
	f	คือ ตัวประกอบความเสียดทาน
	L	คือ ความยาวท่อ (m)
	D	คือ ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
	V	คือ ความเร็วของการไหล (m/s)

- การเสียเฮดเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ หรือการสูญเสียรอง

ในระบบท่อ จำเป็นต้องมีส่วนประกอบจำพวก ข้องอ ข้อต่อ ข้อลด ข้อขยาย และวาล์วชนิดต่างๆ การไหลของของเหลวผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการไหล การสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบท่อดังกล่าวเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียรอง (Minor Losses) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.16

$$H_{Le} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.16)$$

โดยที่	H_{Le}	คือ การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ หรือการสูญเสียรอง (m)
	K	คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์ไม่มีหน่วย

V คือ ความเร็วของการไหล (m/s)

การสูญเสียพลังงานทั้งหมดในการไหลของของไหลประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากความฝืดหรือการสูญเสียหลัก และการสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง ดังแสดงในสมการ 2.17

$$H_L = H_{Lf} + H_{Le} \quad (2.17)$$

2.5.2 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation)

ในศตวรรษที่ 18 Daniel Bernoulli ได้เสนอสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure ,velocity และระยะทางที่วัดตามแนวตั้ง ซึ่งต่อมาเรียกสมการนี้ว่า Bernoulli Equation ในกรณีสมการ Bernoulli จะมีสมมติฐานว่า properties ต่างๆ อันได้แก่ ρ , V , P และ A มีค่าแปรตามระยะทางที่วัดตามแนวการไหล (Stream Line) ใช้สำหรับการหาอัตราการไหล โดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลต่างๆ เช่น พิทอตทิวิบ, ออริฟิต, เวนทูรี เป็นต้น ความดันสถิตหาได้โดย เจาะรูที่ผิวของท่อ จากนั้นวัดความดัน ความดันไดนามิก หาได้จากความดันที่เกิดจากการใส่ท่อขนาดเล็กเข้าไปในท่อที่มีการไหล โดยพิจารณาว่าความเร็วของของเหลวที่ปลายท่อ $V_2 = 0$ สมการเบอร์นูลลีแสดงดังสมการที่ 2.18

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{1}{2} \frac{V_1^2}{g} + TDH = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{1}{2} \frac{V_2^2}{g} + H_L \quad (2.18)$$

โดยที่ TDH คือ Total Dynamic Head (m)

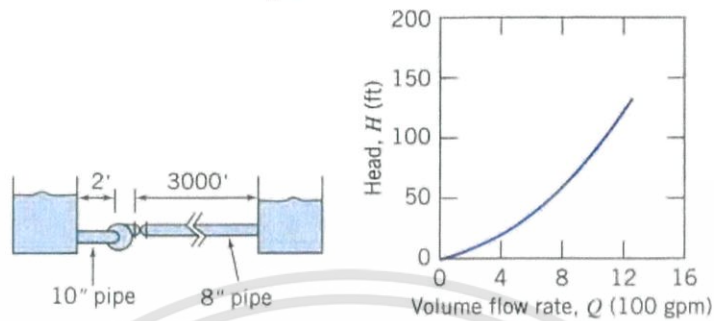
2.5.3 กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve)

กราฟเฮดของระบบ คือ กราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบกับเฮดรวม ของระบบซึ่งเฮดรวมก็คือพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหลนั้น โดยพลังงานที่ปั๊มจะต้องให้ มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานสองอย่างด้วยกัน คือ ความต่างระดับของของเหลวที่ปลายของท่อดูดหรือท่อจ่ายหรือเฮดสถิต และพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อจากการไหลผ่านอุปกรณ์ประกอบระบบท่อหรือคำนวณได้จากสมการเบอร์นูลลี แสดงดังสมการที่ 2.19

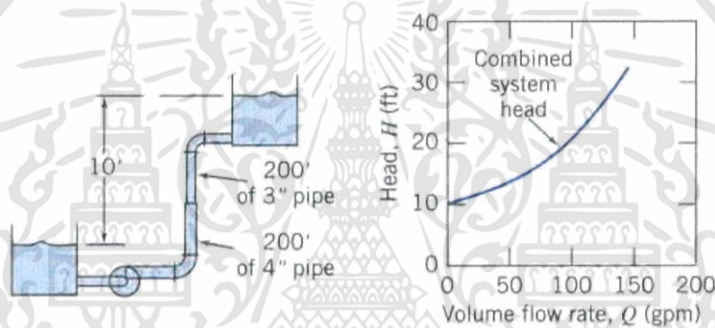
$$TDH = H_p + H_v + Z + H_L \quad (2.19)$$

โดยที่
TDH คือ เฮดของระบบ (m)
 H_p คือ เฮดความดัน (m)
 H_v คือ เฮดความเร็ว (m)

Z คือ เฮดสถิตย (m)
 H_L คือ เฮดการสูญเสียรวม (m)



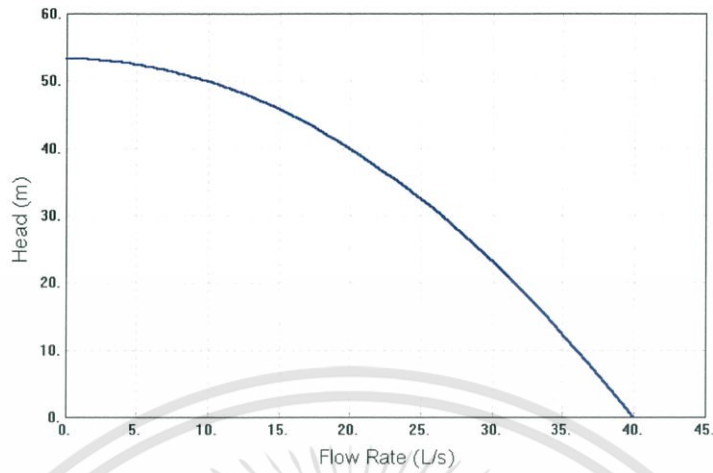
รูปที่ 2.21 กราฟเฮดของระบบท่อเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง



รูปที่ 2.22 กราฟเฮดของระบบท่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง

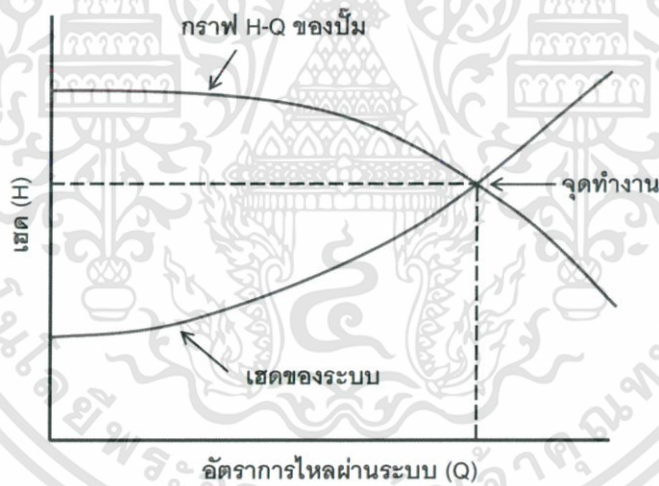
2.5.4 กราฟเฮดของปั๊ม (Pump Curve)

ในการเลือกใช้ปั๊มให้เหมาะกับสภาพการใช้งานจริง นอกจากพิจารณาถึงเฮดของระบบแล้ว ยังต้องพิจารณากราฟเฮด (หรือกราฟ H-Q) ของปั๊มด้วย กราฟเฮดของปั๊มเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบของปั๊มหรืออัตราการไหลกับเฮด ตั้งแต่อัตราการไหลศูนย์ถึงอัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม กราฟเฮดของปั๊มสามารถหาได้จากบริษัทผู้ผลิตปั๊ม กราฟเฮดยังสามารถหาได้จากการทดลอง โดยการนำอัตราการไหลของปั๊มมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลต่างเฮดความดันตรงทางออกและตรงทางเข้าของปั๊มที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 2.23 กราฟคุณลักษณะ (กราฟเฮดหรือกราฟ H-Q) ของปั๊ม

เมื่อนำกราฟเฮดของระบบและกราฟเฮดของปั๊มมาเขียนร่วมกันดังรูปที่ 6.18 พบว่าเส้นกราฟทั้งสองตัดกันที่จุดทำงาน (Operation Point) ของปั๊ม



รูปที่ 2.24 จุดทำงานของปั๊มคือจุดตัดของกราฟเฮดของระบบ และกราฟเฮดของปั๊ม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำนั้น ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยได้มีการทดลองภายในห้องที่มีการควบคุมสภาวะการทดสอบ ซึ่งพบว่า

ถวิภา ผาติดำรงกุล [2553] วิทยานิพนธ์ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ใช้การระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในช่วงการใช้งานเวลากลางวัน กลางคืน และ 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 โดยนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าซึ่งผลดังกล่าวสามารถกำหนดช่วงเวลาเครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การนำไปใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพภายใต้การใช้งานจริงนั้นต่ำกว่าผลที่ได้จากการทดลอง เนื่องมาจากอิทธิพลของภาระการทำความเย็นเป็นหลัก เครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำมีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด เมื่อมีภาระการทำความเย็นสูงในระดับหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนในช่วงฤดูกลางที่มีอุณหภูมิสูง หรือเกิดจากความร้อนสะสมตั้งแต่ต้นขณะเปิดเครื่องปรับอากาศ ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกที่ต่ำจะเอื้อให้เครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องปรับอากาศระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 13.77 ในช่วงกลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนลดได้ร้อยละ 9.71 และร้อยละ 4.16 ในช่วง 24 ชั่วโมง จากผลดังกล่าว จึงควรที่จะนำระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำไปติดตั้งร่วมกับเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนในห้องที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวันเนื่องจากห้องจะมีภาระการทำความเย็นสูงตลอดทั้งวัน ในขณะที่ ห้องที่ใช้งานเฉพาะเวลากลางคืน อาทิเช่น ห้องนอน ก็เป็นส่วนที่เหมาะสมกับระบบระเหยน้ำรองลงมา เนื่องจากมีการสะสมความร้อนสะสมจากช่วงเวลากลางวัน ในทางกลับกัน การใช้ งาน 24 ชั่วโมง เหมาะกับระบบระเหยน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากระบบแทบจะไม่ช่วยลดการใช้พลังงานในช่วง กลางคืน

กฤษณะ จารัส และมนัสพล แสงโต [2556] การศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนเครื่องควบแน่นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนเครื่องควบแน่นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยสร้างชุดเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 BTU/h ประกอบด้วย R-22 เป็นสารทำงานกำหนดอุณหภูมิในห้องที่ 24 องศาเซลเซียสเก็บผลทุกๆ 1 ชั่วโมงพบว่าที่สภาวะใช้อากาศร่วมกับน้ำฉีดแผงควบแน่นโดยตรึงระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนเครื่องควบแน่นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ดีที่สุด โดยงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการอัดไอสารทำความเย็น (Wc) ลดลง 18.13% เพล้งงานความร้อนที่ไอสารทำความเย็น (qc) ลดลง 0.28% เพล้งงานความร้อนที่ไอสารทำความเย็น (qe) เพิ่มขึ้น 0.68% สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (C.O.P.evap) เพิ่มขึ้น 15.89% สัมประสิทธิ์สมรรถนะการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (C.O.P.cond) เพิ่มขึ้น 15.07% และลดอัตราการใช้ไฟฟ้า 29.32%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ [2556] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมรรถนะและการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนของคอนเซอ์ซึ่งทำจากกระดาษเซลลูโลสเปรียบเทียบกับการใช้PVC filling โดยใช้น้ำจากอีแวพอเรเตอร์ในการหล่อเย็น พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (EER) กำลังงานที่ใช้ของระบบ และพลังงานไฟฟ้าจากการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยี่ห้อ FUJIBISHI แบบตั้งแขวน ขนาดการทำความเย็น12,000 Btu/hr ใช้สารทำความเย็น R 22 เป็นสารทำงานในระบบการทำความเย็น เครื่องปรับอากาศติดตั้งในห้องขนาด13.4 ตารางเมตร สูง 3 เมตร เปิดใช้งาน 8 ชั่วโมง (08:00-16:00 น.) ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้กระดาษเซลลูโลส เครื่องปรับอากาศสามารถระบายความร้อนได้ดี สัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ของระบบปรับอากาศเท่ากับ 5.28 และมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (EER) 14.59 กำลังงานที่ใช้ของระบบ 6.00 (kW-hr) การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากเครื่องปรับอากาศปกติร้อยละ 28.39 ส่วนการใช้ PVC fillingสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศเท่ากับ 5.13 และมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (EER) 18.01กำลังงานที่ใช้ของระบบ 6.60 (kW-hr) การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากเครื่องปรับอากาศปกติร้อยละ 21.18 การใช้PVC filling ทดแทนการใช้กระดาษเซลลูโลสจะมีข้อดีคือสามารถล้างทำความสะอาดได้มากกว่าและมีอายุการใช้งานได้นานกว่าแผ่นเซลลูโลส



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้าง และทดสอบชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ โดยมุ่งหวังให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นลดลง และประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำจึงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. วัสดุ ขนาด และความหนาของแผ่นระเหยน้ำ
2. ประเภท มุมตัด และประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแผ่นระเหยน้ำ
3. อัตราการไหลของน้ำในระบบ และปริมาณน้ำที่แผ่นระเหยต้องการ
4. ระดับค่า Ph ของน้ำในระบบที่เหมาะสม ที่ไม่ทำให้เกิดตะกรันหินปูน (Scale Forming)
5. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเดิน และหยุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยน้ำ

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ สามารถกำหนดขอบเขตในการออกแบบ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแนวทางการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ มีความสามารถและประสิทธิภาพตรงตามความต้องการและวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.1 แนวทางการออกแบบ

3.1.1 แนวทางการออกแบบ Cooling pad โครงประกอบ และฐานรับน้ำหนัก

1. ขนาดแผ่นระเหยน้ำชนิดแผ่นเซลลูโลส ความกว้างไม่เกิน 104 เซนติเมตร
2. ขนาดแผ่นเซลลูโลสชนิดแผ่นเซลลูโลส ความสูงไม่เกิน 59 เซนติเมตร
3. ความหนาแผ่นเซลลูโลส 15 เซนติเมตร
4. โครงประกอบด้านบนแผ่นเซลลูโลสปลายจุ่มเข้า ใช้วัสดุแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบ (Galvanized Steel Sheet) เบอร์ 24 หนา 0.55 มิลลิเมตร
5. โครงประกอบด้านล่างแผ่นเซลลูโลสปลายจุ่มออก พร้อมเจาะรูระบายน้ำขนาด 1/2 นิ้ว ใช้วัสดุแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบ (Galvanized Steel Sheet) เบอร์ 24 หนา 0.55 มิลลิเมตร
6. บ่าโครงเหล็กฐานรับน้ำหนักแผ่นเซลลูโลส มีความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร ใช้วัสดุเหล็กฉากเจาะรูด้านเท่า (Slotted Angle Steel) หนา 1.4 มิลลิเมตร

3.1.2 แนวทางการออกแบบระบบจ่ายน้ำ

1. เครื่องสูบน้ำขนาด 60 วัตต์ อัตราการไหลสูงสุด 3000 ลิตรต่อชั่วโมง เฮดสูงสุด 3 เมตร
2. ท่อระบบจ่ายน้ำวัสดุเป็น PVC ขนาด 1/2 นิ้ว
3. หัวสเปรย์กระจายน้ำ 360 องศา จำนวน 8 หัว

3.1.3 แนวทางการออกแบบระบบพักน้ำ และระบายน้ำ

1. ถังพักน้ำขนาดตั้งแต่ 47.25 ลิตร
2. ทางน้ำเข้า ใช้วาล์วลูกกลอยแม่เหล็ก ขนาด 1/2 นิ้ว
3. ทางระบายน้ำ ใช้โซลินอยด์วาล์ว ขนาด 1/2 นิ้ว

3.1.4 แนวทางการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระบบ

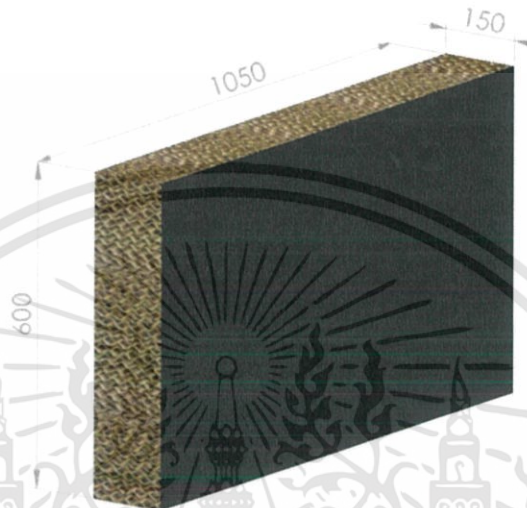
1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดรูอีโน ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. เซนเซอร์วัดความชื้น เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
3. รีเลย์ ควบคุมสัญญาณจากเครื่องอัดไอ และสัญญาณไปสู่เครื่องสูบน้ำ กับโซลินอยด์วาล์ว

3.2 การสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ

3.2.1 กระบวนการสร้าง Cooling pad โครงประกอบ และฐานรับน้ำหนัก

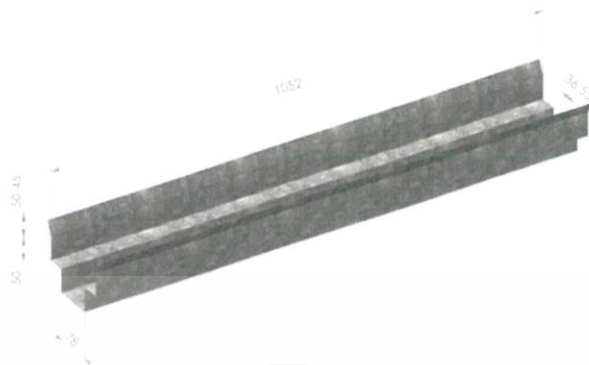
แผ่นเซลล์โลสมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติเฉพาะเช่น ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำ ขนาดแผ่นเซลล์โลส อัตราการซึมซับน้ำ และความสามารถในการป้องกันการเกิดแคลเซียมขึ้นที่ผิวแผ่น เซลล์โลสแตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้แผ่นเซลล์โลสจากทาง บริษัท บี.อินเตอร์เนชั่นแนล แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทในเครือเบทาโกร โดยผู้จัดทำได้ทำการเลือกแผ่นเซลล์โลสชนิด Celdek 7090 Black Coating ผลิตจากวัตถุดิบ(Raw material) Special cellulose Coated with Ferrous Oxide (Fe_2O_3) มุมองศาของแผ่นเซลล์โลส 45 องศา x 45 องศา พื้นที่ผิวสัมผัสอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของลอน (Flute Height) 1 ลูกบาศก์เมตรมีพื้นที่ผิวสัมผัส 440 ตารางเมตร ซึ่งแผ่นเซลล์โลสในงานวิจัยนี้ได้ทำการ ออกแบบอยู่ที่ 0.0945 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศเท่ากับ 41.58 ตารางเมตร น้ำหนักขณะแห้ง 2.4 กิโลกรัมต่อก่อน น้ำหนักขณะเปียก 5.07 กิโลกรัมต่อก่อน แรงกดสูงสุดขณะแห้ง 28.8 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว แรงกดสูงสุดขณะเปียก 22.08 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความสามารถในการดูดซึมน้ำ 112.5 เปอร์เซ็นต์

ความหนา 15 เซนติเมตร ขนาด 105 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ขนาดแผ่นเซลลูโลสออกแบบอ้างอิงตามขนาดพื้นที่ช่องอากาศเข้าของเครื่องควบแน่น



รูปที่ 3.1 แผ่นระเหยน้ำเซลลูโลส Celdek 7090 Black Coating

โครงประกอบใช้วัสดุแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบ (Galvanized Steel Sheet) เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อความชื้น ป้องกันการเกิดสนิม และมีราคาถูก โดยผู้จัดทำได้ทำการเลือกออกแบบ แผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบ เบอร์ 24 มีความหนา 0.55 มิลลิเมตรซึ่งเป็นขนาดที่นิยมสำหรับงานวางระบายน้ำ ซึ่งมีน้ำหนักโดยประมาณ 4.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ออกแบบปริมาณแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบทั้งหมด 1.1 ตารางเมตร ดังนั้นโครงประกอบทั้งหมดจึงมีน้ำหนักประมาณ 4.7 กิโลกรัม โครงประกอบด้านล่างจะมีลักษณะเป็นช่องพักน้ำก่อนระบายกลับเข้าถังพักน้ำเพื่อนำไปใช้หมุนเวียนในระบบต่อไป ซึ่งมีปริมาตรกักเก็บเท่ากับ 3.9 ลิตร และเจาะรูเพื่อประกอบท่อระบายน้ำขนาด 1/2 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 3.2 ส่วนโครงประกอบด้านบนทำการออกแบบให้มีระยะเพื่อประมาณ 10 เซนติเมตร เนื่องจากภายในโครงประกอบด้านบนจะบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ เช่น ท่อจ่ายน้ำ หัวฉีดสเปรย์ และจะต้องเว้นระยะไว้สำหรับรัศมีของน้ำที่กระจายสู่แผ่นเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านล่าง



รูปที่ 3.3 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านบน

รูปที่ 3.4 โครงประกอบแผ่นเหล็กชุบสังกะสีแผ่นเรียบด้านข้าง

ฐานรับน้ำหนักใช้วัสดุเหล็กฉากเจาะรูด้านเท่าเคลือบสี (Slotted Angle Steel) เนื่องจากมีราคาถูก ประกอบติดตั้งสะดวก มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักชุด Cooling pad มีขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนา 1.4 มิลลิเมตร น้ำหนักต่อเส้นโดยประมาณ 2 กิโลกรัม ทำการออกแบบจำนวน 8.4 เมตร หรือเท่ากับ 2.8 เส้น (1 เส้นเท่ากับ 3 เมตร) ดังนั้นน้ำหนักฐานรับน้ำหนักโดยประมาณเท่ากับ 5.6 กิโลกรัม ความสูงจากพื้นถึงป่าสำหรับติดตั้งชุด Cooling pad ออกแบบให้สูงไม่เกิน 60 เซนติเมตร เพื่อให้ตรงตามตำแหน่งช่องอากาศเข้าของเครื่องควบแน่น แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฐานรับน้ำหนักเหล็กฉากเจาะรูเคลือบสี

3.2.2 กระบวนการสร้างระบบจ่ายน้ำ

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบ (Water Flow Rate) สามารถคำนวณได้จาก ความสามารถในการซึบน้ำของแผ่นเซลล์โลส โดยแผ่นเซลล์โลสชนิด Celdek 7090 ต้องการปริมาณน้ำ 60 ลิตรต่อนาทีต่อตารางเมตร ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.1

$$Q = 60 \times W \times D \tag{3.1}$$

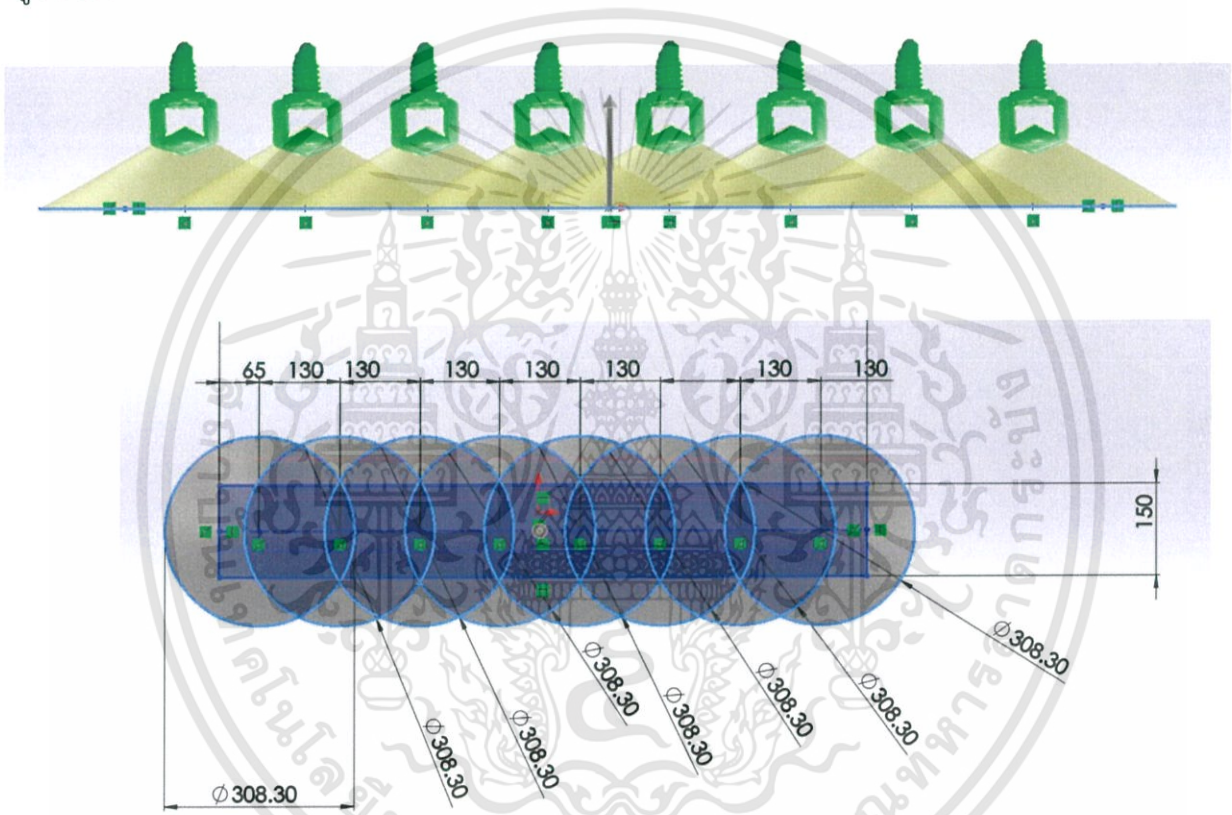
โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของน้ำที่แผ่นเซลล์โลสต้องการ (L/min)
 W คือ ความกว้างของแผ่นเซลล์โลส (m)
 D คือ ความลึก หรือความหนาของแผ่นเซลล์โลส (m)

แทนค่า ความกว้างของแผ่นเซลล์โลส = 1.05 m
 ความหนาของแผ่นเซลล์โลส = 0.15 m
 ดังนั้น Q = 60 x 1.05 x 0.15

$$Q = 9.45 \text{ L/min}$$

$$Q = 567 \text{ L/h}$$

เพราะฉะนั้นค่าอัตราการไหลของน้ำในระบบที่ต้องนำไปเลือกเครื่องสูบน้ำจึงเท่ากับ 567 ลิตรต่อชั่วโมง และทำการออกแบบหัวจ่ายน้ำ 8 หัว จึงต้องการอัตราการไหล 70.875 ลิตรต่อชั่วโมงต่อหัว จึงเลือกหัวมินิสปริงเกอร์ 360 องศา อัตราการไหลหัวละ 80 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะกระจายน้ำ และตำแหน่งการติดตั้งหัวจ่ายน้ำแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระยะกระจายน้ำ และตำแหน่งการติดตั้งหัวจ่ายน้ำ

การคำนวณเสดของระบบ หรือ Total Dynamic Head (TDH) เพื่อออกแบบขนาดของเครื่องสูบน้ำ ประกอบด้วย พลังงานสามส่วนของของไหลของไหลที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ และพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างการไหล กล่าวคือ เสดความดัน แสดงดังสมการ 2.12 เสดความเร็ว แสดงดังสมการ 2.13 เสดความสูง และเสดการสูญเสียรวม แสดงดังสมการ 2.14

$$\text{คำนวณ Pressure Head } H_p = [P_2 / \rho g - P_1 / \rho g]$$

$$= (111,106.0605 - 101,325) / 997.05 \times 9.81$$

$$\begin{aligned}
&= 1 \text{ mH} \\
\text{เมื่อสูบน้ำจากถังเก็บน้ำ} \quad v_1 &= 0 \text{ m/s} \\
\text{คำนวณ Velocity Head} \quad H_v &= \frac{1}{2} (v_2^2 / g - v_1^2 / g) \\
&= \frac{1}{2} (v_2^2 / g) \\
&= \frac{1}{2} (0.6189358898^2 / 9.81) \\
&= 0.02 \text{ mH} \\
\text{คำนวณ Total Static Head} \quad Z &= h_2 - h_1 \\
&= 1.3 - 0.195 \\
&= 1.105 \text{ mH} \\
\text{คำนวณ Major Loss} \quad H_{L_f} &= f L v^2 / D 2 g \\
\text{หาความเร็วของไหลจาก} \quad v &= Q / A \\
&= Q / (\pi/4 D^2) \\
&= (0.1575 \times 1 / 1000) / (\pi/4 (0.018)^2) \\
&= 0.62 \text{ m/s} \\
\text{ที่ } \rho, \mu @ 25^\circ\text{C} \quad \text{Re} &= \rho v D / \mu \\
&= 997.05 \times 0.62 \times 0.018 / 0.0008891 \\
&= 12493.51 \\
\epsilon_{\text{pvc}} = 0.00425 \text{ mm} \quad \text{Relative Roughness} &= \epsilon / D = 0.00425 \text{ mm} / 18 \text{ mm} \\
&= 0.000236111 \\
\text{จาก Moody Diagram} \rightarrow \text{Flow regime: turbulent} \quad f &= 0.029540168036014804 \\
\text{ดังนั้น Major Loss} \quad H_{L_f} &= f L v^2 / D 2 g \\
&= 0.029540168036014804 \times 100 \times \\
&\quad (0.6189358898)^2 / (0.018 \times 2 \times 9.81) \\
&= 5.17 \text{ mH}/100\text{m}
\end{aligned}$$

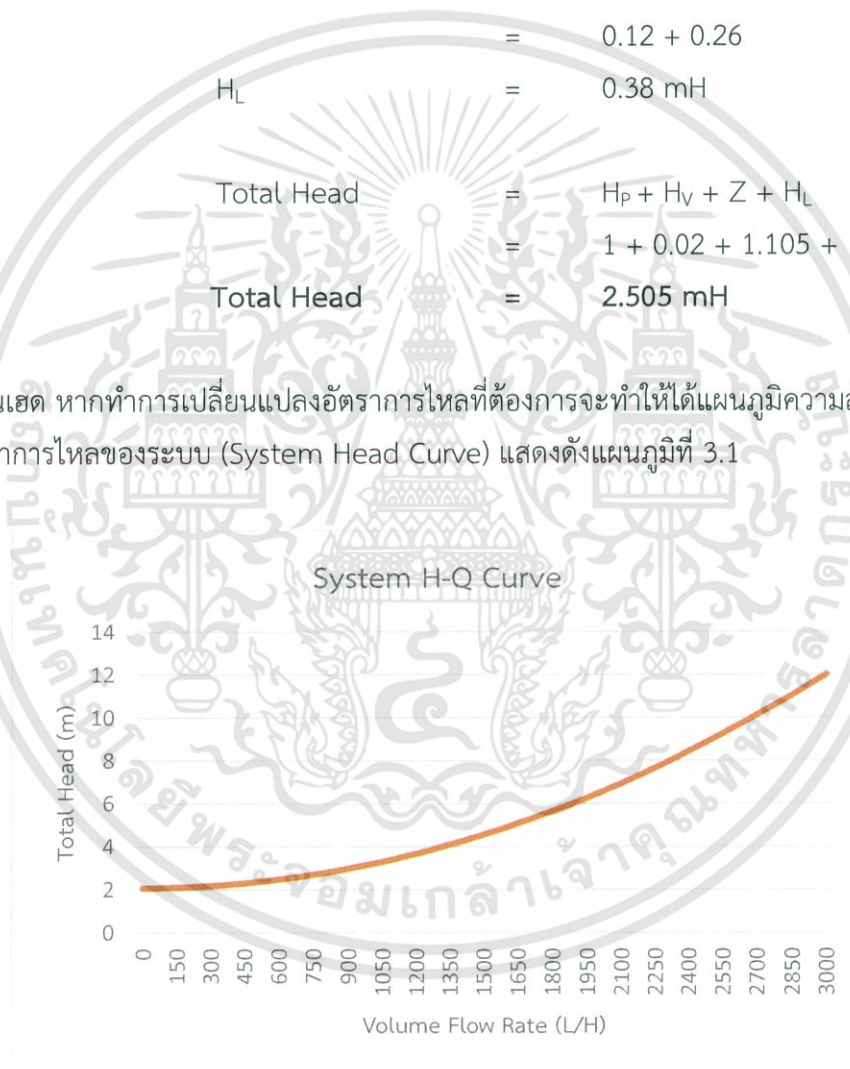
ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์

ชนิดข้อต่อ	K
ปากทางเข้า แบบตรง (Plain End Pipe)	0.8
ข้องอ 90 ° ½” (Standard Elbow)	0.9
ข้องอ 90 ° ½” (Standard Elbow)	0.9
ข้องอ 90 ° ½” (Standard Elbow)	0.9
ข้อต่อ 3 ทาง (Standard Tee)	1.8
ปากทางออก (Projecting Pipe Exit)	1 × 8 = 8
รวม	13.3

$$\begin{aligned}
 \text{Minor Loss } H_{Le} &= \Sigma K v^2 / 2g \\
 &= 13.3 (0.62)^2 / 2 \times (9.81) \\
 &= 0.26 \text{ mH} \\
 \text{ดังนั้น Total Head Loss } H_L &= \text{Major Loss} + \text{Minor Loss} \\
 &= H_{Lf} + H_L \\
 &= 5.17 \times ((0.35 + 0.9 + 0.05 + 1) / 100) + \\
 &\quad 0.26 \\
 &= 0.12 + 0.26 \\
 H_L &= 0.38 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

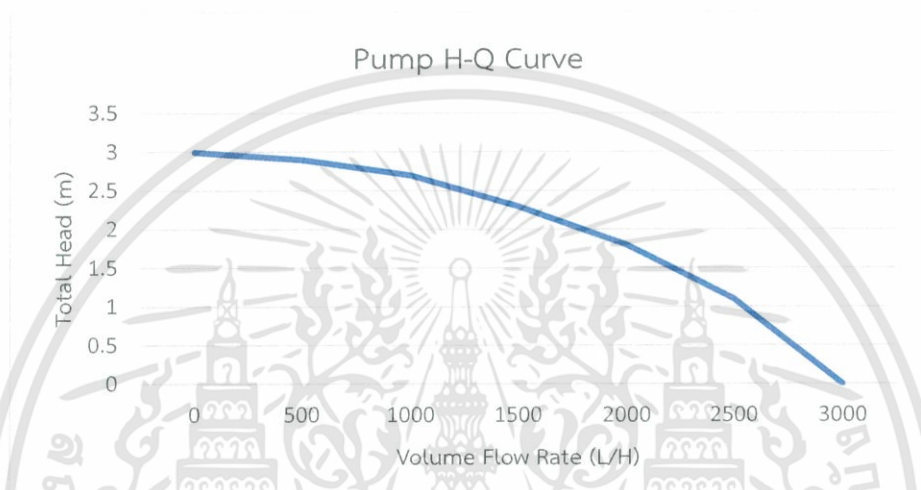
$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น Total Head} &= H_p + H_v + Z + H_L \\
 &= 1 + 0.02 + 1.105 + 0.38 \\
 \text{Total Head} &= 2.505 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณเฮด หากทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ต้องการจะทำให้ได้แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างเฮดรวมกับอัตราการไหลของระบบ (System Head Curve) แสดงดังแผนภูมิที่ 3.1



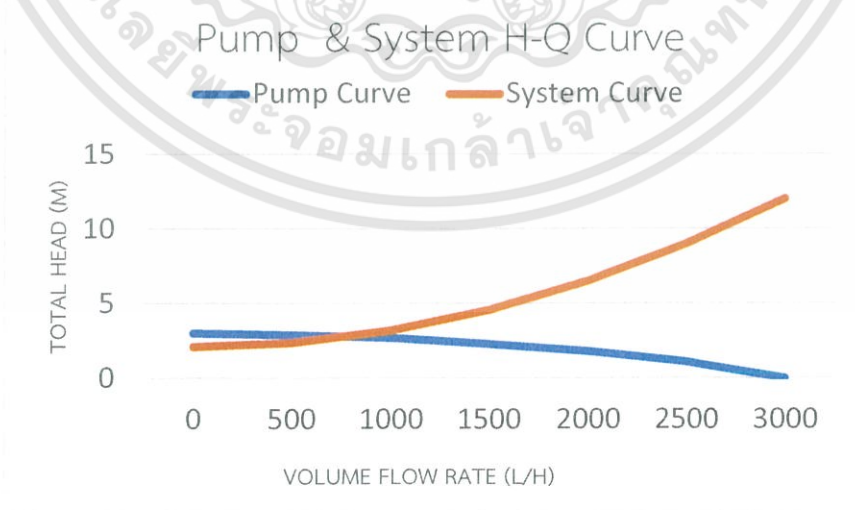
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดรวม กับอัตราการไหลของระบบ

จากการคำนวณอัตราการไหล และเฮดที่ต้องการเท่ากับ 567 ลิตรต่อชั่วโมง และ 2.505 เมตรตามลำดับ ดังนั้นจึงทำการเลือกเครื่องสูบน้ำจาก Pump Curve ของเครื่องสูบน้ำแต่ละรุ่น โดยทำการเลือกเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มหรือแบบแช่ (Submersible Pump) ที่มีเฮดสูงสุด 3 เมตร และอัตราการไหลสูงสุด 3000 ลิตรต่อชั่วโมง แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง เฮดรวม กับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ (Pump Curve) แสดงดังแผนภูมิที่ 3.2



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดรวม กับอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ

นำแผนภูมิ H-Q ของระบบ และเครื่องสูบน้ำมาเขียนร่วมกัน เส้นกราฟทั้งสองตัดกันที่จุดทำงาน (Operation Point) ของเครื่องสูบน้ำซึ่งได้อัตราการไหลเท่ากับ 760 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงดังแผนภูมิที่ 3.3



รูปที่ 3.9 แผนภูมิจุดทำงานของเครื่องสูบน้ำ (Operation Point)

3.2.3 กระบวนการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมระบบ

ส่วนประกอบของวงจรควบคุมระบบจ่ายน้ำ และระบายน้ำมีรายการดังต่อไปนี้

(1) OMRON Power Relay DPDT 5A MY2F AC220/240

รีเลย์ (Relay) มีหลักการคือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย

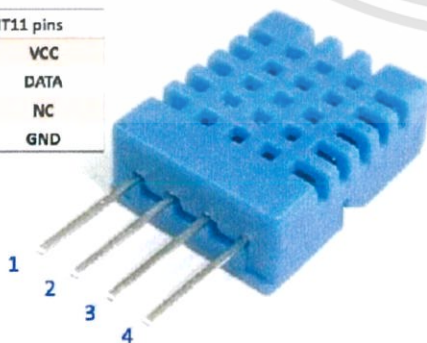


รูปที่ 3.10 OMRON Power Relay DPDT 5A MY2F AC220/240

(2) DHT11 Humidity and Temperature Sensor

คือ เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในอากาศ มีย่านวัดความชื้น 20-90% RH โดยมีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ RH ความละเอียดในการวัด 1 % แสดงผลแบบ 8 บิต ย่านวัดอุณหภูมิ 0 -50 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแม่นยำ ± 2 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 1 องศาเซลเซียส แสดงผลแบบ 8 บิต มี PIN 4 ขาประกอบไปด้วย VCC, Data, NC และ GNDกินกระแส 0.5 - 2.5 mA (ขณะทำการวัดค่า) ที่ระดับแรงดัน 3 - 5.5 VDC อ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที

DHT11 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND



รูปที่ 3.11 DHT11 Humidity and Temperature Sensor

(3) Adapter 220V to 5V



รูปที่ 3.12 Adapter 220V to 5V

(4) Relay Module 5V 250V/10A 2 Channel

ใช้แรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร 5 โวลต์ ใช้ควบคุมไฟฟ้าแรงสูงได้ที่ DC30V 10A , AC250V 10A มีไฟบอกสถานะการทำงานของรีเลย์ทุกตัวเชื่อมต่อด้วยขั้วสกรู ติดตั้งได้ง่ายและสะดวกใช้กระแสขับ relay แต่ละตัวที่ 15-20 mA การส่งสัญญาณควบคุมรีเลย์เป็นแบบ Active low วงจรขับรีเลย์เป็นแบบแยกกราวด์ Opto isolated Relay ปลอดภัยต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

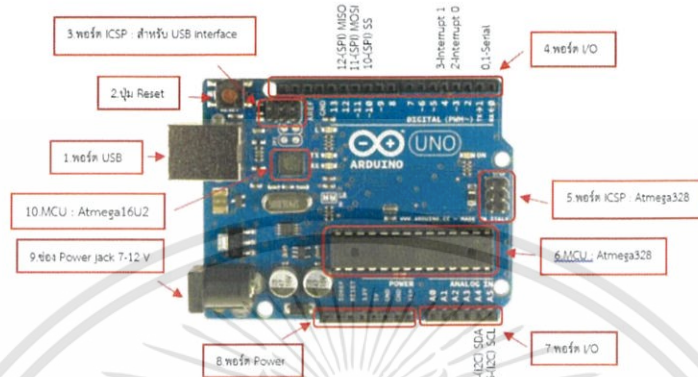


รูปที่ 3.13 Relay Module 5V 250V/10A 2 Channel

(5) Microcontroller Adruio UNO R3

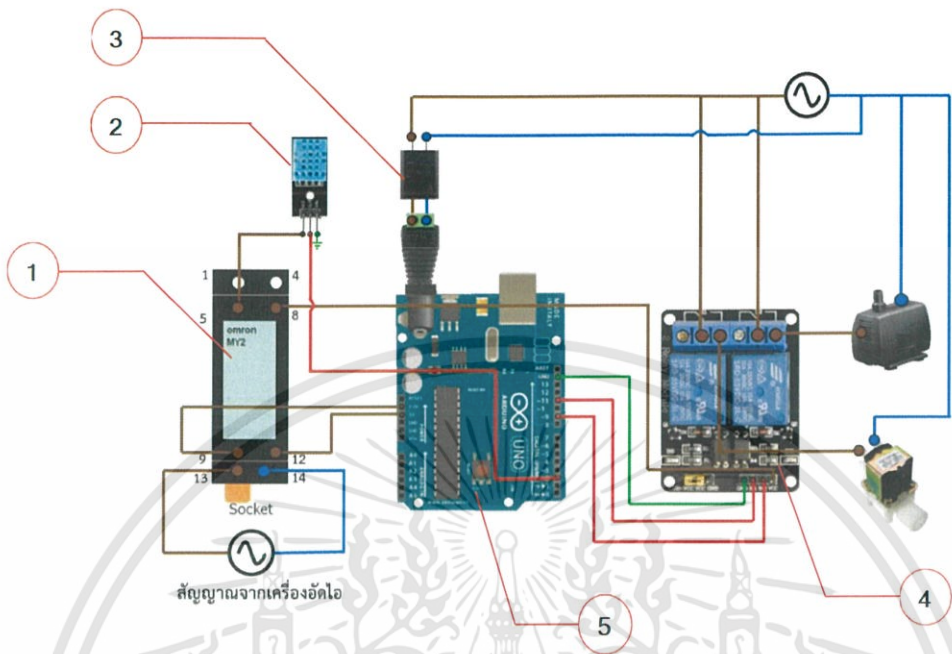
Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source บนแพลตฟอร์ม Arduino ของแท้จากผู้ผลิต arduino.cc ประเทศอิตาลี ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ใช้ชิพ ATmega328 รั้นที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL) มี Digital Input / Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต

USB เหมาะสำหรับผู้สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์หรือแม้แต่ผู้ที่ไม่เคยเรียนรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาก่อนก็สามารถนำมาสร้างต้นแบบที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ได้

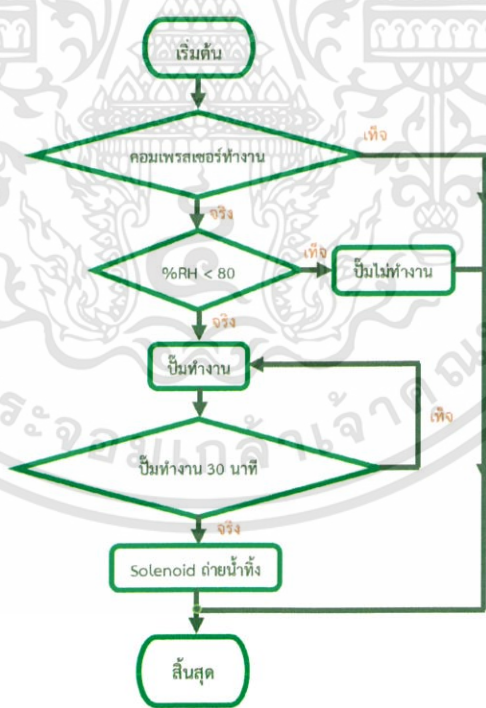


รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบ Microcontroller Adurio UNO R3

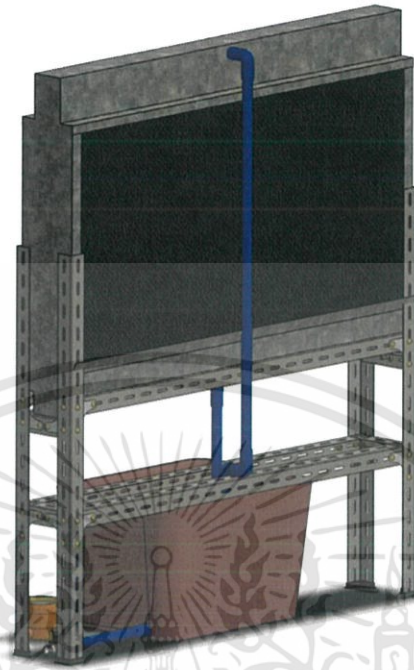
หลักการทำงานวงจรควบคุมระบบจ่ายน้ำ และระบายน้ำ เมื่อเครื่องอัตโนมัติทำงานกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้ารีเลย์ 220V ส่งผลให้มีกระแสไหลไปยังเซนเซอร์วัดความชื้น และรีเลย์ 5V ตัวเซนเซอร์วัดความชื้นจะทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าต่ำกว่า 80 %RH จะทำการส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการสั่งเครื่องสูบน้ำให้ทำการสูบน้ำไปจ่ายแผ่นระเหยน้ำผ่านรีเลย์ 5V และทำการนับเวลาในการสูบน้ำ หากเวลาในการสูบน้ำครบ 7 นาที ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้เครื่องสูบน้ำหยุดการทำงานเพื่อระบายน้ำออกจากถาดรับน้ำจากแผ่นระเหยน้ำเป็นเวลา 1 นาที เมื่อเวลาในการสูบน้ำครบ 30 นาที ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วระบายน้ำออกจากถังพักน้ำผ่านรีเลย์ 5V เป็นเวลา 1 นาทีเพื่อรักษาระดับค่า Ph ของน้ำในระบบ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซ็ตค่าเวลาที่นับ และเริ่มนับเวลาใหม่เป็นวัฏจักรดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



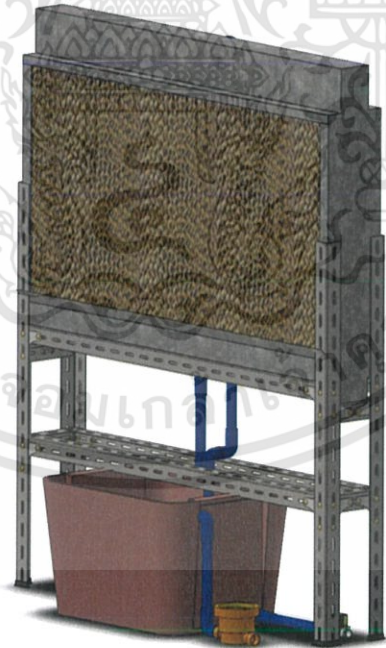
รูปที่ 3.15 แผนภาพวงจรควบคุมระบบจ่ายน้ำ และระบายน้ำ



รูปที่ 3.16 ผังงานวัฏจักรการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.17 ชุดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยด้านลมเข้า



รูปที่ 3.18 ชุดอุปกรณ์ระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยด้านลมออก

3.3 กระบวนการทดสอบการใช้ไฟฟ้า และประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็น

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

(1) Power Quality Analyzers

เครื่องวัดและวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า ใช้ในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ



รูปที่ 3.19 Power Quality Analyzers

(2) Thermal Environmental Monitor

เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ เพื่อวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์



รูปที่ 3.20 Thermal Environmental Monitor

(3) Thermo Recorder

เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งในอากาศ เพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance) ของระบบทำความเย็น



รูปที่ 3.21 Thermo Recorder

(4) Anemometer

เครื่องมือวัดความเร็วลม เพื่อวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยของระบบทำความเย็น



รูปที่ 3.22 Anemometer

บทที่ 4 ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และใช้ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศผสมระบบระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ โดยในการทดสอบก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในช่วงเดือนกันยายน และเดือนตุลาคม ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ความสามารถในการทำความเย็น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และจุดคุ้มทุนของชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยน้ำ

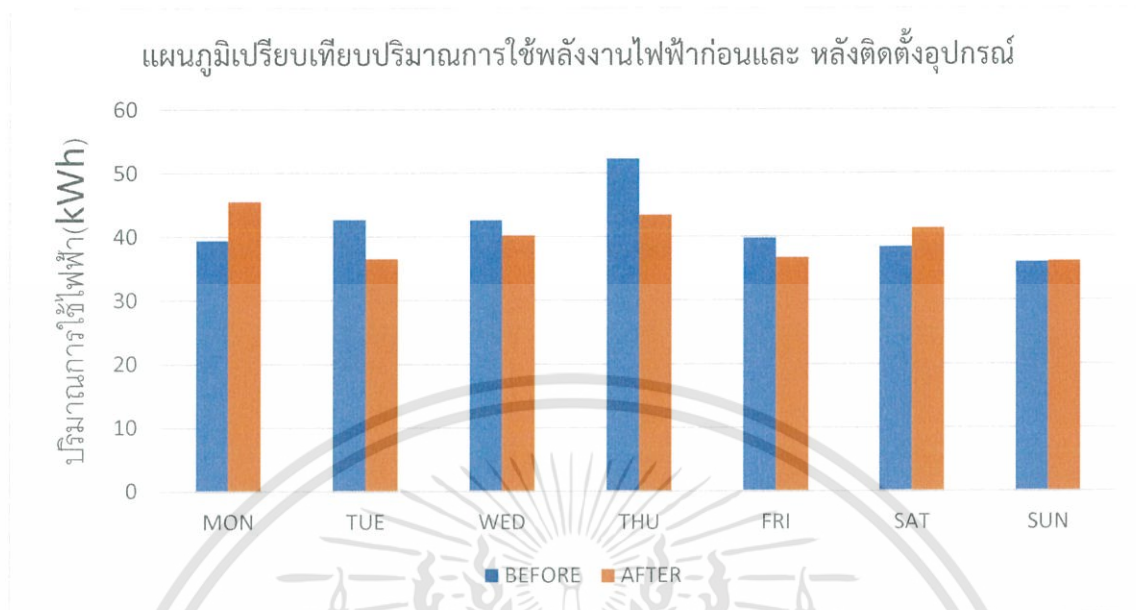
4.1 ผลทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น

ผลทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ ใช้เวลาในการทดสอบ 1 สัปดาห์ ในช่วงปลายเดือนกันยายน ถึงต้นเดือนตุลาคม ผลการทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่ลดลงหลังติดตั้งอุปกรณ์ โดยสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิมได้ 11.21 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

วัน	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ (kWh)	หลังติดตั้งอุปกรณ์ (kWh)	ร้อยละที่ลดลง (%)
จันทร์	39.44	45.56	-13.43
อังคาร	42.74	36.58	16.83
พุธ	42.62	40.27	5.85
พฤหัสบดี	52.35	43.52	20.28
ศุกร์	39.81	36.81	8.17
เสาร์	38.46	41.38	-7.03
อาทิตย์	36.05	36.16	-0.30
เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์	41.64	40.68	3.99
รวมการใช้ไฟฟ้า	291.50	280.29	2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



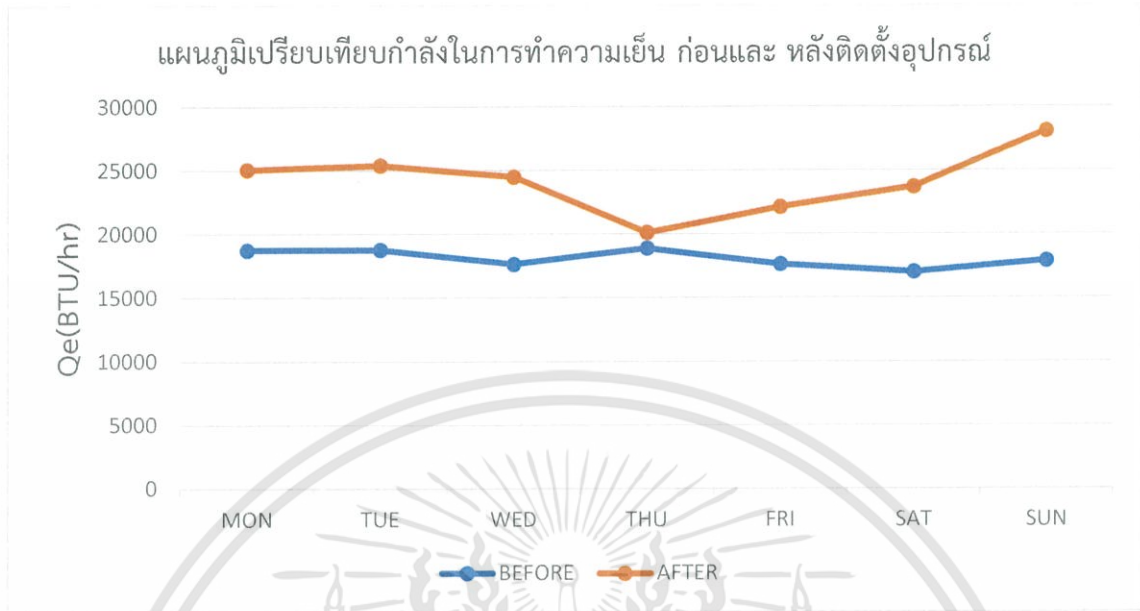
รูปที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและ หลังติดตั้งอุปกรณ์

4.2 ผลทดสอบความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect : Q_c)

ผลทดสอบความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ ใช้เวลาในการทดสอบ 1 สัปดาห์ ในช่วงปลายเดือนกันยายน ถึงต้นเดือนตุลาคม ผลการทดสอบความสามารถในการทำความเย็นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งอุปกรณ์ โดยสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นเฉลี่ยเป็น 24179.1 บีทียูต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นจากเดิม 24.3 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect)

วัน	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ (BTU/hr)	หลังติดตั้งอุปกรณ์ (BTU/hr)	ร้อยละเพิ่มขึ้น
จันทร์	18783	25101.5	25.17
อังคาร	18791.4	25433.2	26.11
พุธ	17674.1	24539.3	27.97
พฤหัสบดี	18924.9	20152	6.08
ศุกร์	17659.4	22150.1	20.27
เสาร์	17053.4	23759.7	28.22
อาทิตย์	17920.2	28117.9	36.26
เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์	18115.2	24179.1	24.30



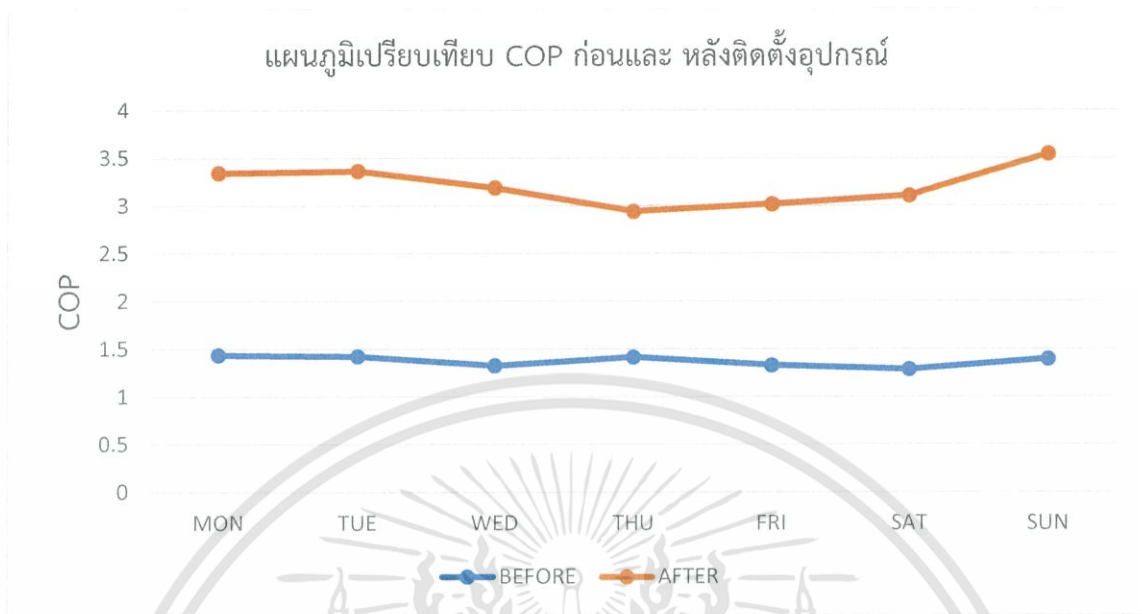
รูปที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

4.3 ผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance : COP)

ผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ ใช้เวลาในการทดสอบ 1 สัปดาห์ ในช่วงปลายเดือนกันยายน ถึงต้นเดือนตุลาคม ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งอุปกรณ์ โดยสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเป็น 1.84 หรือเพิ่มขึ้นจากเดิม 24.69 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

วัน	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์	หลังติดตั้งอุปกรณ์	ร้อยละเพิ่มขึ้น (%)
จันทร์	1.43	1.90	24.66
อังคาร	1.42	1.94	26.65
พุธ	1.32	1.86	28.85
พฤหัสบดี	1.41	1.52	7.26
ศุกร์	1.33	1.68	21.11
เสาร์	1.28	1.82	29.33
อาทิตย์	1.39	2.14	34.99
เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์	1.37	1.84	24.69



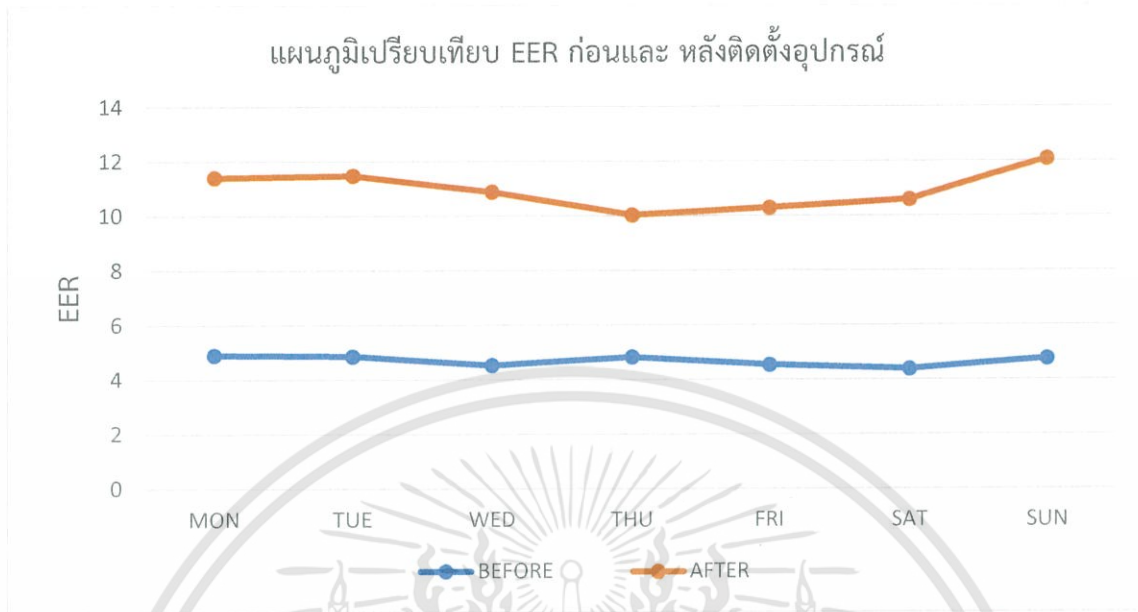
รูปที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

4.4 ผลทดสอบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER)

ผลทดสอบอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็นก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ ใช้เวลาในการทดสอบ 1 สัปดาห์ ในช่วงปลายเดือนกันยายน ถึงต้นเดือนตุลาคม ผลการทดสอบอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหลังติดตั้งอุปกรณ์ โดยสามารถเพิ่มอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเป็น 6.29 หรือเพิ่มขึ้นจากเดิม 4.69 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

วัน	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์	หลังติดตั้งอุปกรณ์	ร้อยละเพิ่มขึ้น (%)
จันทร์	4.90	6.51	24.66
อังคาร	4.86	6.63	26.65
พุธ	4.52	6.36	28.85
พฤหัสบดี	4.83	5.21	7.26
ศุกร์	4.54	5.76	21.11
เสาร์	4.39	6.21	29.33
อาทิตย์	4.76	7.33	34.99
เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์	4.69	6.29	24.69



รูปที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

4.5 ต้นทุน และผลประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบการทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยน้ำ

เบทาโกรซื้อสาขาประชาชน จัดเป็นสถานประกอบการประเภทที่ 3 คือกิจการขนาดกลาง ซึ่งมีลักษณะความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว โดยใช้อัตราในการคิดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติ แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า 221.50 บาทต่อกิโลวัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้า 3.2009 บาทต่อหน่วย ค่าบริการ 312.24 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนก่อน และหลังติดตั้งอุปกรณ์

	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์	หลังติดตั้งอุปกรณ์
ความต้องการพลังไฟฟ้า, Active Power (kW)	4.69	4.47
จำนวนพลังงานไฟฟ้า (kWh)	1166.01	1121.18
ความต้องการพลังไฟฟ้รีแอกทีฟ, Reactive Power (kVar)	4.02	3.81
การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ, Ft (สตางค์ต่อหน่วย)	-15.90	-15.90
ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน		
1.1 ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	1038.17	990.76
1.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)	3732.27	3588.78
1.3 ค่าเพอเวอร์แฟคเตอร์ (บาท)	-	-
จำนวน kVar ที่คิดเงิน (kVar)	1.00	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเงิน (บาท)	56.07	56.07
1.4 ค่าบริการ (บาท)	312.24	312.24
รวมค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	5138.75	4947.86
ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร, Ft (บาท)		
จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft	-185.39	-178.26
ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (บาท)		
(ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) x 7 / 100	346.73	333.87
รวมเงินค่าไฟฟ้า (บาท)	5300.09	5103.46
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท)		196.62

4.6 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนโครงการต่าง ๆ บางครั้งต้องการจะทราบว่าจำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนควรเป็นเท่าไรเพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน (break – even analysis) คือจุดที่รายได้กับรายจ่ายเท่ากัน นั่นคือกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่าง ๆ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเหมาะสมกับโครงการระยะสั้น เจือจางต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดโครงการ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้การตัดสินใจคลาดเคลื่อนได้สมควรคำนวณจุดคุ้มทุนแสดงดังสมการที่ 4.1

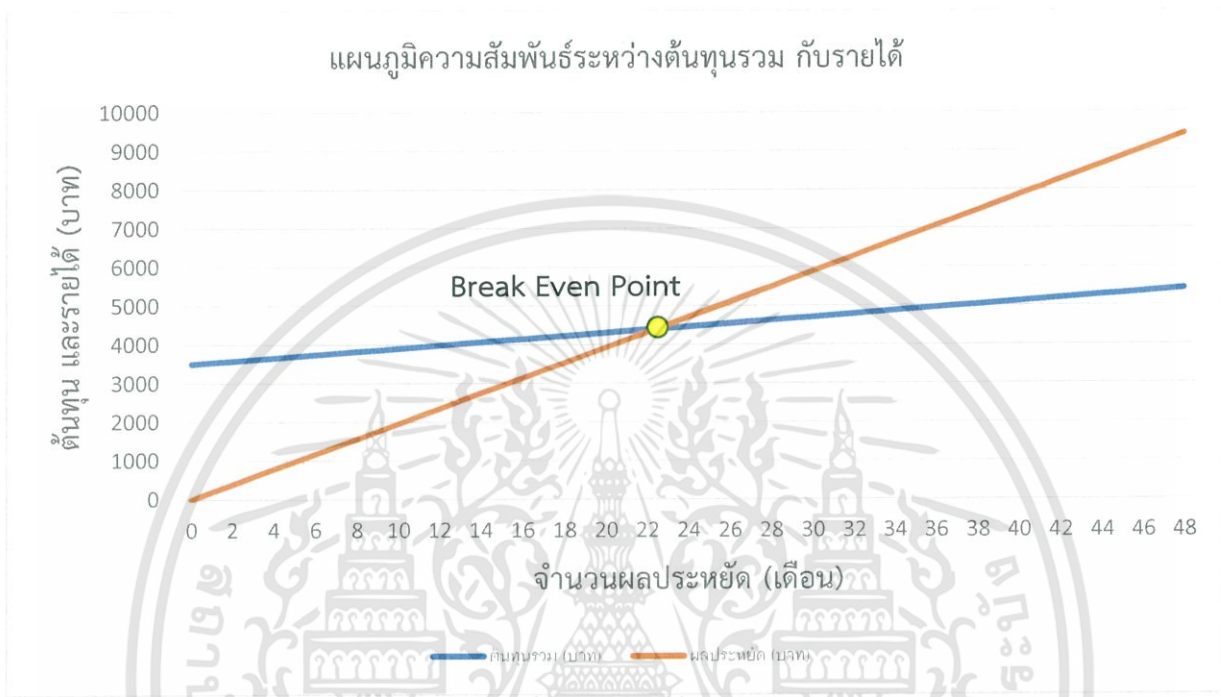
$$N = \frac{F}{p-v} \quad (4.1)$$

โดยที่

- N คือ จำนวนเดือนที่โครงการคืนทุน
- F คือ ต้นทุนคงที่
- p คือ ราคาขายต่อหน่วย
- v คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

โดยต้นทุนคงที่คือค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ 3,500 บาท ราคาขายต่อหน่วยคือผลประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนพลังงานไฟฟ้าของระบบที่เกิดขึ้นหลังติดตั้งอุปกรณ์ 196.62 บาท ต้นทุนแปรผันต่อเดือนซึ่งประกอบไปด้วย ค่าไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำและโซลินอยด์วาล์วในระบบคิดจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 5.68 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 18.50 บาท และค่าน้ำที่ใช้ในระบบ 0.42 หน่วย คิดเป็น 21.84 บาท ต้นทุนแปรผันต่อเดือนจึงเท่ากับ 40.34 บาท ดังนั้นจุดคุ้มทุนของโครงการจึงเท่ากับ 22 เดือน หรือเท่ากับ 1 ปี 10 เดือน เมื่อนำแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างผลประหยัดกับระยะเวลา และ

ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวมกับระยะเวลาที่ลดลงในแผนภูมิเดียว จะเกิดจุดตัดของแผนภูมิซึ่งแสดงจุดคุ้มทุนของโครงการดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงจุดคุ้มทุนบนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวม กับรายได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศของ CHILL BUTCHER ROOM โดยการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่น เป็นการทดสอบใช้งานจริงระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยน้ำควบคู่กับวิธีระบายความร้อนด้วยอากาศ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบปกติตามวัตถุประสงค์การศึกษา จากผลการทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพ และผลประหยัดที่เกิดขึ้น โดยมีผลการทดสอบแต่ละเงื่อนไข 1 สัปดาห์ ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาสรุปผลที่ได้จากการศึกษาดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

การศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระบายความร้อนให้สารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่นด้วยวิธีการระเหยของน้ำเข้ามาช่วย สามารถใช้งานได้จริงโดยไม่เกิดผลกระทบต่อการทำงานของระบบทำความเย็นซึ่งก่อนติดตั้งอุปกรณ์ และหลังติดตั้งอุปกรณ์ได้ผลการทดสอบดังนี้

5.1.1 ระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบปกติ

ในสภาวะปกติทำการทดสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบผลทดสอบต่าง ๆ หลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำ จากการทดสอบพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ในระยะเวลา 1 สัปดาห์เท่ากับ 291.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง ความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect) เฉลี่ย เท่ากับ 18115.2 บีทียูต่อชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น (Coefficient of performance : COP) เฉลี่ยเท่ากับ 1.37 ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER) เฉลี่ยเท่ากับ 4.69 และต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นต่อเดือนเท่ากับ 5,300 บาท

5.1.2 ระบบทำความเย็นที่ใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำร่วมกับอากาศ

จากการทดสอบพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ในระยะเวลา 1 สัปดาห์เท่ากับ 280.29 กิโลวัตต์ชั่วโมงลดลงจากเดิม 4 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทำความเย็น (Refrigerating effect) เฉลี่ย เท่ากับ 24179.1 บีทียูต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้นจากเดิม 24 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น (Coefficient of performance : COP) เฉลี่ยเท่ากับ 1.84 เพิ่มขึ้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดิม 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER) เฉลี่ยเท่ากับ 6.29 เพิ่มขึ้นจากเดิม 25 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นต่อเดือนเท่ากับ 5,103 บาท ต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำเท่ากับ 18.5 บาท ต้นทุนการใช้น้ำของระบบระบายความร้อนด้วยวิธีการระเหยของน้ำเท่ากับ 21.84 บาท ผลประหยัดต่อเดือนเท่ากับ 156 บาท และจุดคุ้มทุนของโครงการเท่ากับ 1 ปี 10 เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

1. ควรทำการทดสอบกับ Load Room และ Cold Room เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้งานของห้องเย็นประเภทอื่น ๆ
2. ควรเพิ่มระยะเวลาทำการทดสอบเป็น 1 เดือน และทดสอบที่สภาวะอากาศในเดือนต่าง ๆ เพื่อผลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

Yongping Huang, Ke Zhang, Shufan Yang and Yushan Jin. (2013). "A Method to Measure Humidity Based on Dry-Bulb and Wet-Bulb Temperatures". Research Journal of Applied Sciences. The College of Computer Science and Technology, China

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน". กรุงเทพมหานคร. หน้า 5-1 – 5-11

ธนศ เดชโหมต และคณะ. (2551). "แผนลดอุณหภูมิในการระบายความร้อนสำหรับเครื่องปรับอากาศรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย". รายงานการวิจัยในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี. 71-75.

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2556). การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. 7(ฉบับที่ 2) : 57-64.

ชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง. (2551). มารู้อัจฉริยะการทำความเย็นแบบระเหย (evaporative cooling) กันเถอะ. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 1 : 51-58

วลวิภา ผาดิตำรงกุล. (2553). ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ใช้การระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปทุมธานี: 103 หน้า

กฤษณะ จารัส และ มนต์พล แสงโต. (2556). การศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนเครื่องควบแน่นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ตาก: 85 หน้า

อาจหาญ ณ นครค์. (2556). ทำความเข้าใจแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart). [Online]. Available : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-ก ชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้านลมเข้า



รูปที่ 2-ก ชุดอุปกรณ์ระบายความร้อนด้านลมออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อกา 58 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

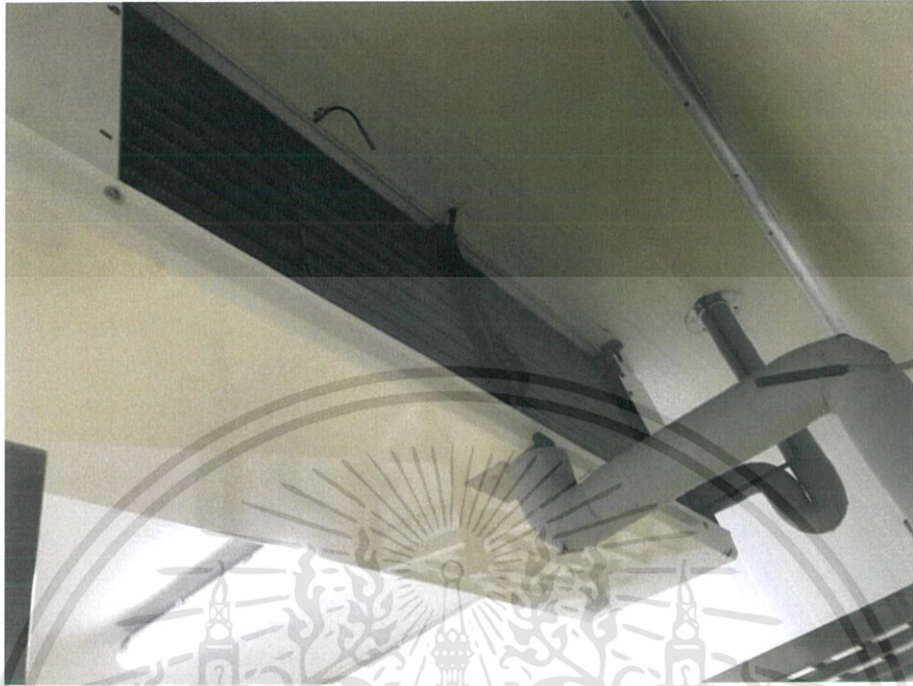


รูปที่ 3-ก เครื่องควบแน่นด้านลมเข้า



รูปที่ 4-ก เครื่องควบแน่นด้านลมออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-ก เครื่องระเหยด้านลมเข้า



รูปที่ 6-ก เครื่องระเหยด้านลมออก

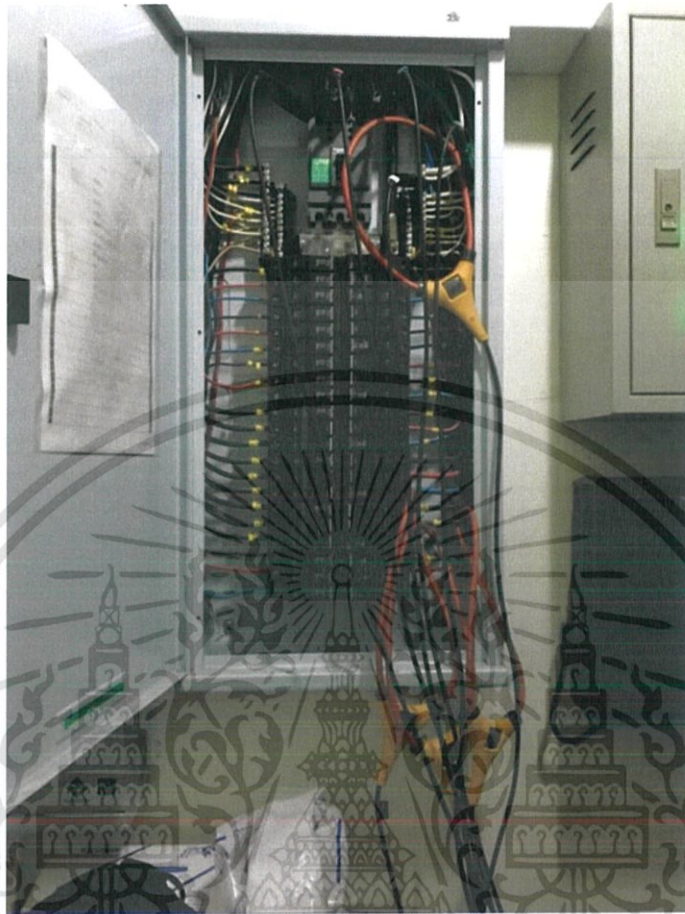


รูปที่ 7-ก การวัดสถานะแวดล้อมในการทดสอบ



รูปที่ 8-ก การวัดความเร็วลมที่ผ่านเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9-ก การวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ

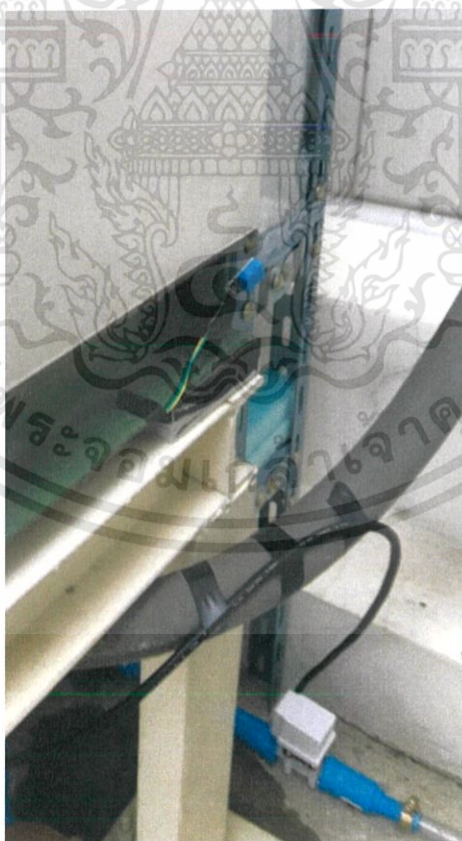


รูปที่ 10-ก การวัดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องระเหย

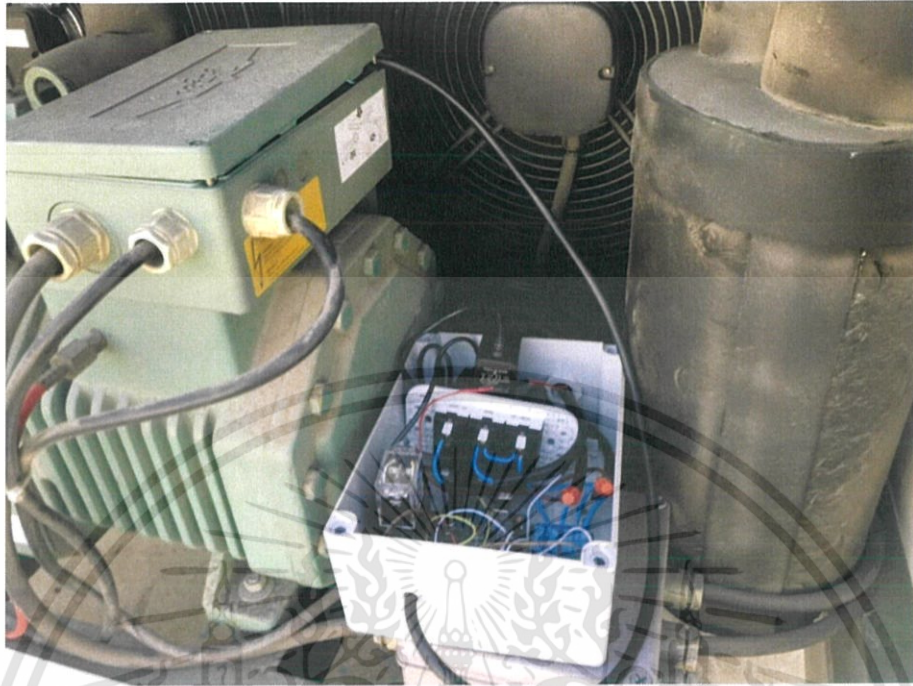
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11-ก การวัดปริมาณการใช้น้ำของระบบ



รูปที่ 12-ก การวัดความชื้นสถานะแวดล้อมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 13-ก กล่องวงจรควบคุมการจ่ายน้ำ และระบายน้ำของระบบ





ภาคผนวก ข
ผลทดสอบอุณหภูมิจึงและความชื้นสภาวะแวดล้อมการทดลอง

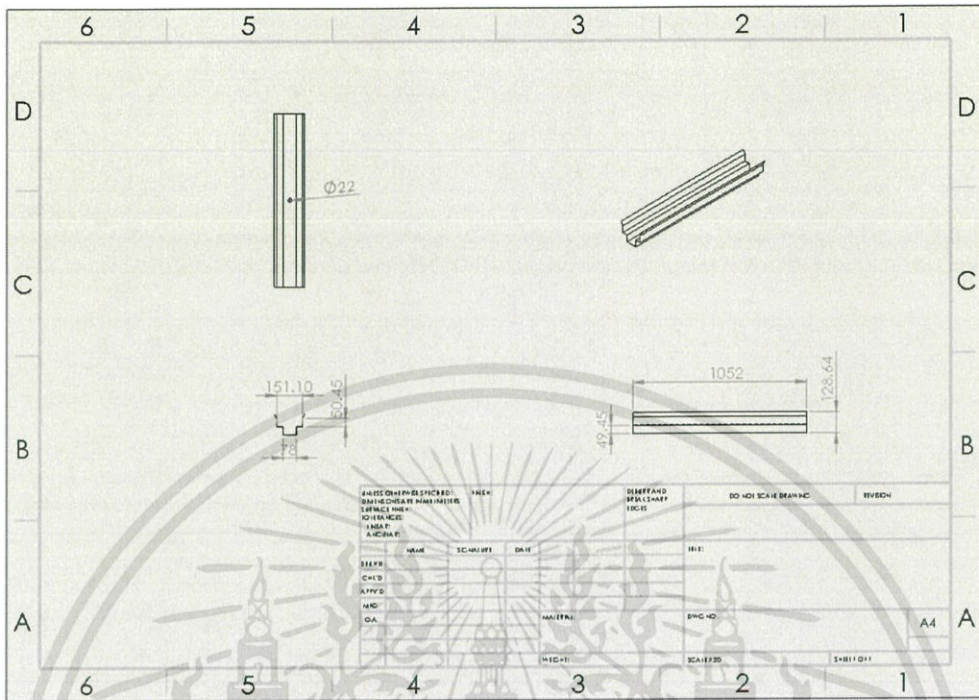
ตารางที่ 1-ข ผลทดสอบอุณหภูมิ และความชื้นสภาวะแวดล้อมการทดลอง

วัน	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)				ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			
	ก่อนติดตั้งอุปกรณ์		หลังติดตั้งอุปกรณ์		ก่อนติดตั้งอุปกรณ์		หลังติดตั้งอุปกรณ์	
	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน
จันทร์	25.72	32.07	27.51	31.85	84.78	66.67	86.18	67.11
อังคาร	27.57	33.01	27.49	31.11	86.40	63.01	86.32	69.34
พุธ	29.04	33.83	27.10	31.00	76.31	56.04	85.25	69.38
พฤหัสบดี	29.8	34.77	28.73	33.63	77.26	54.36	78.31	60.11
ศุกร์	29.61	29.56	29.63	34.03	80.19	76.00	69.93	56.00
เสาร์	28.72	34.21	27.55	30.23	78.64	60.53	83.14	78.01
อาทิตย์	27.9	32.49	26.32	28.34	81.57	65.15	91.95	83.49
เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์	28.33	32.84	27.76	31.45	80.73	63.11	83.01	69.06

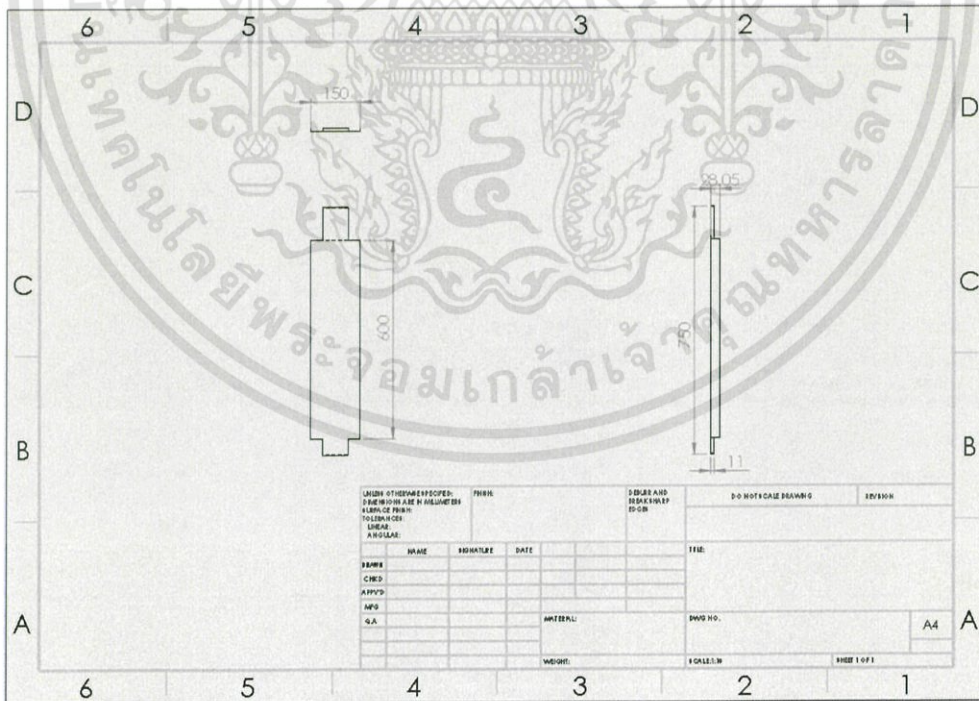




ภาคผนวก ค
แบบแปลนส่วนประกอบชุดอุปกรณ์ระบายความร้อน และแบบวงจรไฟฟ้า

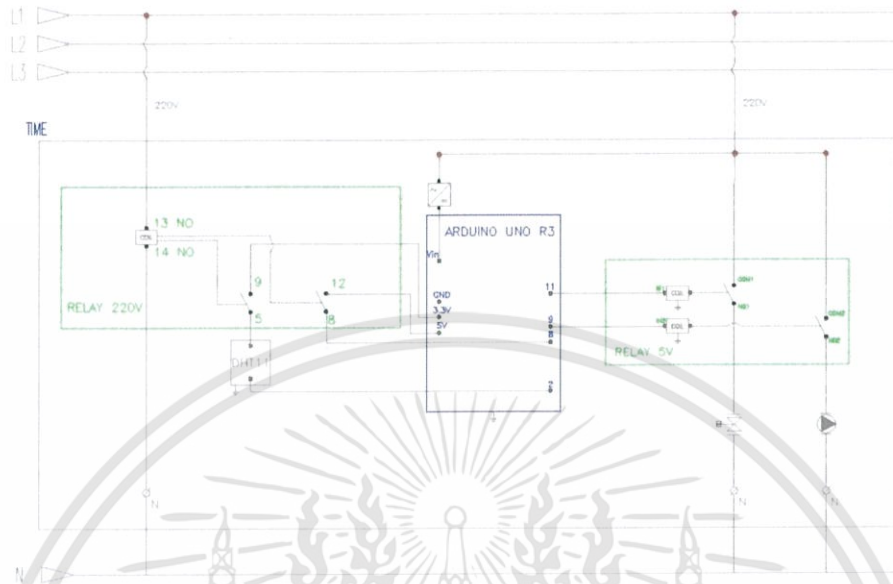


รูปที่ 3-ค แบบโครงประกบด้านล่าง



รูปที่ 4-ค แบบโครงประกบด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-ค แบบวงจรไฟฟ้าของระบบถ่ายน้ำและระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN,DHTTYPE);
int Relay2 = 11;
int COMP = 8;
int Start ;
int Start2 ;
int Start3 ;
unsigned long previousTime ;
int Relay1 = 9;
unsigned long previousTime2 ;
unsigned long CurrentTime;
unsigned long setTime = 1800000; //30 min
unsigned long Overflow = 360000;//6 min
unsigned long StopOverflow = 420000;//7 min
unsigned long Overflow1 = 780000;//13 min
unsigned long StopOverflow1 = 840000;//14 min
unsigned long Overflow2 = 1200000;//20 min
unsigned long StopOverflow2 = 1260000;//21 min
unsigned long Overflow3 = 1620000;//27 min
unsigned long StopOverflow3 = 1680000;//28 min

void setup()
{
dht.begin();
Serial.begin(9600);
pinMode(COMP,INPUT);
pinMode(Relay2,OUTPUT);

```

```

pinMode(Relay1,OUTPUT);
}
void loop()
{
unsigned long ShowTime = millis();

if (digitalRead (COMP) == 1)
{
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();

if (isnan(t) || isnan(h))
{
Serial.println("\nFailed to read from DHT");
delay(1000);
}
if (h >= 80)
{
digitalWrite(Relay2,1);
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t");
Serial.println("h >= 80");
Serial.println("Pumpe is close");
delay(1000);

if (Start2 == 0)
{
CurrentTime = ShowTime;
previousTime2 = previousTime;
Serial.print("Start CurrentTime : ");
Serial.println(CurrentTime);
Serial.print("Start previousTime2 : ");

```

```

        Serial.println(previousTime2);
        Start2 ++;
        delay(1000);
    }

    if (Start2 != 0)
    {

        previousTime = ((ShowTime - CurrentTime) + previousTime2);

        Serial.print("\n\n previousTime : ");
        Serial.println(previousTime);
        Serial.print("\n\n ShowTime ");
        Serial.println(ShowTime);
        Serial.print("\n\n CurrentTime ");
        Serial.println(CurrentTime);
        Serial.print("\n\n previousTime2 ");
        Serial.println(previousTime2);
        delay(1000);
    }

    delay(1000);
}

if (h<80)
{

    digitalWrite(Relay2,0);

    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(h);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.println("h < 80");
}

```

```
Serial.println("Pumpe is open");
```

```
if (Start == 0)
```

```
{
```

```
    previousTime = ShowTime;
```

```
    Start ++;
```

```
}
```

```
    Serial.print("COMP RUN Start:");
```

```
    Serial.println(Start);
```

```
    Serial.print("ShowTime:");
```

```
    Serial.println(ShowTime);
```

```
    Serial.print("previousTime:");
```

```
    Serial.println(previousTime);
```

```
    delay(1000);
```

```
    if ((ShowTime - previousTime )> Overflow && (ShowTime - previousTime )
```

```
< StopOverflow )
```

```
{
```

```
    digitalWrite(Relay2,1);
```

```
    Serial.println("6 min Pumpe is Break 1 min");
```

```
    delay (60000);
```

```
}
```

```
    if ((ShowTime - previousTime )> Overflow1 && (ShowTime - previousTime )
```

```
< StopOverflow1 )
```

```
{
```

```
    digitalWrite(Relay2,1);
```

```
    Serial.println("13 min Pumpe is Break 1 min");
```

```
    delay (60000);
```

```
}
```

```

        if ((ShowTime - previousTime )> Overflow2 && (ShowTime - previousTime )
< StopOverflow2 )
    {
        digitalWrite(Relay2,1);
        Serial.println("20 min Pumpe is Break 1 min");
        delay (60000);
    }
    if ((ShowTime - previousTime )> Overflow3 && (ShowTime - previousTime )
< StopOverflow3 )
    {
        digitalWrite(Relay2,1);
        Serial.println("27 min Pumpe is Break 1 min");
        delay (60000);
    }
    if ((ShowTime - previousTime )< setTime)
    {
        digitalWrite(Relay1,1);
        Serial.println("SolenoidValve is Close");
        delay(1000);
    }
    if ( (ShowTime - previousTime )> setTime )
    {
        digitalWrite(Relay1,0);
        Serial.println("SolenoidValve is Open 1 min");
        delay (60000); //1 min//
        digitalWrite(Relay1,1);
        Serial.println("SolenoidValve is Close");
        previousTime = 0;
        Start = 0;
        Start2 = 0 ;
    }
    Start2 = 0;

```

```

    }
}
if(digitalRead (COMP) == 0)
{
  Serial.println("\n\nPumpe is close");
  if (Start2 == 0)
  {
    CurrentTime = ShowTime;
    previousTime2 = previousTime;
    Serial.print("Start CurrentTime : ");
    Serial.println(CurrentTime);
    Serial.print("Start previousTime2 : ");
    Serial.println(previousTime2);
    Start2 ++;
    delay(1000);
  }
  else if (Start2 != 0)
  {
    previousTime = ((ShowTime - CurrentTime) + previousTime2);
    Serial.print("\n\n previousTime : ");
    Serial.println(previousTime);
    Serial.print("\n\n ShowTime ");
    Serial.println(ShowTime);
    Serial.print("\n\n CurrentTime ");
    Serial.println(CurrentTime);
    Serial.print("\n\n previousTime2 ");
    Serial.println(previousTime2);
    delay(1000);
  }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1-จ รายการวัสดุอุปกรณ์

กลุ่ม	ลำดับ	รายการ	ขนาด หรือปริมาณ	ราคา (บาท)	
โครงรับ น้ำหนัก	1	เหล็กฉากเจาะรู	หนา 1.4 mm (8 m)	486	
	2	สังกะสีแผ่นเรียบ หนา 0.55 mm	เบอร์ 24 (1.175 m ²)	240	
ระบบพักน้ำ และกระจายน้ำ	3	ถังพักน้ำ	56.5 L	299	
	4	วาล์วน้ำเข้าแบบลูกลอยแม่เหล็ก	½ Inch	168	
	5	สายยางใส ท่อยางไทย	5/8 Inch (4 m)	44	
	6	สายยางใส ท่อยางไทย	¾ Inch (9 m)	135	
	7	ข้อต่อตรงสวมอุปกรณ์ PVC+PE	½ Inch (2 ชั้น)	5	
	8	ท่อ PVC	½ Inch(6 m)	31	
	9	ต่อตรงเกลียวใน	½ Inch (5 ชั้น)	9	
	10	งอ 90 องศา เกลียวใน	½ Inch (4 ชั้น)	28	
	11	งอ 90 องศา เกลียวนอก	½ Inch (1 ชั้น)	8	
	12	ต่อตรงเกลียวนอก	½ Inch (3 ชั้น)	9	
	13	หัวฉีดสเปรย์ 360 องศา	8 หัว (640 L/hr/หัว)	15	
	14	งอ 90 องศา	½ Inch	7	
	15	ปลั๊กอุด เกลียวนอก	½ Inch (2 ชั้น)	7	
	16	สามทาง ตรามือ	½ Inch	5	
	17	งอ 90 องศา เกลียวใน	½ Inch (2 ชั้น)	14	
	18	นิปเปิ้ล PVC ตรามือ	½ Inch (2 ชั้น)	6	
	19	เครื่องสูบน้ำ 60 W	H _{max} = 3m , Q _{max} = 3,000 L/hr	450	
	วงจรไฟฟ้า	20	กล่องกันน้ำ LETECH WB 608 G	6"x8"	145
		21	สายไฟ NNN VCT	2 x 1 sq.mm (7 m)	140
22		Solenoid Valve 220VAC	½ Inch	240	
23		OMRON Power Relay	AC220 V	330	
24		Moisture Sensor DHT11	5V	90	
25		Adapter	220V to 5V	100	
26		ปลั๊กยางสามเหลี่ยมขาแบน	2 ชั้น	10	
27		Arduino UNO R3	1 ชั้น	270	
28		Relay Module 5V 2 Channel	1 ชั้น	80	
29		ชุดเต้ารับ 2 ขา 3 ตัว	1 ชั้น	107	
	30	อุปกรณ์ประสานชิ้นงาน	1 ชุด	22	
รวม				3,500	