การพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยสำหรับระบบปรับอากาศขนาดกลาง

น.ส.ไปรยา ทองเหลือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF EVAPORATIVE CONDENSER UNIT FOR MEDIUM SIZE AIR CONDITIONER

Miss Praiya Thongluang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Science for Industry
Common Course
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยสำหรับระบบปรับอากาศขนาดกลาง
โดย	น.ส.ไปรยา ทองเหลือง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธิติ บวรรัตนารักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธิติ บวรรัตนารักษ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคคเณศ ตุงคะสมิต)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศรังสรรค์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ไปรยา ทองเหลือง : การพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยสำหรับระบบปรับอากาศขนาดกลาง. (DEVELOPMENT OF EVAPORATIVE CONDENSER UNIT FOR MEDIUM SIZE AIR CONDITIONER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธิติ บวรรัตนารักษ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ

หน่วยควบแน่นแบบระเหย (Evaporative condenser unit) คือการอาศัยหลักการระเหยของน้ำมาช่วยเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบ (Ambient relative humidity) และอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate) โดยออกแบบคอยล์เสริมเพื่อเป็นบริเวณที่ใช้ในการฉีดพ่นน้ำ พบว่าการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณดิสชาร์จสูงกว่าบริเวณลิควิด 3.5% การทดลองเพื่อศึกษาเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ควบคุมโดยปรับค่าความเร็วอากาศพบว่าเมื่อความเร็วอากาศลดลงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น และความสามารถในการระบายความร้อนมีค่าสูงสุดในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 73.1% ถึง 80.9% การทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำพบว่าพื้นที่สัมผัสบริเวณผิวคอยล์เสริมมากจะสามารถลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นได้มากเช่นกัน นอกจากนี้ขนาดของหัวฉีดพ่นและความชื้นสัมพัทธ์ยังส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็นอีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพจากเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยลมปกติได้สูงถึง 20.36%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

6370205923 : MAJOR SCIENCE FOR INDUSTRY
KEYWORD: Evaporative condenser, Energy Efficiency Ratio (EER), Relative humidity, Water flow rate, Air speed

Praiya Thongluang : DEVELOPMENT OF EVAPORATIVE CONDENSER UNIT FOR MEDIUM SIZE AIR CONDITIONER. Advisor: Assoc. Prof. THITI BOVORNRATANARAKS, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Pongsak Nimdum, Ph.D.

An Evaporative condenser is a condensing unit that utilizes the cooling effect of water evaporation to eliminate heat. This research aims to develop an evaporative condenser system and study the effect of the Energy Efficiency Ratio (EER) improvement which are ambient relative humidity and water flow rate. The modified evaporative condenser is designed by connecting a horizontal tube between a liquid and a discharge line, we found the heat absorption when connecting the horizontal the in the discharge line is more than the liquid line with 3.5%. As the result of varying ambient relative humidity, the ambient relative humidity is reversed proportional to airspeed. The heat absorption is greatest at the ambient relative humidity in the range of 73.1% – 80.9%. An experiment to study the change in water flow rate revealed that the larger the contact area of the horizontal tube surface, the greater temperature of the refrigerant could be reduced as well. In addition, the diameter of the spray nozzle and the relative humidity also affect the reduction of the refrigerant temperature. Furthermore, the prototype of a modified evaporative condenser improved the EER by 20.36%.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Science for Industry	Student's Signature ....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ธิติ บวรรัตนารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงงานจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล ประธานสอบวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคคเณศ ตุงคะสมิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้เกียรติในการเข้าร่วมสอบวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะ ขอขอบคุณโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย เป็นหน่วยงานภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), กลุ่มวิจัย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม (วทน.) และ บริษัท บิทไว้ส์ ฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บริษัท บิทไว้ส์ ฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ จำกัด สนับสนุนในด้านสถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัย

ไปรยา ทองเหลือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

.... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ.. จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญรูป .... ภ

สารบัญตาราง .... ง

บทที่ 1 1

บทนำ.. 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์.. 1

1.3 ขอบเขตงานวิจัย.. 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 2

บทที่ 2 3

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 3

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.2.1 ระบบทำความเย็น (Refrigeration system).. 5

2.2.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทาลปี (P-H diagram) 5

2.2.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer).. 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3 9

วิธีการดำเนินงานวิจัย 9

3.1 การทดสอบเครื่องปรับอากาศ...9

3.1.1 ห้องวัดความร้อนแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Balanced ambient room type calorimeter)...10

3.1.2 ห้องทดสอบชนิด Air enthalpy test method 14

3.2 ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier)...........................15

3.2.1 การทดสอบผลที่เกิดจากการใช้เครื่องพ่นหมอก...15

3.2.2 การทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องพ่นหมอก 16

3.2.3 การทดลองที่สภาวะของสิ่งแวดล้อมมีค่าความชื้นที่แตกต่างกัน 17

3.3 ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่น (Sprayed water) 18

3.3.1 การออกแบบคอยล์เสริม (Horizontal tube) 18

3.3.2 การศึกษาเปรียบเทียบบริเวณที่เชื่อมต่อคอยล์เสริม 18

3.3.3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำความเย็นของหน่วยควบแน่นแบบระเหย 20

3.4 การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย (Phototype of evaporative condenser)....21

3.4.1 การกำหนดรูปแบบและขนาดของเครื่อง 22

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้...23

บทที่ 4 28

ผลการทดลอง...28

4.1 ผลการทดลองระบบเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier) 28

4.2 ผลการทดลองการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำ...31

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการเชื่อมต่อคอยล์เสริมระหว่างบริเวณดิสชาร์จและบริเวณลิควิด...31

4.2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ....33

4.2.2.1 ผลการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)....33

4.2.2.2 ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate)....37

4.3 ผลการทดลองต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย....40

4.4 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ....43

บทที่ 5....46

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง....46

5.1 สรุปผลการทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก....46

5.2 สรุปผลการทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่น....46

5.2.1 สรุปผลบริเวณการเชื่อมต่อคอยล์เสริม....46

5.2.2 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพ....47

5.3 สรุปการออกแบบและผลการทดสอบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย....48

5.4 แนวทางแก้ปัญหาระหว่างทดลอง....48

5.5 ข้อเสนอแนะ....49

บรรณานุกรม....50

ประวัติผู้เขียน....54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ 1 วงจรการทำงานของสารทำความเย็น (Refrigerant cycle)..5

รูปที่ 2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทาลปี (P-H diagram).........................6

รูปที่ 3 ตัวอย่างห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลโดยรอบ 10

รูปที่ 4 ห้องทดสอบแบบ Air enthalpy test method..14

รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอกซึ่งวางไว้ด้านหลังของคอยล์ร้อน และมีอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมคือ (1) เครื่องทำความชื้น (Ultrasonic humidifier รุ่น H310) (2) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (3) เครื่องวัดอุณหภูมิ...16

รูปที่ 6 วงจรกำหนดเวลาซึ่งประกอบไปด้วย Timer จำนวน 2 ตัว และ Magnetic contractor 1 ตัว 17

รูปที่ 7 การจำลองการฉีดพ่นน้ำ 18

รูปที่ 8 การติดตั้งการทดสอบโดยใช้หัวพ่นหมอก (ก) คอยล์เสริมที่นำมาพ่นน้ำ (ข) กล่องที่ออกแบบมาเพื่อใส่คอยล์เสริม (ค) เมื่อนำกล่องของคอยล์เสริมมาติดตั้งเข้ากับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ 19

รูปที่ 9 การวัดค่าภายในกล่องทดลองที่มีการฉีดพ่นน้ำ โดย Pci และ Pco คือ ความดันสารทำความเย็นเข้าและออกคอยล์เสริม Twi และ Two คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นเข้าและออกคอยล์เสริม 21

รูปที่ 10 ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Edge.........................22

รูปที่ 11 PMT2 Panel Mount Power Supply จากบริษัทเดลต้า 23

รูปที่ 12 อุปกรณ์ภายในของ Switching power supply...24

รูปที่ 13 LM2596S Step down module (arduitronics, 2019) 24

รูปที่ 14 ช่องต่าง ๆ (Pinout) บนบอร์ดควบคุม (NodeMCU) 25

รูปที่ 15 โมดูลรีเลย์แบบ 5V 2 Channels, บอร์ด Relay 2 ช่อง 5V Relay Module 5V 2 Channel isolation control 250V/10A;...26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 16 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11), DHT11 Temperature And Relative Humidity Sensor Module For Arduino;....................26

รูปที่ 17 วงจรไฟฟ้าระบบควบคุม....................27

รูปที่ 18 การใช้กำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับสภาวะความชื้นต่าง ๆ....................29

รูปที่ 19 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับสภาวะความชื้นต่าง ๆ....................30

รูปที่ 20 การเกิดตะกรันขวางทางการไหลอากาศ....................30

รูปที่ 21 การพล็อตวงจรการไหลของสารทำความทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลม (เส้นสีฟ้า) และเครื่องปรับอากาศที่เสริมระบบฉีดพ่นน้ำที่เชื่อมต่อบริเวณท่อดิสชาร์จ (เส้นสีดำ) , REFRIGERANTS P-H DIAGRAM;....................33

รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็น....34

รูปที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วอากาศ, และการพาความร้อนของอากาศ....................35

รูปที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, และการลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็น....................35

รูปที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, การพาความร้อนของอากาศ และการระบายความร้อน....................36

รูปที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, การระบายความร้อน และการดูดความร้อน37

รูปที่ 27 การติดตั้งหัวฉีดพ่นแบบ 1 หัว (ด้านซ้าย) และแบบ 2 หัว (ด้านขวา)....................38

รูปที่ 28 ผลการลดลงของสารทำความเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ (สีแดงคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 1 หัวและสีฟ้าคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 2 หัว)....................39

รูปที่ 29 ผลการดูดความร้อนของสารทำความเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ (สีแดงคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 1 หัวและสีฟ้าคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 2 หัว)....................40

รูปที่ 30 การติดตั้งเพื่อทดลองประสทธิภาพการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย อุปกรณ์ดังนี้ 1) พัดลม, 2) หัวฉีดพ่นขนาด 0.1 mm จำนวน 2 หัว, 3) คอยล์เสริม, 4) กล่องไฟ, 5) ปั๊มน้ำ และ 6) ลูกลอย....................41

รูปที่ 31 การกระจายตัวของอุณหภูมิกระเปราะแห้งที่วัดได้จากห้อง Indoor....................44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 32 การกระจายตัวของอุณหภูมิกระเปราะเปียกที่วัดได้จากห้อง Indoor 44

รูปที่ 33 การกระจายตัวของความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องปรับอากาศ 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ภาวะมาตรฐานทดสอบ 9

ตารางที่ 2 ขนาดของห้องวัดความร้อน 11

ตารางที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเทียบกับหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ....................20

ตารางที่ 4 ผลการทดลองจากการเครื่องพ่นหมอกในการช่วยระบายความร้อนให้คอยล์ร้อน 28

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงาน....................29

ตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการเชื่อมต่อคอยล์เสริมระหว่างบริเวณดิสชาร์จและบริเวณลิควิด 31

ตารางที่ 7 ข้อมูลความดันและอุณหภูมิเพื่อนำไปพล็อตในกราฟ P-H 32

ตารางที่ 8 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ....................38

ตารางที่ 9 ผลการทดลองต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ 42

ตารางที่ 10 ผลการทดลองใช้ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น และในปี ค.ศ.2020 มีหลายพื้นที่ที่อุณหภูมิสูงสุดทำลายสถิติเดิมโดยมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 43.5°C และนอกจากนี้อุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งอุณหภูมิอากาศที่สูงส่งผลให้เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นและเสื่อมประสิทธิภาพการทำงาน ดังนั้นเพื่อชะลอการเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและลดการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ (Compressor) จึงจำเป็นต้องใช้ระบบ Evaporative Condenser ดังนั้น บริษัท บิทไว้ส์ ฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในหลากหลายขนาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้ยังเพื่อชะลอการเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ทำให้ในปัจจุบันบริษัทต้องการพัฒนาระบบการระบายความร้อนโดยอาศัยหลักการควบแน่นแบบระเหย (Evaporative condenser) ซึ่งอาศัยการระเหยของน้ำ (Evaporation) ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน เพื่อติดตั้งในเครื่องปรับอากาศขนาดกลาง โดยใช้พื้นที่ไม่มาก สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น (Power consumption) สามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นมากขึ้น (Cooling capacity) และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio; EER) ให้คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการระบายระความร้อนด้วยลมแบบปกติ บริษัทจึงมีแนวคิดที่จะเข้าร่วมโครงการ Science for Industry เพื่อพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหย (Evaporative condenser unit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 25,000 – 30,000 บีทียู
2. เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งหน่วยควบแน่นแบบระเหย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. พัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้เพิ่มขึ้น 10%

2. ศึกษาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งหน่วยควบแน่นแบบระเหย คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate)
3. ทดลองเครื่องปรับอากาศขนาดหน่วยควบแน่น (Condensing unit) 25,000 บีทียู ขนาดหน่วยระเหย (Evaporating unit) 25,000 บีทียู และ 30,000 บีทียู

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบร่างต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย
2. เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งหน่วยควบแน่นแบบระเหย 10%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและอธิบายทฤษฎี โดยประกอบด้วย ระบบทำความเย็น (Refrigerant system) รูปความสัมพัทธ์ความดันและเอลทาลปีของสารทำความเย็น (P-H diagram), และการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat transfer)

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Papaefthimiou et al. (2007) กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของมวลอากาศทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลงและยังช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ฉีดพ่นอีกด้วย แต่หากอัตราการฉีดพ่นน้ำไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของมวลอากาศ จะส่งผลให้เกิดการระเหยไม่สมบูรณ์ กล่าวคือหากอัตราการไหลของมวลอากาศสูง (4 kg/s) จะทำให้มวลน้ำที่ฉีดพ่นไปโดนท่อน้อยลง เนื่องจากเกิดการระเหยในอากาศก่อน และในงานวิจัยถัดมา (Papaefthimiou et al., 2012) ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่สภาวะของสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง โดยผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าอัตราการสูญเสียมวลน้ำสูงสุดเมื่ออุณหภูมิกระเปาะเปียกขาเข้าหอหล่อเย็นแบบเปียก (Wet cooling tower) ต่ำที่สุด (ความชื้นต่ำ) ดังนั้นอุณหภูมิขาเข้าจึงมีความสำคัญต่อระบบหอหล่อเย็นแบบเปียก

Abdel-Fadeel and Hassanein (2012) ได้ทดลองเพื่อลดอุณหภูมิขาเข้าในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยให้ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60% นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วอากาศ ทำให้ได้สมการเพื่อทำนายการลดลงของอุณหภูมิภายในห้อง ณ สภาวะอากาศที่ร้อนและแห้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Harby et al. (2016) ได้นำเสนอภาพรวมของวิธีการพัฒนาระบบ Evaporative condenser โดยมีการเปรียบเทียบการพัฒนาเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ขนาด 3 – 3000 kW พบว่าการใช้ระบบ Evaporative-cooled condenser แบบฉีดพ่นน้ำโดยตรงใส่คอยล์ร้อนสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้มากถึง 58% แต่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนบนผิวท่อและตะกรันได้ (Vrachopoulos et al., 2007) และเพิ่มประสิทธิภาพได้สูงถึง 113.4% ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องทำความเย็น (Chiller) และความเร็วพัดลม (Yu & Chan, 2006)

Rachman and Nesti (2018) เป็นงานวิจัยที่ใช้หัวสเปรย์ฉีดพ่นน้ำใส่บริเวณคอยล์ร้อนโดยตรงเพื่อลดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient Of Performance;

COP) ซึ่งในงานวิจัยได้กล่าวถึง 4 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ คือ อุณหภูมิของน้ำ, อุณหภูมิกระเปราะแห้ง, ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านคอยล์ร้อน และอัตราการฉีดพ่นน้ำ โดยผลที่ได้คือค่า COP จะสูงขึ้นเมื่อความเร็วอากาศที่ไหลผ่านคอยล์ร้อนและอัตราการฉีดพ่นน้ำเพิ่มขึ้น และค่า COP จะลดลงเมื่ออุณหภูมิกระเปราะแห้งสูงขึ้น

Fiorentino and Starace (2018) ทำการทดลองโดยการฉีดพ่นน้ำให้กับเครื่องทำความร้อนแบบไฟฟ้า (Electric heater) โดยตรง ซึ่งกำหนดความเร็วอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวของเครื่องทำความร้อนแบบไฟฟ้ามีค่าคงที่ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของน้ำ, อุณหภูมิของน้ำ, อุณหภูมิกระเปราะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ผลการทดลองทำให้เห็นว่าอัตราการระเหยของน้ำมีค่าถึง 11% จึงจำเป็นต้องนำมาใช้ในการคำนวณ และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ 50% จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ 14%

Setyawan and Badarudin (2020) ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศในสภาวะของภายนอก (Outdoor ambient) มีความชื้นตั้งแต่ 40% - 70% โดยกำหนดให้อุณหภูมิกระเปราะแห้งคงที่ที่ 35°C ผลที่ได้พบว่าพลังงานลดลง 0.23% และค่า EER เพิ่มขึ้นเพียง 0.15% เท่านั้น จึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภายนอกมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในที่พักอากาศ (Residential air conditioning unit) น้อยมาก

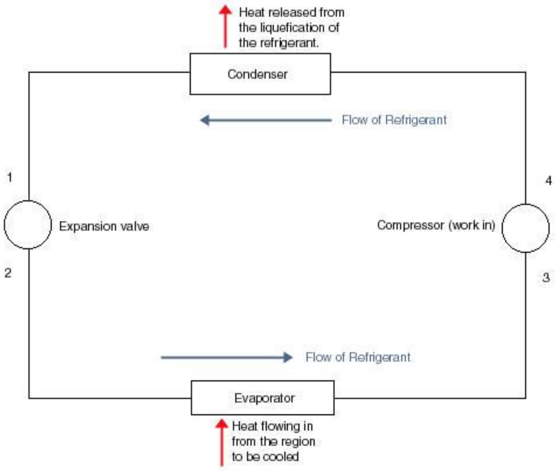
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การใช้ระบบ Evaporative condenser สามารถลดกำลังไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ โดยมีปัจจัยหลักคือความเร็วอากาศ, อัตราการฉีดพ่นน้ำและอุณหภูมิกระเปราะแห้งของอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าระบบ Evaporative condenser มีทั้งแบบโดยตรงและโดยอ้อม ระบบ Evaporative condenser แบบโดยอ้อม เป็นการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อน (Sensible heat) ส่วนระบบ Evaporative condenser แบบโดยตรงเป็นการฉีดพ่นละอองน้ำเข้าไปที่คอยล์ร้อนโดยตรงซึ่งใช้การระเหยของน้ำ (Latent heat) เพื่อลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นภายในคอยล์ร้อน และยังช่วยลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อนอีกด้วย แต่มีข้อเสียคือปัญหาการเกิดตะกรันที่บริเวณฟินคอยล์ (Fin coil) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระบบควบแน่นแบบระเหยโดยตรง (Direct evaporative condenser) และนำคอยล์เสริมมาต่อเพื่อฉีดพ่นน้ำแทนการพ่นน้ำใส่คอยล์ร้อนโดยตรงเพื่อลดปัญหาการเกิดตะกรัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาหน่วยควบแน่นแบบระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศ

ขนาด 25,000 – 30,000 บีทียู ให้มีประสิทธิการทำงานเพิ่มขึ้น 10% นอกจากนี้ได้มีการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์และอัตราการฉีดพ่นน้ำร่วมด้วย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ระบบทำความเย็น (Refrigeration system)

สารทำความเย็นจากคอยล์เย็น (Evaporator) ที่มีสถานะเป็นแก๊สความดันต่ำถูกดูดโดยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิของสารทำความเย็น เมื่อออกจากคอมเพรสเซอร์แล้วสารทำความเย็นจะมีคุณสมบัติที่เป็นแก๊สความดันและอุณหภูมิสูง (Discharge line) เพื่อเข้าสู่คอยล์ร้อน (Condenser) เนื่องจากอุณหภูมิของสารทำความเย็นนั้นสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอยล์ร้อนจึงทำให้ความร้อนจากสารทำความเย็นถ่ายเทสู่สิ่งแวดลอมได้ สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเมื่อสิ้นสุดคอยล์ร้อนบริเวณท่อลิควิด (Liquid line) จากนั้นสารทำความเย็นไหลเข้าวาล์วลดความดัน (Expansion valve) เพื่อลดความดันและอุณหภูมิก่อนกลับเข้าคอยล์เย็น (Evaporator) อีกครั้ง โดยสารทำความเย็นที่ไหลเข้าคอยล์เย็นมีความดันต่ำและอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้อง ทำให้ความร้อนภายในห้องถ่ายเทไปที่สารทำความเย็น จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดลง แล้วไหลต่อไปเรื่อย ๆ เป็นวงจรการไหลของสารทำความเย็นนั่นเอง ดังแสดงในรูป 1



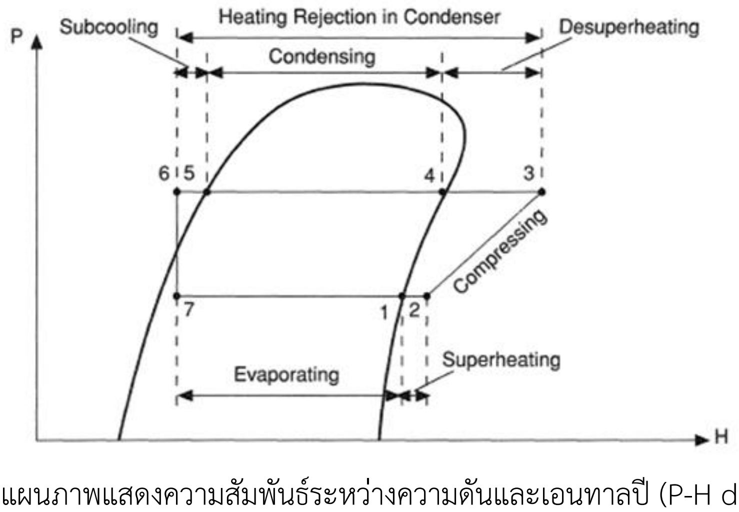
รูปที่ 1 วงจรการทำงานของสารทำความเย็น (Refrigerant cycle)

2.2.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทาลปี (P-H diagram)

P-H Diagram เป็นวิธีการหนึ่งในใช้อธิบายวัฏจักรทำความเย็น เส้นโค้งทึบในรูปที่ 2 คือ เขตเปลี่ยนสถานะ (Phase change region) เป็นพื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid) และเส้นไออิ่มตัว (Saturated vapor) สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นของผสม

(Liquid-vapor mixture) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาจะเป็นการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (Vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากด้านขวาไปซ้ายจะเป็นการควบแน่นจากไอเป็นของเหลว (Condensation) โดยสามารถอธิบายการแบ่งเขตการเปลี่ยนแปลงของสารทำความเย็นดังนี้

- 1 → 2 คือ เขตไอร้อนยิ่งยวด (Superheated region) เป็นพื้นที่ที่สารทำความเย็นมีสภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัวของการกลายเป็นไอ (Saturated vapor temperature)
- 2 → 3 เป็นกระบวนการอัดตัวโดยคอมเพรสเซอร์จะทำการอัดสารทำความเย็นให้มีความดันเท่ากับความดันที่คอยล์ร้อน
- 3 → 6 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่ โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะเป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheat) จะถูกทำให้เย็นลงจนกิดการกลั่นตัวเป็นของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooling)
- 5 → 6 คือ เขตของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooled region) เป็นพื้นที่ที่สารทำความเย็นมีสภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัวของการควบแน่น (Saturated liquid temperature)
- 6 → 7 เป็นกระบวนการขยายตัว หรือ กระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะถูกลดความดันโดยวาร์วลดความดันจนกลายเป็นของผสมที่ความดันต่ำ
- 7 → 2 เป็นกระบวนการรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่ความดันคงที่ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเดือดจนกลายเป็นไออิ่มตัว



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทาลปี (P-H diagram)

จาก P-H diagrams สามารถหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้จากอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling capacity) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (Power consumption) โดยเป็นไปตามสมการ

$$EER = \frac{\text{Cooling capacity}}{\text{Power consumption}} = \frac{H_2 - H_7}{H_3 - H_2} \tag{2.1}$$

โดย H_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์

H_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นหลังออกจากคอมเพรสเซอร์

H_7 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอยล์เย็น

2.2.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

ภายในระบบเครื่องปรับอากาศ บริเวณคอยล์ร้อนสารทำความเย็นจะถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นบริเวณคอยล์ร้อนคำนวณได้จาก

$$q_r = \dot{m}_r(H_{r,in} - H_{r,out}) \tag{2.2}$$

โดย $\dot{m}_r$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

$H_{r,in}$ คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นขาเข้า

$H_{r,out}$ คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นขาออก

ในเชิงการทดลอง เอนทาลปีของสารทำความเย็นหาจากการวัดค่าความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็น จากนั้นนำค่าความดันและอุณหภูมิมาพล็อตใน P-H diagram จึงทำให้ได้ค่าเอนทาลปี

สารทำความเย็นมีการถ่ายเทความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม (อากาศโดยรอบ) โดยความร้อนที่อากาศได้รับสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$q_a = \dot{m}_a(H_{a,out} - H_{a,in}) \tag{2.3}$$

โดย $\dot{m}_a$ คือ ความเร็วอากาศ

$H_{a,in}$ คือ เอนทาลปีของอากาศขาเข้า

$H_{a,out}$ คือ เอนทาลปีของอากาศขาออก

การพาความร้อนเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นกับของไหล การคำนวณค่าการพาความร้อนระหว่างพื้นผิวภายนอกของท่อคอยล์เสริมกับอากาศเป็นดังสมการ

$$q_{conv} = h_c(T_s - T_\infty) \tag{2.4}$$

โดย h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (Convective heat transfer coefficient) โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ (Lee et al., 2009) ที่ได้ศึกษาผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิวคอนกรีตและอากาศโดยรอบ

T_s คือ อุณหภูมิพื้นผิวท่อคอยล์เสริม

T_∞ คือ อุณหภูมิของอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยประกอบด้วย การทดสอบเครื่องปรับอากาศ ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier) ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่น (Sprayed water) และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย

3.1 การทดสอบเครื่องปรับอากาศ

การทดสอบขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิ พิกัดกำลังไฟฟ้าและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ เป็นดังต่อไปนี้

1. ขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิรวมของเครื่อง ณ ภาวะมาตรฐานที่ใช้ทดสอบตามตารางที่ 1 ซึ่งหาได้จากส่วนภายในห้องชุดแฟนคอยล์ ต้องมีค่าน้อยกว่า 95% ของขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องที่ระบุไว้ในฉลาก
2. กำลังไฟฟ้าที่กำหนดต้องไม่เกิน 110% ของกำลังไฟฟ้าที่กำหนดระบุไว้ที่ฉลาก
3. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานให้เป็นไปตาม มอก. 2134 (หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่ออนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศสำหรับห้อง: ประสิทธิภาพพลังงานมาตรฐานเลขที่ มอก.2134-2553)

ตารางที่ 1 ภาวะมาตรฐานทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

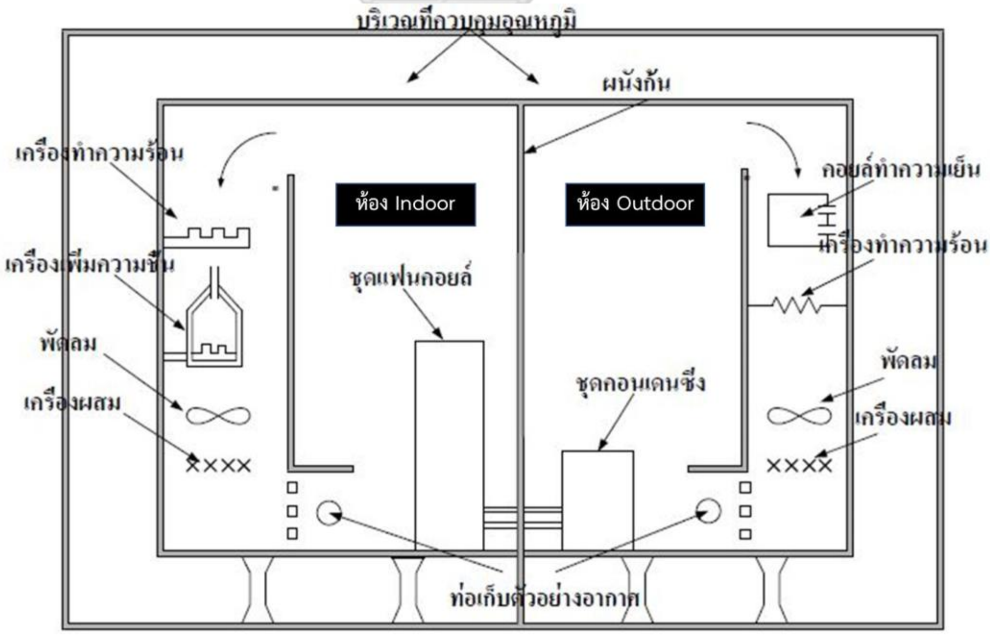
รายการ	อุณหภูมิ	
	กระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature)	กระเปาะเปียก (Wet bulb temperature)
ลมกลับเข้าชุดแฟนคอยล์	27 ± 0.5 °C	19 ± 0.3 °C
ลมกลับเข้าชุดคอนเดนซิง	35 ± 0.5 °C	24 ± 0.3 °C

การทดสอบเครื่องปรับอากาศในงานวิจัยนี้มีการทดสอบโดยใช้ห้อง 2 แบบคือ ห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Balance ambient room type) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 1155 – 2557 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, และห้องทดสอบแบบ Air enthalpy test method ซึ่งอ้างอิงจาก มอก. 2711 – 2558 (มาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มอก. *1155 - 2557*, 2558) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ห้องวัดความร้อนแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Balanced ambient room type calorimeter)

รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งเพื่อทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยใช้ห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ห้อง คือ Indoor และ Outdoor โดยห้อง Indoor คือห้องที่จำลองเพื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็น (Evaporating unit) ส่วนห้อง Outdoor คือห้องที่จำลองสภาวะแวดล้อมภายนอกเพื่อติดตั้งเครื่องระเหย (Condensing unit) การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อวัดขีดความสามารถการทำความเย็นที่ทำการวัดทางอ้อม โดยวัดปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้น โดยทั้งห้อง Indoor และ Outdoor มีอุปกรณ์หลัก ๆ คือ เครื่องทำความร้อน เครื่องเพิ่มความชื้น และเครื่องผสม ซึ่งอุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในผลิตความร้อนภายในห้องตามที่ได้กำหนดไว้ การติดตั้งทดสอบจะติดตั้งเครื่องปรับอากาศตามแบบของผู้ทำการวัด โดยเครื่องปรับอากาศจะทำความเย็นจนก่อเกิดสมดุลขึ้นหรือทำให้ความร้อนภายในห้องเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจำคำนวณแล้วเทียบความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นค่าความเย็นสูงสุดที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ทำได้



รูปที่ 3 ตัวอย่างห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลโดยรอบ

ในการเลือกใช้การทดสอบด้วยวิธีนี้ จะต้องพิจารณาปัจจัย 2 อย่างด้วยกันคือ ห้องวัดความร้อนต้องมีขนาดเพียงพอที่จะทดสอบเครื่องปรับขนาดต่าง ๆ โดยให้อากาศไหลเข้าและส่งออกจาก

เครื่องปรับอากาศได้สะดวก ซึ่งขนาดห้องทดสอบที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 2 ส่วนเครื่องปรับอากาศประจำห้องวัดความร้อนต้องมีอุปกรณ์ส่งลมให้กระจายสม่ำเสมอทั่วห้องทดสอบและไม่ส่งผลกระทบต่อการส่งลมและการดูดลมของเครื่องปรับอากาศทดสอบ

ตารางที่ 2 ขนาดของห้องวัดความร้อน

ขีดความสามาถทำความเย็นที่กำหนดสูงสุดของเครื่อง (W)	ความกว้างต่ำสุด (mm)	ความสูงต่ำสุด (mm)	ความลึกต่ำสุด (mm)
3000	2400	2100	1800
6000	2400	2100	2400
9000	2700	2400	3000
12000	3000	2400	3700

วิธีการทดสอบ

ให้เครื่องปรับอากาศทำงานเต็มที่โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เป็นไปตามตารางที่ 1 เมื่อห้องทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุลให้ควบคุมสภาวะสมดุลนั้นต่อไปอีก 1 ชั่วโมง โดยให้มีการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นทุก ๆ 5 นาที รวม 7 ชุด แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่อง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้กำหนดให้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอ่านค่าและคำนวณผล โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. วิธีการคำนวณขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ

   1.1 ขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิของเครื่องจากภายในห้องชุดแฟนคอยล์

   การทดสอบหาความสามารถทำความเย็นสุทธิของเครื่องปรับอากาศ (Cooling capacity) เป็นไปตามสมการ 3.1

$$q_{tci} = \sum E_r + (h_{w1} - h_{w2})W_r + q_p + q_r \tag{3.1}$$

เมื่อ q_{tci} คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิจากส่วนภายในห้องชุดแผนคอยล์ (W)

$\sum E_r$ คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในห้องชุดแฟนคอยล์ (W)

h_{w1} คือ เอนทาลปีของน้ำหรือไอน้ำซึ่งใช้ในการเพิ่มความชื้น (J/kg)

h_{w2} คือ เอนทาลปีของน้ำควบแน่นที่ไหลออกจากห้อง (J/kg)

W_r คือ อัตราน้ำที่ควบแน่นในห้องชุดแฟนคอยล์ (kg/s)

q_p คือ อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องชุดแฟนคอยล์เย็น ผ่านผนังกั้นห้องชุดแฟนคอยล์และห้องชุดคอนเดนซิง (W)

q_r คือ อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องชุดแฟนคอยล์ผ่านพื้นผนัง (W)

1.2 ขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิของเครื่องจากภายในห้องชุดคอนเดนซิง

การทดสอบหาความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (Heat rejection) เป็นไปตามสมการ 3.2

$$q_{tco} = q_c - \sum E_c - E + (h_{w3} - h_{w2})Wh_r + q'_p + q_a \quad (3.2)$$

เมื่อ q_{tco} คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิจากส่วนภายในห้องชุดคอนเดนซิง (W)

q_c คือ ความร้อนที่ผ่านออกทางแผงคอยล์เย็นประจำห้องชุดคอนเดนซิง (W)

$\sum E_c$ คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้กับอุปกรณ์ปรับสภาวะในห้องชุดแฟนคอยล์ (W)

E คือ กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศทดสอบ (W)

h_{w2} คือ เอนทาลปีของน้ำหรือไอน้ำซึ่งใช้ในการเพิ่มความชื้นประจำห้องในห้องชุดคอนเดนซิง (J/kg)

h_{w3} คือ เอนทาลปีของน้ำควบแน่นที่มีแผลคอยล์เย็นประจำห้องชุดคอนเดนซิง (วัดอุณหภูมิน้ำโดยตรงใกล้ทางไหลออกจากห้อง) (J/kg)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Wh_r คือ อัตราน้ำที่ควบแน่นบนคอยล์ทำความเย็นประจำห้องชุดคอนเดนซิง (kg/s)

q'_p คือ อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากห้องชุดคอนเดนซิงผ่านผนังกั้นห้องชุดแฟนคอยล์และชุดคอนเดนซิง (W)

q_a คือ อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากห้องชุดคอนเดนซิงผ่านพื้นผนังและเพดาน (W)

2. ขีดความสามารถลดความชื้นสุทธิ

$$q_{lci} = 2.46 \times 10^6 W_r \tag{3.3}$$

เมื่อ q_{lci} คือ ขีดความสามารถลดความชื้นสุทธิ (W)

3. ขีดความสามารถลดความร้อนสัมผัสสุทธิ

$$q_{sci} = q_{tci} - q_{lci} \tag{3.4}$$

เมื่อ q_{sci} คือ ขีดความสามารถลดความร้อนสัมผัสสุทธิ (W)

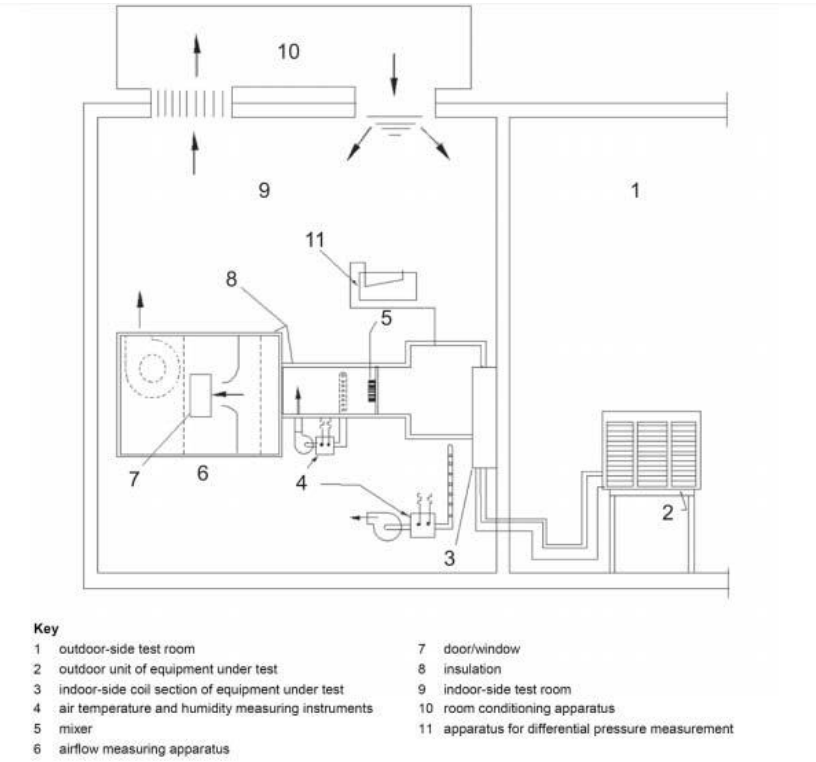
4. วิธีคำนวณหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)

$$EER = \frac{q_{tci}}{E} \tag{3.5}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.2 ห้องทดสอบชนิด Air enthalpy test method

การทดสอบชนิด Air enthalpy test method แตกต่างจากการใช้ห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลกับบรรยากาศโดยรอบคือ วิธีการวัดปริมาณความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ กล่าวคือการทดสอบแบบใช้ห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลโดยรอบจะทำการวัดโดยอ้อม แต่การทดสอบแบบ Air enthalpy test method นั้นจะทำการวัดอากาศที่ออกมาโดยตรง ทำโดยการสร้างอุโมงค์ลมเพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศที่ออก แล้วทำการคำนวณตามสมการที่ (3.6)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4 ห้องทดสอบแบบ Air enthalpy test method

<u>วิธีการทดสอบ</u>

ให้เครื่องปรับอากาศทำงานเต็มที่โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เป็นไปตามตารางที่ 1 เมื่อห้องทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุลให้ควบคุมสภาวะสมดุลนั้นต่อไปอีก 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยให้มีการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นทุก ๆ 5 นาที รวม 7 ชุด แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่อง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้กำหนดให้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอ่านค่าและคำนวณผล โดยขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องจากส่วนภายในห้องชุดแฟนคอยล์มีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

$$q_{tci} = 60 \times \frac{q_{mi}(h_{a1}-h_{a2})}{V'_{lev}} \quad (3.6)$$

เมื่อ h_{a1} คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศก่อนเข้าชุดแฟนคอยล์ (BTU/lb)

h_{a2} คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศออกจากชุดแฟนคอยล์ก่อนเข้า Nozzle (BTU/lb)

q_{mi} คือ ความเร็วอากาศก่อนเข้า Nozzle แต่ละตัว (cu.ft/lb)

V'_{lev} คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศก่อนเข้า Nozzle (cu.ft/lb)

3.2 ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier)

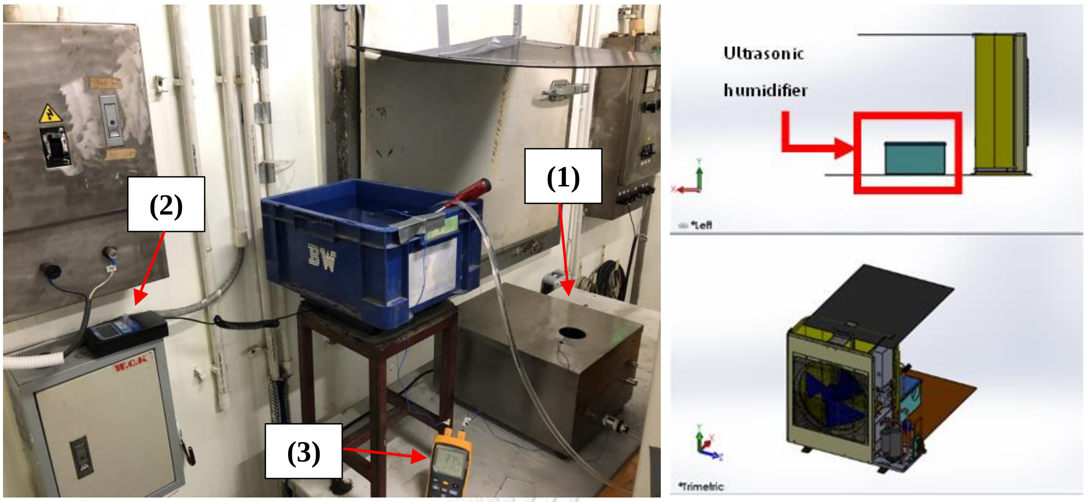
การทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier) ทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยใช้ห้องวัดความร้อนแบบปรับสมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน ได้แก่

3.2.1 การทดสอบผลที่เกิดจากการใช้เครื่องพ่นหมอก

การติดตั้งเพื่อทดสอบผลที่เกิดจากการใช้เครื่องพ่นหมอก เป็นดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5
2. ทดลองเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาและเครื่องปรับอากาศแบบเสริมด้วยเครื่องพ่นหมอกให้คอยล์ร้อน โดยการควบคุมห้องทดสอบให้มีค่า อุณหภูมิกระเปราะแห้ง (Dry bulb temperature)/อุณหภูมิกระเปราะเปียก (Wet bulb temperature) เท่ากับ 35°C/24°C ซึ่งคิดเป็นร้อยละความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 40.8
3. เมื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของห้องให้ได้ตามที่กำหนดแล้ว ทำการทดลองเครื่องปรับอากาศแบบเสริมด้วยเครื่องพ่นหมอกให้คอยล์ร้อน โดยการเก็บค่าอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองแบ่งออกเป็นการเก็บข้อมูลทั้งหมด 7 ครั้งทุก ๆ 5 นาที นั่นคือใช้เวลา 35 นาทีต่อการทดลองหนึ่งครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอกซึ่งวางไว้ด้านหลังของคอยล์ร้อน และมีอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมคือ (1) เครื่องทำความชื้น (Ultrasonic humidifier รุ่น H310) (2) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (3) เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.2.2 การทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องพ่นหมอก

ออกแบบการทดลองออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

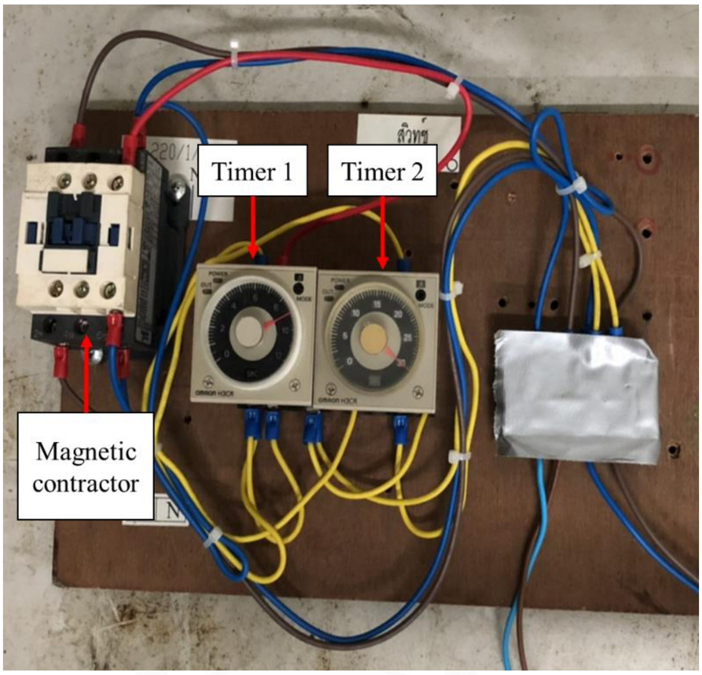
1. เปิดเครื่องพ่นหมอกตลอดทั้งการทดลอง
2. เปิด - ปิด เครื่องพ่นหมอกโดยคำนวณการเปิด - ปิด จากน้ำที่ได้จากการควบแน่นของคอยล์เย็น

   เนื่องจากคอยล์เย็นมีการควบแน่น ทำให้ได้น้ำคอนเดน (Condensate water) ซึ่งอัตราน้ำที่เกิดจากการควบแน่นของคอยล์เย็นมีค่า 2 kg/h แต่เครื่องพ่นหมอกมีอัตราการใช้น้ำ 4.5 kg/h ดังนั้นน้ำที่ได้จากการควบแน่นคิดเป็น 45% ของน้ำที่ต้องการใช้ จึงได้ทำการออกแบบการทดลองโดยการ เปิดเครื่องพ่นหมอก 45% ของเวลาที่ใช้ในการทดลอง และ ปิดเครื่องพ่นหมอก 55% ของเวลาที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้น้ำเพียงพอต่อการฉีดพ่น

   การทดลองใช้เวลา 5 นาทีต่อการเก็บผลการทดลอง (ค่าที่เก็บได้ 1 ค่านั้น มาจากการเฉลี่ยข้อมูลทุก ๆ นาที) และทำการเก็บทั้งหมด 7 ผลการทดลอง ซึ่งใช้เวลา 35 นาที ดังนั้นในการทดลองจึงออกแบบให้ เปิดเครื่องพ่นหมอก 2 นาที 15 วินาที และ ปิดเครื่องพ่นหมอก2 นาที 45 วินาที
3. เปิด-ปิด เครื่องเครื่องพ่นหมอกโดยคำนวณการเปิด-ปิด จากพลังงานที่ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการทดลองในตอนที่ 3.2.1 พบว่าเมื่อใส่เครื่องพ่นหมอกสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ 76.89 W แต่เครื่องพ่นหมอก (เครื่องที่ใช้คือมี Ultrasonic 10 หัว, มอเตอร์ (Motor) 220V 0.14A และระบบรักษาระดับน้ำ) ใช้กำลังไฟฟ้ารวมคือ 450 W ซึ่งมากกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถลดได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยการเปิดเครื่องพ่นหมอก 20% (8.5 วินาที) ของเวลาที่ใช้ในการทดลอง และ ปิดเครื่องพ่นหมอก 80% (30 วินาที) ของเวลาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 วงจรกำหนดเวลาซึ่งประกอบไปด้วย Timer จำนวน 2 ตัว และ Magnetic contractor 1 ตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.3 การทดลองที่สภาวะของสิ่งแวดล้อมมีค่าความชื้นที่แตกต่างกัน

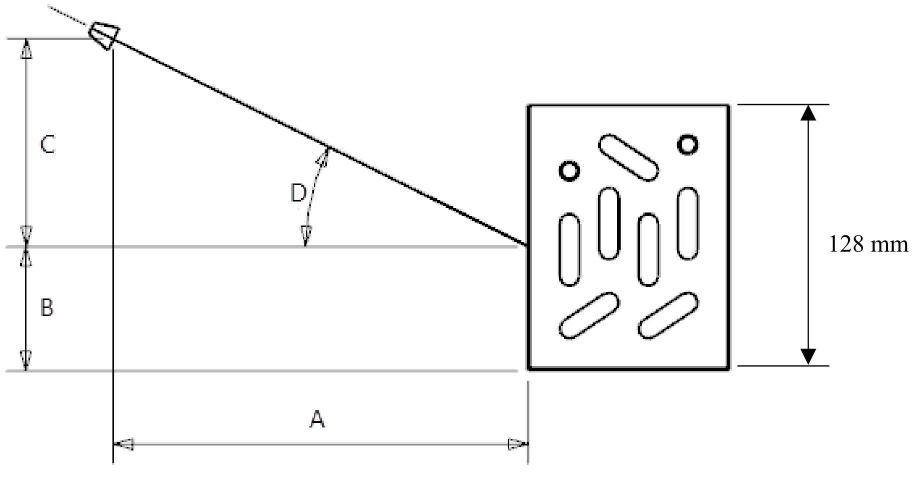
ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5 ทดลองโดยการกำหนดสภาวะห้อง Outdoor มีค่าความชื้นตั้งแต่ 40% - 75% และสภาวะห้อง Indoor มีค่าคงที่คือ อุณหภูมิกระเปราะแห้ง (Dry bulb temperature)/อุณหภูมิกระเปราะเปียก (Wet bulb temperature) เท่ากับ 27°C/19°C

3.3 ระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่น (Sprayed water)

การทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยเสริมระบบการเกิดละอองน้ำแบบหัวฉีดพ่น ทดสอบโดยใช้ห้องทดสอบแบบ Air enthalpy test method และการออกแบบระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่นขนาดต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การออกแบบคอยล์เสริม (Horizontal tube)

การออกแบบคอยล์เสริมที่จะนำมาใช้เป็นบริเวณฉีดพ่นน้ำ ออกแบบจากการจำลอง (Simulation) ฉีดพ่นน้ำไปยังคอยล์เสริมแบบ 4 แถวโดยใช้โปรแกรม Flow 3D ซึ่งการวางตำแหน่งเป็นไปตามรูปที่ 7 โดย A คือระยะห่างระหว่างหัวฉีดพ่นและคอยล์เสริม, B คือ ความสูงจากพื้นถึงกึ่งกลางคอยล์เสริมซึ่งมีความยาว 64 mm, C คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางคอยล์เสริมไปยังหัวฉีดพ่น และ D คือ มุมที่หัวฉีดพ่นทำกับเส้นขนานจุดกึ่งกลางคอยล์เสริม

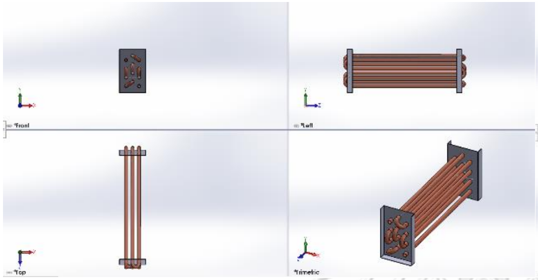


รูปที่ 7 การจำลองการฉีดพ่นน้ำ

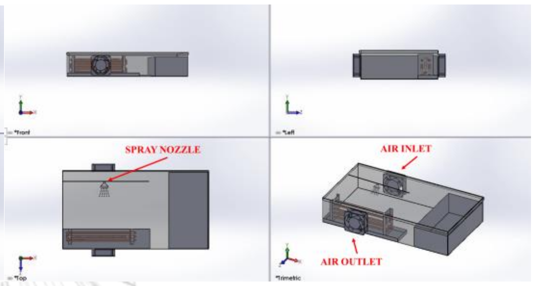
3.3.2 การศึกษาเปรียบเทียบบริเวณที่เชื่อมต่อคอยล์เสริม

การออกแบบระบบการเกิดละอองน้ำในการฉีดพ่นละอองน้ำใส่ท่อที่นำมาต่อบริเวณระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอยล์ร้อน (ท่อดิสชาร์จ) หรือ บริเวณที่ออกจากคอยล์ร้อน (ท่อลิควิด) การติดตั้งการทดลองเป็นดังรูปที่ 8 (ค) จากรูปจะเห็นว่าทิศทางการไหลของอากาศของกล่องทดลองมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการไหลอากาศของคอยล์ร้อน เนื่องจากต้องการออกแบบให้อากาศชื้นที่เหลือจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์เสริม สามารถไหลออกจากกล่องแล้ววนกลับเข้าไปที่เครื่อง

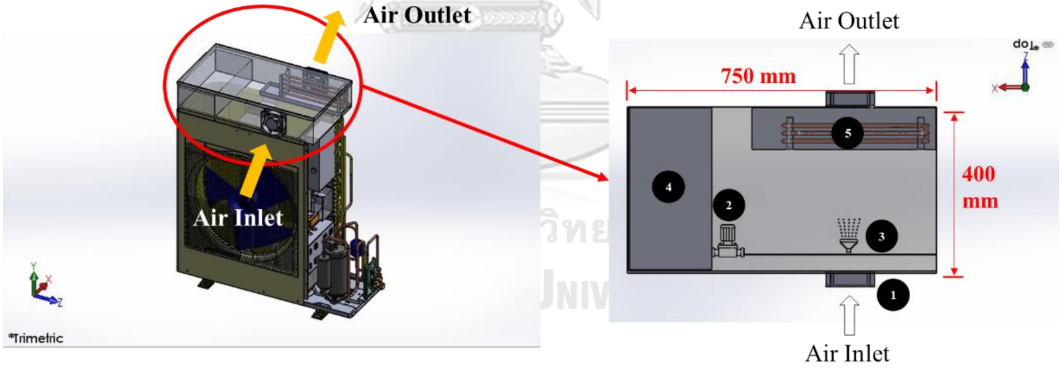
คอยล์ร้อนได้ การทดสอบนี้ได้ออกแบบคอยล์เสริมเพื่อนำมาพ่นน้ำเฉพาะบริเวณ โดยคอยล์เสริม (Horizontal tube) ที่ใช้เป็นแบบแนวนอน 3 แถว (3R 1 Circuit) ดังแสดงในรูป 8 (ก) ทั้งนี้การเลือกใช้คอยล์เสริมเป็นผลมากจากการจำลองตามการทดลองที่ 3.3.1 และในการทดลองได้นำคอยล์เสริมไปติดตั้งไว้ในกล่องดังในรูปที่ 8 (ข) เพื่อไปติดตั้งเข้ากับระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยลมปกติ จากนั้นทดลองหาค่าความสามารถในการทำความเย็นเพื่อหาบริเวณเชื่อมต่อคอยล์เสริมที่ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 8 การติดตั้งการทดสอบโดยใช้หัวพ่นหมอก (ก) คอยล์เสริมที่นำมาพ่นน้ำ (ข) กล่องที่ออกแบบมาเพื่อใส่คอยล์เสริม (ค) เมื่อนำกล่องของคอยล์เสริมมาติดตั้งเข้ากับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ

3.3.3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำความเย็นของหน่วยควบแน่นแบบระเหย

หลังจากทดลองหาบริเวณที่เหมาะสมต่อการเชื่อมต่อคอยล์เสริมตามหัวข้อที่ 3.3.2 ในการทดลองถัดมาได้มีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำความเย็น ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงสภาวะภายในกล่องทดลอง แต่ควบคุมสภาวะแวดล้อมของห้องทดลองให้เป็นไปตามการทดสอบแบบ Air enthalpy test method คือ ห้องภายใน (Indoor room) มีอุณหภูมิกระเปราะแห้ง (Dry bulb temperature)/อุณหภูมิกระเปราะเปียก (Wet bulb temperature) มีค่า 27°C/19°C และห้องภายนอกมีอุณหภูมิกระเปราะแห้ง (Dry bulb temperature)/อุณหภูมิกระเปราะเปียก (Wet bulb temperature) มีค่า 35°C/24°C โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ (Ambient relative humidity)

   การทดลองฉีดพ่นน้ำในสภาวะที่มีเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองให้อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 47.8% - 90.4% ควบคุมการทดลองโดยใช้ Variable Voltage Transformer (VARIAC) ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าของพัดลมเพื่อควบคุมความเร็วอากาศ (Air speed) เนื่องจากเมื่อมีการฉีดพ่นน้ำเกิดขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองจะสะสมและสูงขึ้น ดังนั้นการเปิดพัดลมจะเป็นตัวช่วยระบายความชื้นภายในกล่อง โดยเมื่ออัตราการไหลของพัดลมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองลดลง และการทดลองนี้ใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm จำนวน 1 หัว

2. การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate)

   การทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการฉีดพ่นน้ำใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1, 0.2 และ 0.3 mm ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการฉีดพ่น โดยแบ่งออกเป็นการใช้หัวพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm จำนวน 1 และ 2 หัว, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm จำนวน 1 และ 2 หัว, และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm จำนวน 1 และ 2 หัว โดยอัตราการไหลของน้ำเป็นไปตามตารางที่ 3

<u>ตารางที่ 3</u> อัตราการไหลของน้ำเทียบกับหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ

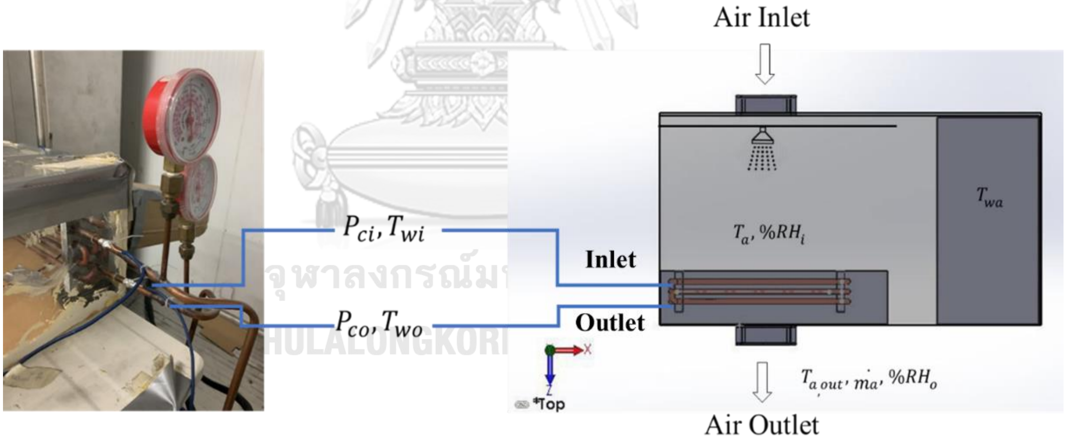
จำนวนหัวฉีดพ่น	1			2		
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดพ่น (mm)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
อัตราการไหลของน้ำ (kg/h)	0.96	1.52	2.16	2.16	2.8	4.56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การฉีดพ่นน้ำแบบ 1 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1, 0.2, และ 0.3 mm พื้นที่ที่น้ำสัมผัสกับพื้นผิวท่อที่ไม่แตกต่างกัน และการฉีดพ่นน้ำแบบ 2 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1, 0.2, และ 0.3 mm พื้นที่ที่น้ำสัมผัสกับพื้นผิวท่อที่ไม่แตกต่างกัน

ในการทดลองมีการวัดค่าต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

1) วัดค่าความดันของสารทำความเย็น $(\mathrm{P_c})$ โดยการเจาะรูตั้งฉากแล้วเชื่อมต่อเกจ์วัดความดัน (Pressure gauge) บริเวณขาเข้าและขาออกคอยล์เสริม
2) วัดค่าอุณหภูมิผิวท่อทองแดง $(\mathrm{T_w})$
3) วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณขาเข้า, ภายใน และขาออกกล่องทดลอง
4) วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศบริเวณขาเข้า, ภายใน และขาออกกล่องทดลอง $(\mathrm{T_a})$
5) วัดค่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ฉีดพ่น $(\mathrm{T_{wa}})$
6) วัดค่าอัตราการไหลอากาศ $(\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{a})$ แล้วนำมาคำนวณเป็นความเร็วอากาศ



รูปที่ 9 การวัดค่าภายในกล่องทดลองที่มีการฉีดพ่นน้ำ โดย P_{ci} และ P_{co} คือ ความดันสารทำความเย็นเข้าและออกคอยล์เสริม T_{wi} และ T_{wo} คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นเข้าและออกคอยล์เสริม

3.4 การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย (Phototype of evaporative condenser)

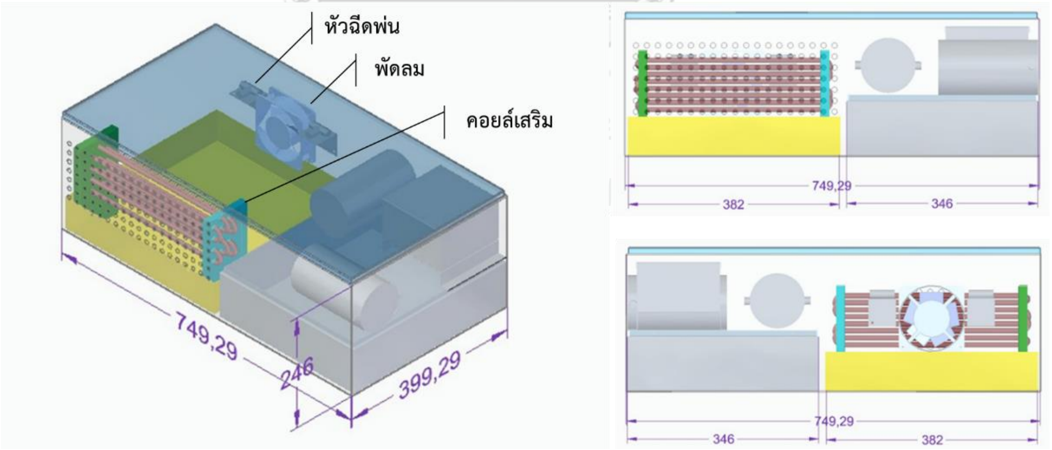
การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบมีการกำหนดขอบเขตการออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ ดังต่อไปนี้

3.4.1 การกำหนดรูปแบบและขนาดของเครื่อง

การกำหนดรูปแบบและขนาดภายนอกของเครื่องมีข้อจำกัดจากขนาดของเครื่องระบายความร้อน (Condensing unit) เนื่องจากในการใช้งานหน่วยควบแน่นแบบระเหยจะติดตั้งที่ด้านบนของเครื่องระบายความร้อนและต่อเชื่อมท่อบริเวณดิสชาร์จ ดังนั้นในการออกแบบจึงมีข้อกำหนดดังนี้

1) ขนาดด้านยาวต้องน้อยกว่าเครื่องระบายความร้อน (น้อยกว่า 965 mm)
2) ความสูงไม่ควรสูงเกินไป เนื่องจากพื้นที่ติดตั้งชุดควบแน่นแบบระเหยจะต้องติดตั้งด้านบนของเครื่องระบายความร้อน โดยเครื่องระบายความร้อนมีความสูง 855 mm ดังนั้นจึงควรออกแบบไม่เกินกว่า 300 mm
3) โดยทั่วไปการออกแบบคอยล์ร้อนจะต้องออกแบบให้ค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop) มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นท่อที่นำมาใช้ออกแบบคอยล์เสริมจึงเลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.525 mm (3/8 inch) เนื่องจากเป็นขนาดท่อที่ใช้ทำคอยล์ร้อนในเครื่องระบายความร้อน เพื่อเลี่ยงการเกิดความดันตกคร่อม โดยมีความยาว 305 mmและความสูง 127 mm

จากกรอบข้อกำหนดข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยเป็นดังรูปที่ 10 โดยใช้โปรแกรม Solid Edge



รูปที่ 10 ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Edge

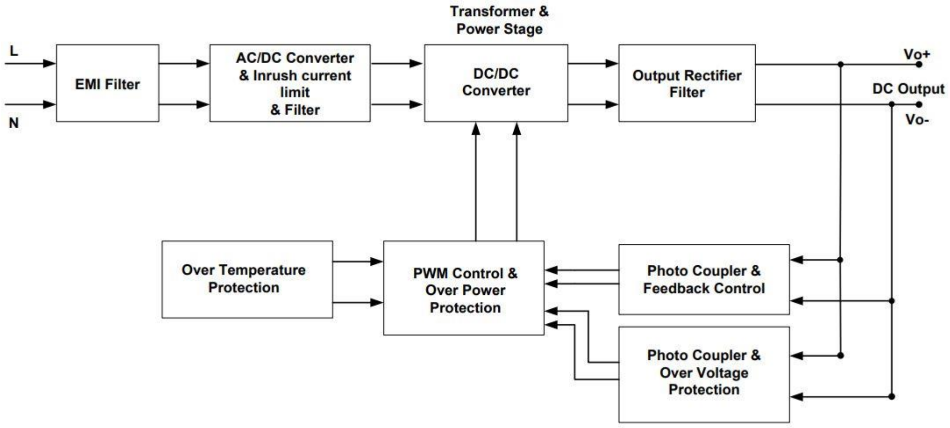
3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้

การออกแบบระบบฉีดพ่นน้ำมีอุปกรณ์ที่ใช้คือ ปั๊มน้ำ 2 ตัว, หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm จำนวน 2 หัว, และระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้

1) Switching power supply

Switching power supply ที่เลือกใช้คือรุ่น PMT2 Panel Mount Power Supply ของบริษัทเดลต้า เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดัน 220 โวลต์ ไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่กระแสตรงที่มีแรงดัน 24 โวลต์ ซึ่งอุปกรณ์ภายในจะเป็นไปดังรูปที่ 12 โดยมี EMI Filter เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนต่าง ๆ (Noise) ที่จะเข้ามาในระบบไฟ 220 โวลต์, AC/DC Converter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง, DC/DC Converter ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคงที่เป็นแรงดันกระแสตรงที่ปรับค่าได้ตามต้องการและสุดท้ายผ่านวงจรเรียงกระแส (Rectifier filter) เพื่อแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง

รูปที่ 11 PMT2 Panel Mount Power Supply จากบริษัทเดลต้า



รูปที่ 12 อุปกรณ์ภายในของ Switching power supply

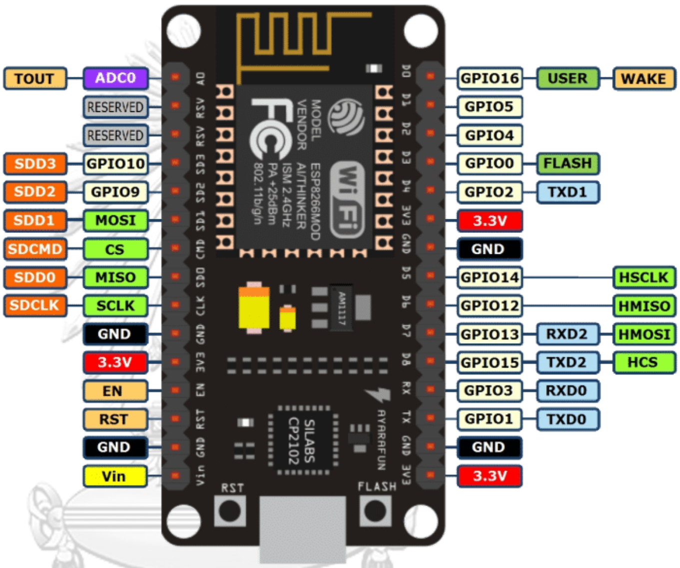
2) เครื่องลดแรงดันไฟฟ้า (Step down transformer)

LM2596S Module เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่า Output ได้โดย Potentiometer ที่อยู่บนบอร์ด การนำมาใช้งานในระบบควบคุมคือ แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ออกจาก Switching power supply ให้มีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เพื่อนำไปจ่ายไฟให้กับ NodeMCU

รูปที่ 13 LM2596S Step down module (arduitronics, 2019)

3) บอร์ดควบคุม (NodeMCU)

บอร์ดของ NodeMCU คือ บอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะการทำงานตามคำสั่งภาษาC ประกอบด้วย ESP8266 (ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้) โดยบอร์ดจะประกอบไปด้วยช่องต่าง ๆ ที่สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ภายนอกได้ การนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ใช้เป็นบอร์ดควบคุมเพื่อรับค่าความชื้นจากเซนเซอร์วัดความชื้น (DHT11) แล้วอ่านค่า เมื่ออ่านค่าความชื้นได้ต่ำกว่า 80.9% บอร์ดนี้จะทำหน้าที่ในการสั่งงานให้จ่ายไฟไปที่รีเลย์ให้พัดลมหยุดการทำงาน เพื่อคงสภาวะให้ความชื้นมีค่าที่เหมาะสมกับระบบ



รูปที่ 14 ช่องต่าง ๆ (Pinout) บนบอร์ดควบคุม (NodeMCU)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
NGKORN UNIVERSITY

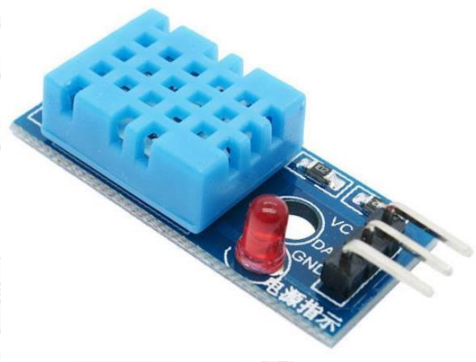
4) รีเลย์ (Relay module)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปิด – ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ใช้รีเลย์เข้ามาช่วยในการสั่งเปิดพัดลมเมื่อความชื้นสูงกว่า 80.9% และปิดเมื่อความชื้นต่ำกว่า 80.9% โดยปกติพัดลมจะทำงานตลอด แต่เมื่อความชื้นต่ำกว่า 80.9% บอร์ดควบคุมจะส่งคำสั่งมายังรีเลย์เพื่อให้รีเลย์หยุดการทำงานของพัดลม

รูปที่ 15 โมดูลรีเลย์แบบ 5V 2 Channels, บอร์ด Relay 2 ช่อง 5V Relay Module 5V 2 Channel isolation control 250V/10A;

5) เซนเซอร์วัดความชื้น (DHT11)

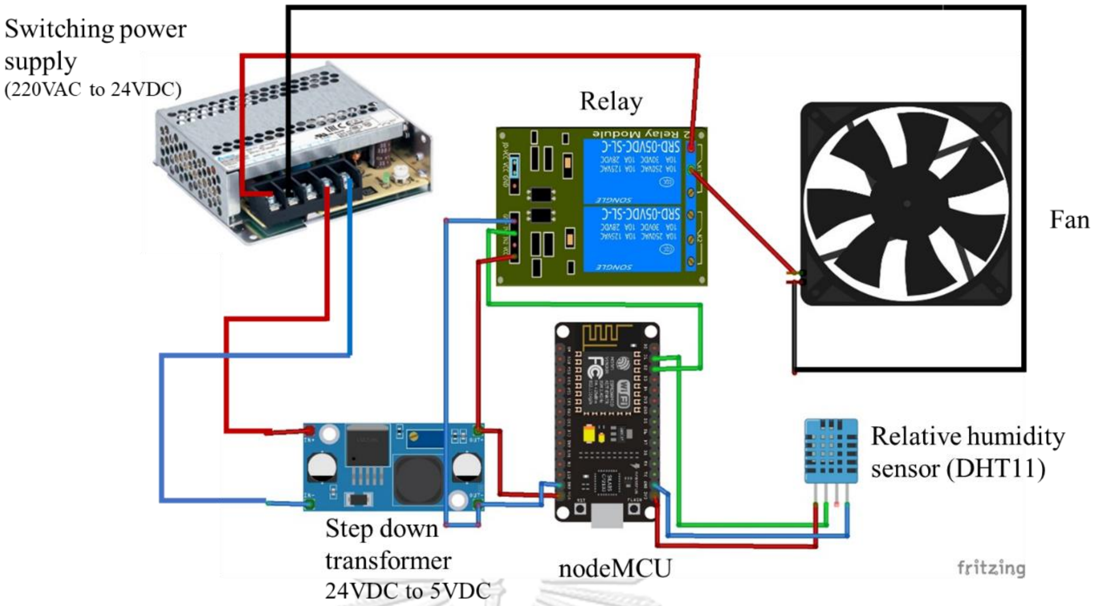
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) เป็นแบบ Resistive humidity sensor นำมาใช้เพื่อวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่อง



รูปที่ 16 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11), DHT11 Temperature And Relative Humidity Sensor Module For Arduino;

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมและอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นดังรูปที่ 17 โดย Switching power supply แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับปั๊มน้ำและเพื่อส่งต่อไปยัง Step down transformer ซึ่งทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้มีค่า 5 โวลต์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ NodeMCU และรีเลย์ ต่อไป



รูปที่ 17 วงจรไฟฟ้าระบบควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลอง โดยประกอบด้วย การทดลองระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier), การทดลองระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำ (Sprayed water), และการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย

4.1 ผลการทดลองระบบเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier)

งานวิจัยเริ่มต้นการทดลองแรกจากการใช้เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier) เป็นระบบทำให้เกิดละอองน้ำ โดยมีผลการทดสอบต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองจากการเครื่องพ่นหมอกในการช่วยระบายความร้อนให้คอยล์ร้อน

ข้อมูล	เครื่องปรับอากาศธรรมดา	เครื่องปรับอากาศแบบเสริม	ร้อยละความต่าง
ความสามารถทำความเย็นสุทธิ (BTU/h)	21408.02	22384.10	4.56
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)	1839.00	1762.12	-4.18
EER (BTU/h/W)	11.64	12.71	9.15
Suction Temp. (C)	14.19	16.58	16.88
Liquid Temp. (C)	43.72	40.16	-8.14

*เครื่องหมายลบ (-) ของร้อยละความแตกต่าง แสดงถึงค่าที่ลดลง

ตารางที่ 4 พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบเสริมด้วย Ultrasonic humidifier ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อน (Liquid line) มีค่าลดลง 8.14% (มีการเพิ่มขึ้นของ Subcooling) ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ 9.15% แต่ทั้งนี้ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องพ่นหมอกยังไม่ได้นำมาคำนวณร่วมด้วย

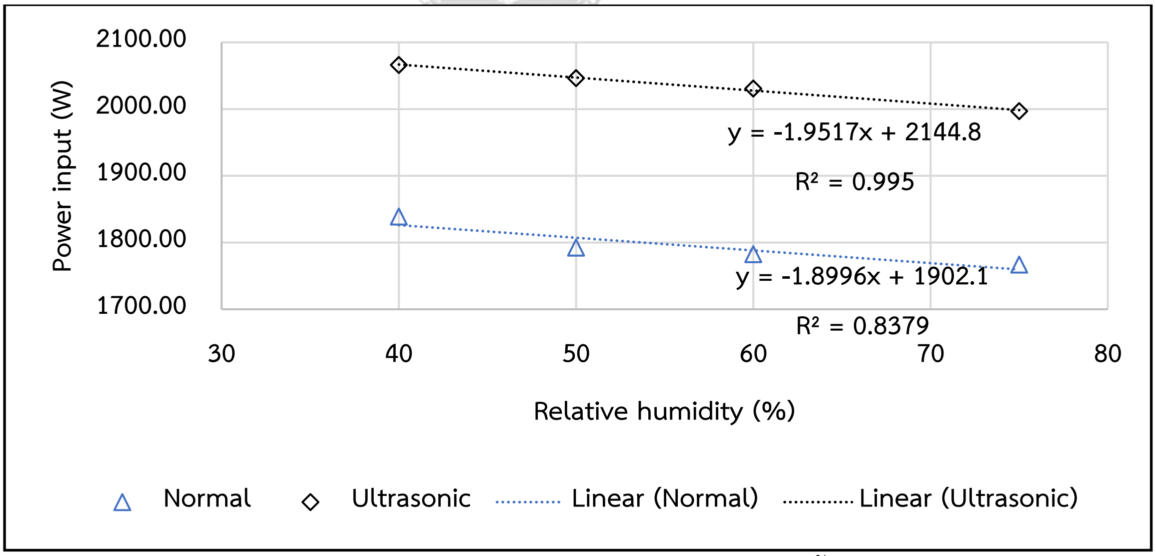
ตารางที่ 5 ผลการทดลองเมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องพ่นหมอกมาร่วมในการคำนวณ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) มีค่าลดลง เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่เครื่องพ่นหมอกใช้มากกว่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ แม้ว่าจะมีจะมีการเปิด - ปิดเครื่องพ่นหมอกระหว่างทดลอง อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ยังทำให้ทราบว่า

เมื่อพ่นละอองน้ำหรือทำให้เกิดความชื้นด้านหลังคอยล์ร้อนจะสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้ ดังนั้นในการทดลองถัดไปจึงได้ทำการศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบ

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

ข้อมูล	เครื่องปรับอากาศธรรมดา	O =100%	O = 45%, C = 55%	O = 22%, C = 78%
ความสามารถทำความเย็นสุทธิ (BTU/h)	21408.02	21861.77	21710.21	21695.44
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)	1839	2201.28	2001.94	1925.91
EER (BTU/h/W)	11.64	9.93	10.95	11.37
Suction Temp. (C)	14.19	19.14	17.29	16.52
Liquid Temp. (C)	43.72	41.88	41.94	42.66

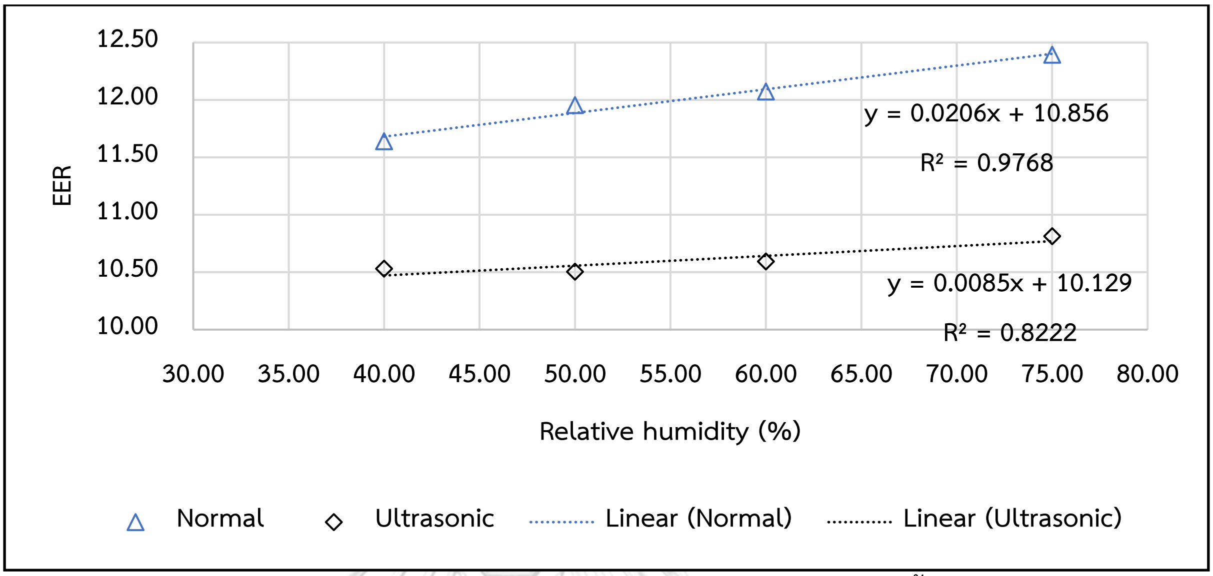
*O คือ เปิดเครื่องพ่นหมอก และ C คือ ปิดเครื่องพ่นหมอก



รูปที่ 18 การใช้กำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับสภาวะความชื้นต่าง ๆ

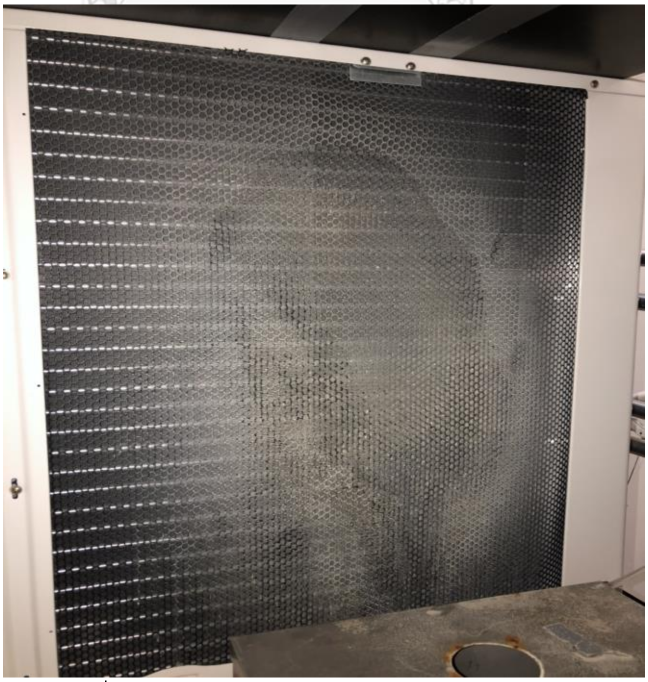
รูปที่ 18 พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบ Outdoor สูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าของทั้งเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาและเครื่องปรับอากาศแบบเสริมด้วยเครื่องพ่นหมอก เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นต่ำสุด (40%) และความชื้นสูงสุด (75%) มีค่าเพิ่มขึ้น 3.91% และ 4.11% ตามลำดับ



รูปที่ 19 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับสภาวะความชื้นต่าง ๆ

รูปที่ 19 พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพ (EER) ของทั้งเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาและเครื่องปรับอากาศแบบเสริมด้วยเครื่องพ่นหมอกเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นต่ำสุด (40%) และความชื้นสูงสุด (75%) มีค่าเพิ่มขึ้น 6.47% และ 3.54% ตามลำดับ



รูปที่ 20 การเกิดตะกรันขวางทางการไหลอากาศ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 พบว่าระบบการเกิดละอองน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอกสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้แต่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงเกินไป และยังพบว่าหากฉีดพ่นละอองน้ำเข้าไปโดยตรงด้านหลังคอยล์ร้อนจะทำให้เกิดตะกรันซึ่งขวางทางการไหลของอากาศ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถระบายความร้อนได้เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นการออกแบบการทดลองถัดไปจึงมีข้อกำหนดดังนี้

1) ระบบการเกิดละอองน้ำต้องไม่ใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินกว่าที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้
2) การฉีดพ่นน้ำต้องไม่ทำให้เกิดตะกรันซึ่งเป็นสาเหตุของการลดประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศของคอยล์ร้อน
3) ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถทดลองความชื้นสัมพัทธ์แบบละเอียดได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบการทดลองให้สามารถศึกษาความชื้นสัมพัทธ์แบบละเอียดมากขึ้น

4.2 ผลการทดลองการเกิดละอองน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำ

การทดลองการเกิดละอองโดยใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำคำนึกถึงข้อกำหนดที่ได้กล่าวไว้ในตอนท้ายของการทดลองในหัวข้อ 4.1 ระบบมีการออกแบบเพื่อเลี่ยงปัญหาการเกิดตะกรันอันเป็นสาเหตุของการลดประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศ, ออกแบบระบบการเกิดละอองน้ำที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำและสามารถเพิ่มปริทธิภาพเครื่องปรับอากาศได้และออกแบบระบบให้สามารถควบคุมความชื้นสภาวะแวดล้อมได้ ผลการทดลองการฉีดพ่นละอองน้ำแสดงดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการเชื่อมต่อคอยล์เสริมระหว่างบริเวณดิสชาร์จและบริเวณลิควิด

ระบบการเกิดละอองน้ำแบบใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำมีการออกแบบคอยล์เสริมเพื่อเป็นบริเวณในการฉีดพ่น ดังนั้นการศึกษาเริ่มต้นจึงเป็นการศึกษาเพื่อเลือกบริเวณการเชื่อมต่อที่สามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด

<u>ตารางที่ 6</u> แสดงผลการเปรียบเทียบตำแหน่งการเชื่อมต่อคอยล์เสริมระหว่างบริเวณดิสชาร์จและบริเวณลิควิด

ตำแหน่งการเชื่อมต่อคอยล์เสริม	ท่อดิสชาร์จ	ท่อลิควิด
ความสามารถในการทำความเย็น (BTU/h)	24843.2	24146.5
% การเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศธรรมดา	24.5%	21.0%

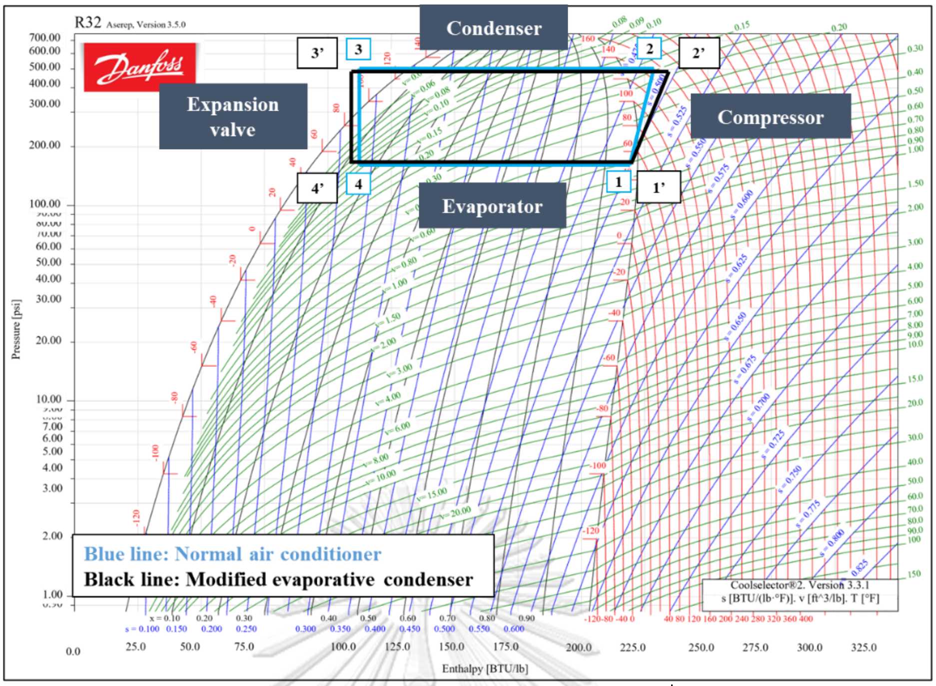
ตารางที่ 6 พบว่าการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อลิควิดสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้สูงสุด 21.0% และการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อดิสชาร์จสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้สูงขึ้น 24.5% ซึ่งสูงกว่าการเชื่อมต่อบริเวณลิควิด 3.5%

การทดลองนี้มีการวัดค่าความดันเกจ (Gauge pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) สารทำความเย็นที่บริเวณต่าง ๆ เพื่อนำมาพล็อตในกราฟ P-H การนำค่าความดันเกจจากการวัดมาพล็อตในกราฟจะต้องเปลี่ยนแปลงให้เป็นความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) ก่อน โดยข้อมูลที่ใช้ในการพล็อตแสดงในตารางที่ 7 และเมื่อนำไปพล็อตในกราฟ P-H แล้วจะแสดงดังรูปที่ 21 ซึ่งพบว่าการเสริมระบบฉีดพ่นน้ำบริเวณท่อดิสชาร์จสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้ โดยความสามารถในการทำความเย็นนั้นคำนวณจากสมการที่ 2.1

ตารางที่ 7 ข้อมูลความดันและอุณหภูมิเพื่อนำไปพล็อตในกราฟ P-H

ข้อมูล	ความดัน (Absolute pressure; Psi)		อุณหภูมิ (Temperature; F)	
	เส้นสีฟ้า	เส้นสีดำ	เส้นสีฟ้า	เส้นสีดำ
Suction	166.7	168.7	50.3306	51.6293
Discharge	444.7	444.7	146.505	163.303
Liquid	168.7	162.7	48.6814	48.332

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 21 การพล็อตวงจรการไหลของสารทำความทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลม (เส้นสีฟ้า) และเครื่องปรับอากาศที่เสริมระบบฉีดพ่นน้ำที่เชื่อมต่อบริเวณท่อดิสชาร์จ (เส้นสีดำ) , REFRIGERANTS P-H DIAGRAM;

4.2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

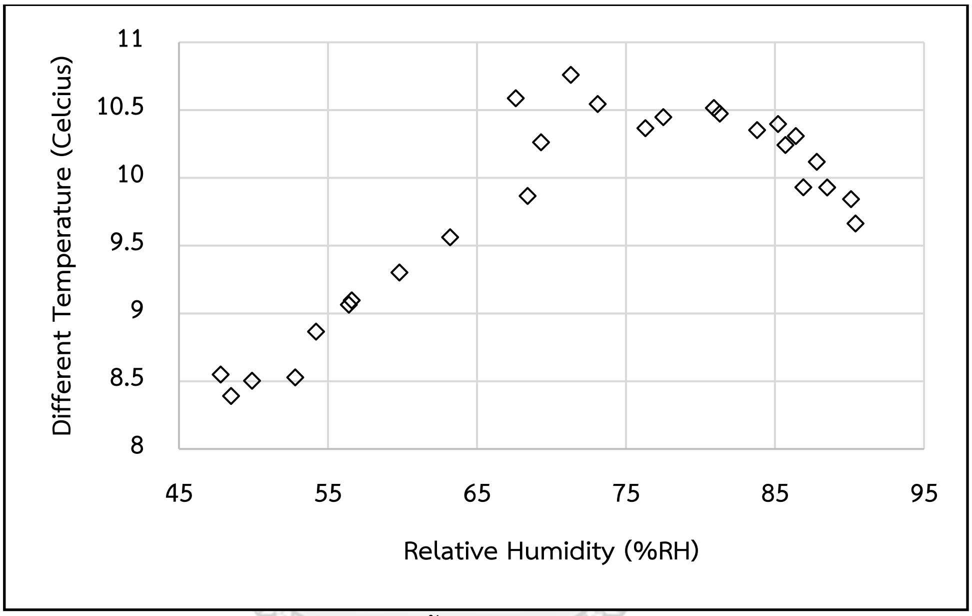
การทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate) ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 47.8% ถึง 90.4 % พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วอากาศในช่วง 0 – 3 เมตรต่อวินาที (m/s) และทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ 0.96, 1.52, 2.16, 2.8, และ 4.56 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/h) ทำการทดลองโดยการติดตั้งเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อดิสชาร์จและได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

การทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 47.8% ถึง 90.4% โดยวิธีการควบคุมความเร็วของอากาศ ในการทดลองใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm จำนวน 1 หัว ตลอดการทดลอง

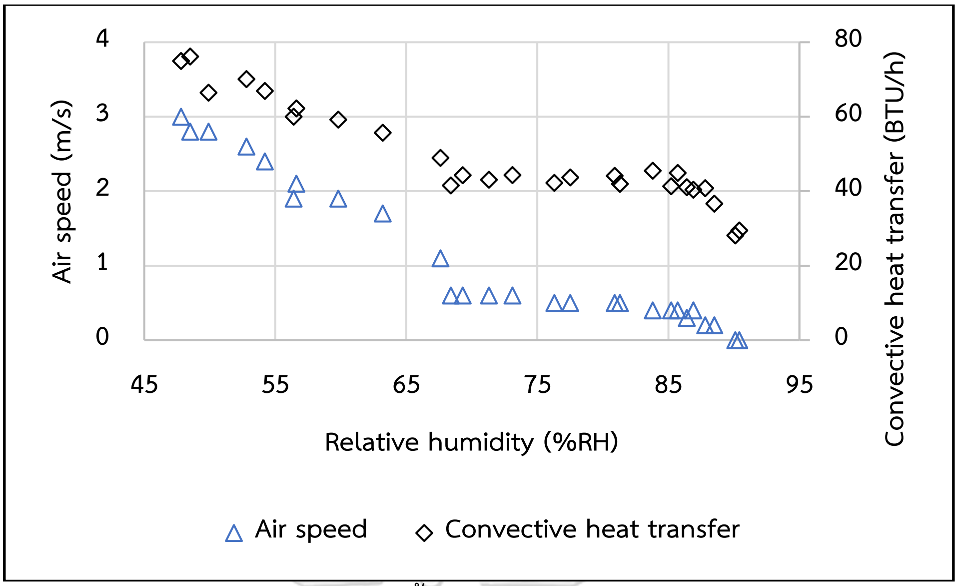
รูปที่ 22 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำความเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลอง ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำความเย็นคือผลต่างระหว่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นขาเข้า\และขาออกคอยล์เสริม โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

1) การเพิ่มขึ้นของผลต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นระหว่างเข้าและออกคอยล์เสริม โดยเกิดขึ้นในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 47.8% ถึง 73.1%
2) การคงที่ของผลต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นระหว่างเข้าและออกคอยล์เสริมในช่วงการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่าง 73.1% ถึง 80.9%
3) การลดลงของผลต่างอุณหภูมิของสารทำความเย็นระหว่างเข้าและออกคอยล์เสริมในช่วงการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 80.9% ถึง 90.4%

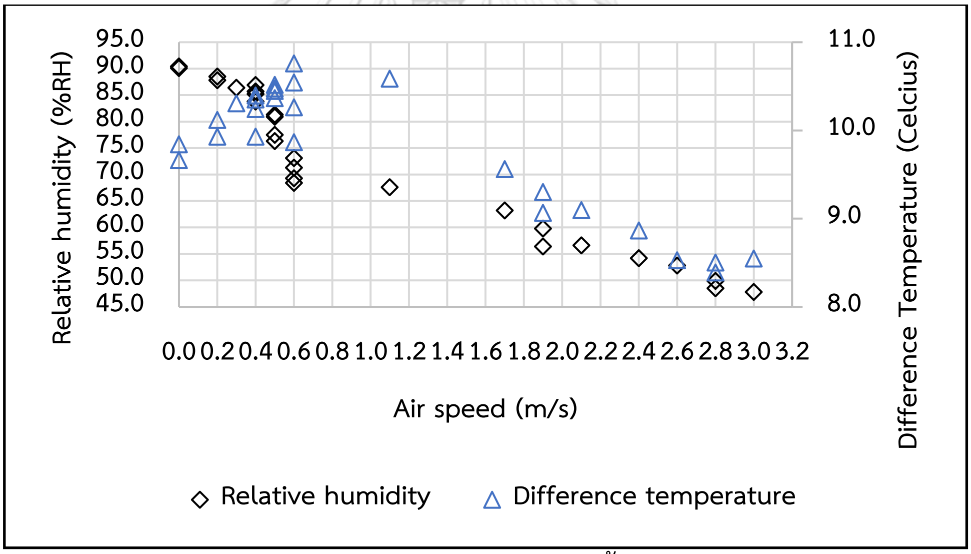


รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และการลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็น

รูปที่ 23 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วอากาศ พบว่าเมื่อความเร็วอากาศลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 47.8% ถึง 69.3% และคงที่ในช่วงระหว่าง 69.3% ถึง 86.4% และในช่วงสุดท้ายความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นตามการลดลงของความเร็วอากาศ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.5 ยังแสดงค่าการคำนวณการพาความร้อนที่สอดคล้องกับความเร็วอากาศอีกด้วย โดยการคำนวณการพาความร้อนสามารถคำนวณตามสมการ (2.4)



รูปที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วอากาศ, และการพาความร้อนของอากาศ



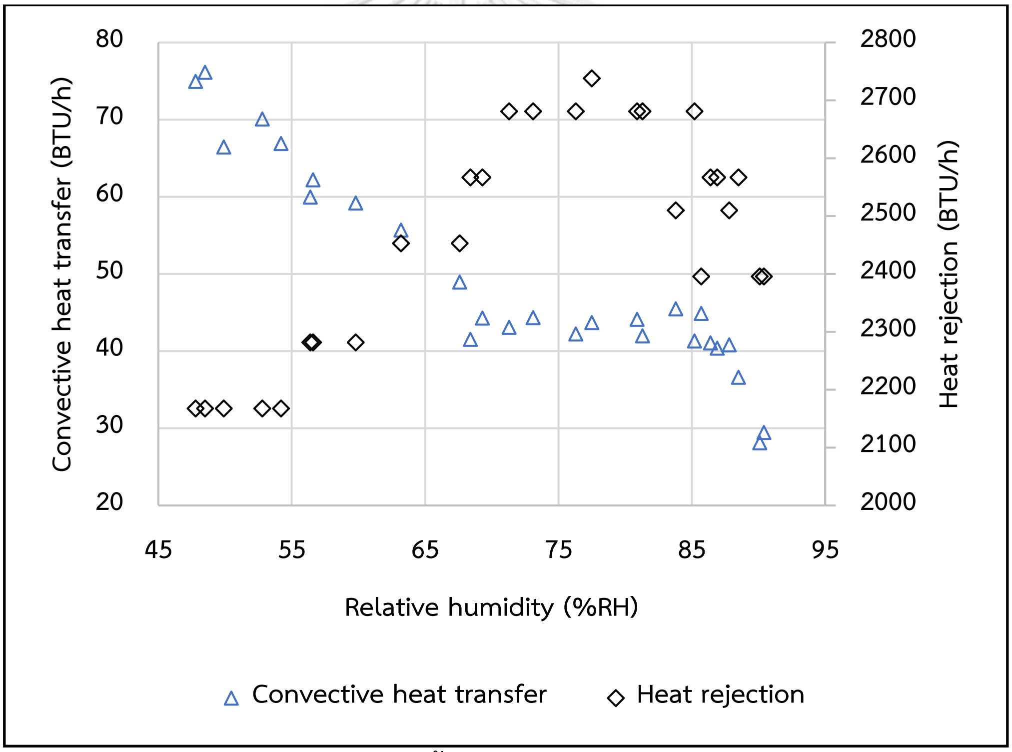
รูปที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, และการลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็น

รูปที่ 24 พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศในช่วง 0 – 0.6 m/s ส่งผลให้การลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศ 1.1 – 3.0 m/s จะพบว่าแม้การพาความร้อนของอากาศมีค่าสูงขึ้น (อ้างอิงจากรูป 4.4) แต่การลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็นของสารทำความเย็นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อความเร็วอากาศแปรผกผันกับความชื้น

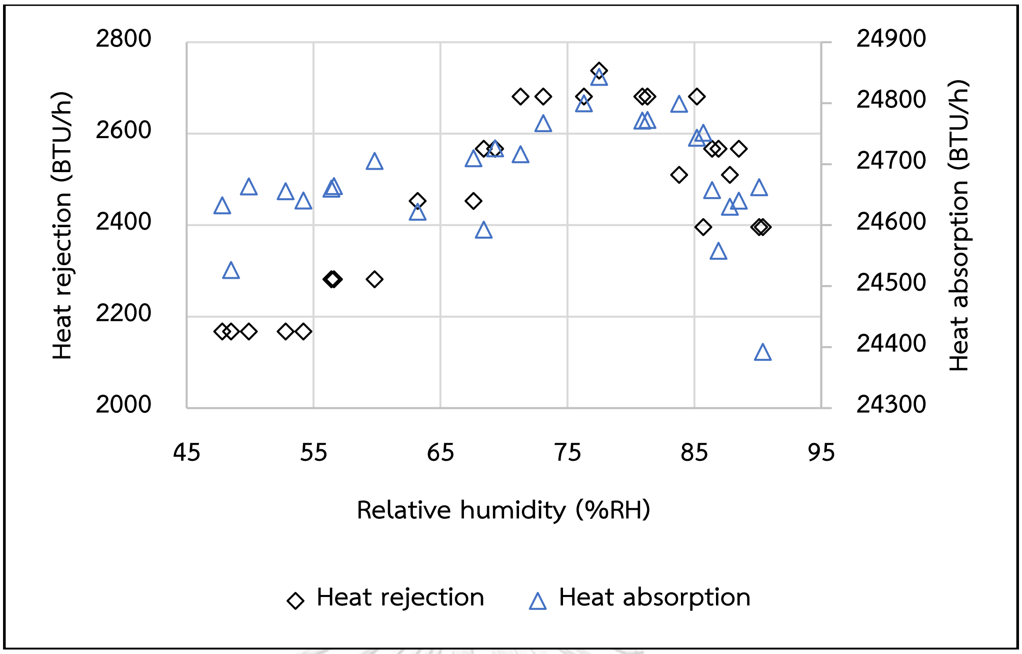
สัมพัทธ์ ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไปทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรวมไม่ดีเท่าที่ควร โดยผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าความเร็วอากาศส่งผลต่อการลดลงของสารทำความเย็นอย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 25 แสดงผลการคำนวณการพาความร้อนและการระบายความร้อนของคอยล์เสริมเมื่อเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ โดยการพาความร้อนคำนวณตามสมการ (2.4) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศภายในกล่อง และการคำนวณจากสมการ (2.2) ซึ่งหมายถึงความร้อนที่สารทำความเย็นระบายความร้อนให้กับอากาศโดยรอบ ผลการทดลองได้ดังนี้

ช่วงการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ 47.8% - 73.1% การระบายความร้อนเพิ่มขึ้นตามแต่การพาความร้อนลดลงเนื่องจากการลดลงของความเร็วอากาศ, ช่วงการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ 73.1% - 80.9% ทั้งการระบายความร้อนและการพาความร้อนมีค่าค่อนข้างคงที่ และช่วงการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ 80.9% - 90.4% การระบายความร้อนลดลงและการพาความร้อนมีค่าต่ำสุด



รูปที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, การพาความร้อนของอากาศ และการระบายความร้อน



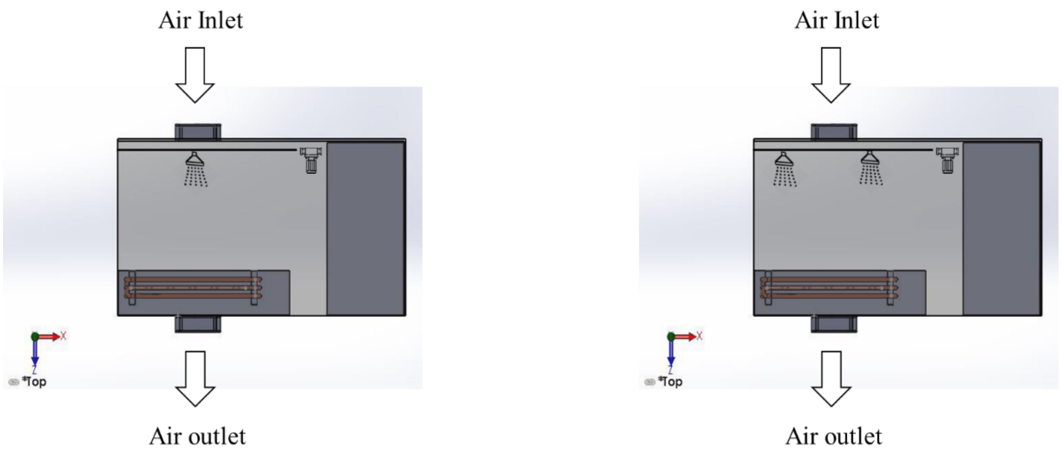
รูปที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์, การระบายความร้อน และการดูดความร้อน

รูปที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบการระบายความร้อนของคอยล์เสริมและการดูดความร้อนของคอยล์เย็น พบว่าเมื่อการระบายความร้อนของสารทำความเย็นบริเวณคอยล์เสริม (Heat rejection) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดความร้อนของความเย็นบริเวณคอยล์เย็น (Heat absorption) หรือ ความสามารถในการทำเย็น (Cooling capacity) สูงขึ้นตาม โดยความสามารถในการทำความเย็นและการระบายความร้อนมีค่าสูงสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 77.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.2.2 ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำ (Water flow rate)

การทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำโดยการเปลี่ยนขนาดหัวฉีดพ่น พื้นที่สัมผัสบริเวณคอยล์เสริมของหัวฉีดพ่นแต่ละขนาดมีพื้นที่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือการฉีดพ่นน้ำแบบ 1 หัว หรือแบบ 2 หัว จะมีพื้นที่สัมผัสที่ผิวคอยล์เสริมไม่แตกต่างกันในทุก ๆ ขนาด แต่การฉีดพ่นน้ำแบบ 1 หัวและแบบ 2 หัว มีพื้นที่สัมผัสไม่เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 การติดตั้งหัวฉีดพ่นแบบ 1 หัว (ด้านซ้าย) และแบบ 2 หัว (ด้านขวา)

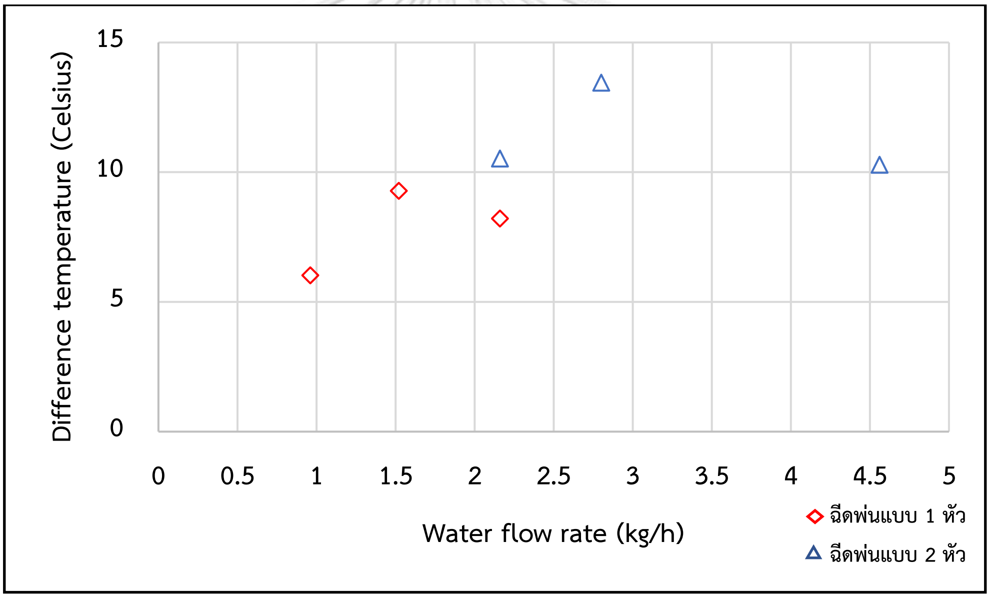
ตารางที่ 8 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ

จำนวนหัวฉีดพ่น	1			2		
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดพ่น (mm)	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm
อัตราการไหลของน้ำ (kg/h)	0.96	1.52	2.16	2.16	2.8	4.56
ผลต่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออกคอยล์เสริม (องศาเซลเซียส)	6.03	9.29	8.22	10.53	13.45	10.29
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	50.5	53.6	53.6	78.9	80.8	83.7

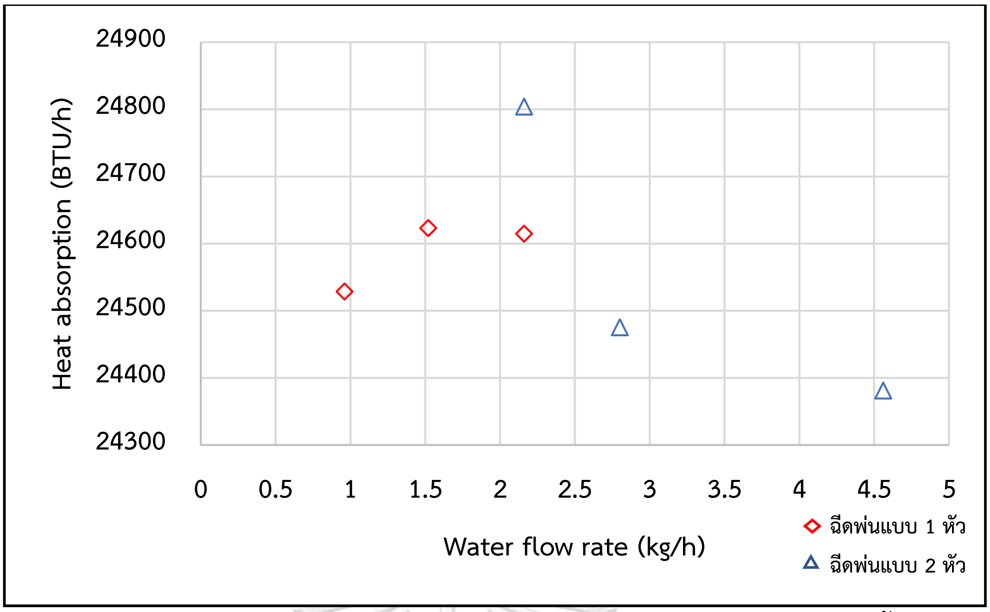
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ ผลการทดลองที่ได้นอกจากอัตราการไหลของน้ำที่เปลี่ยนแปลงแล้ว ยังมีค่าความชื้นสัมพัทธ์และผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกคอยล์เสริมที่แตกต่างกันอีกด้วย สามารถอธิบายผลการทดลองจากรูปที่ 28 แม้ว่าอัตราการไหลของน้ำจะเพิ่มขึ้นแต่การลดลงของสารทำความเย็นไม่เพิ่มตาม โดยเปรียบเทียบจากหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm ทั้งนี้ในการทดลองความชื้นสัมพัทธ์เมื่อหัวฉีดพ่นทั้งสองขนาดมีค่าเท่ากันคือ 53.6% แต่การลดลงของอุณหภูมิสารทำความเย็น (Heat rejection) กรณีหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm มากกว่ากรณี หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm เนื่องจากขนาดละอองที่ออกมามีขนาดเล็กกว่าจึงสามารถระเหยได้ง่ายกว่า แต่ในขณะเดียวกันกรณีหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm ที่มีละอองที่

เล็กที่สุด แต่การลดลงกลับต่ำที่สุด เนื่องจากในการทดลองมีการเปิดพัดลมโดยมีอัตราการไหลของอากาศ 3 m/s จึงทำให้ละอองน้ำนั่นมีโอกาสระเหยไปในอากาศก่อนที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็น และเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของใช้หัวฉีดพ่นน้ำแบบ 2 หัวพบว่าการลดลงของสารทำความเย็นสูงสุดเมื่อใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก อ้างอิงจากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในหัวข้อ 4.2.2.1 พบว่าเมื่อความชื้นสูงกว่า 83.8% ขึ้นไปจะมีแนวโน้มการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm แบบ 1 หัว และหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm แบบ 2 หัว ทั้งสองแบบนี้มีอัตราการไหลของน้ำเท่ากันคือ 2.16 kg/h แต่การลดลงของสารทำความเย็นของหัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm มากกว่าเนื่องจากพื้นที่สัมผัสที่ผิวคอยล์เสริมมากกว่าใช้ หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm



รูปที่ 28 ผลการลดลงของสารทำความเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ (สีแดงคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 1 หัวและสีฟ้าคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 2 หัว)



รูปที่ 29 ผลการดูดความร้อนของสารทำความเย็นเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ (สีแดงคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 1 หัวและสีฟ้าคือใช้หัวฉีดพ่นแบบ 2 หัว)

รูปที่ 29 ผลการดูดความร้อนของสารทำความเย็น (Heat absorption) หรือความสามารถในการทำความเย็น (Cooling capacity) การใช้หัวฉีดพ่นน้ำแบบ 2 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm มีค่าการดูดความร้อนสูงที่สุด

จากผลการทดลองตอนที่ 4.2.2.2 พบว่าการใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm แบบ 2 หัว สามารถเพิ่มการระบายความร้อนของคอยล์เสริมได้สูงที่สุด ขณะที่การใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm แบบ 2 หัว สามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศได้สูงสุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นในการออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยจึงเลือกใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm แบบ 2 หัว

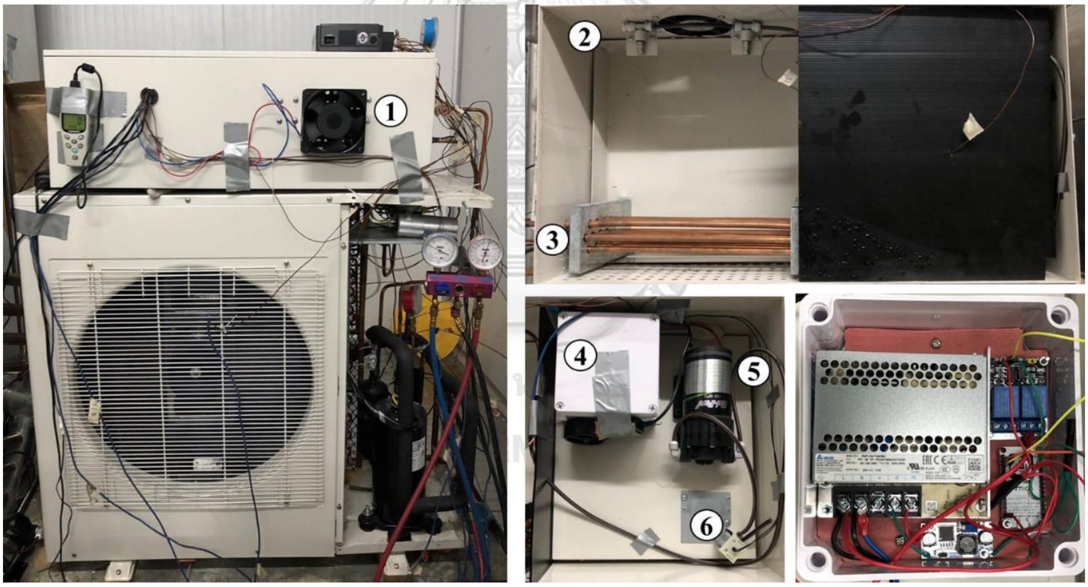
4.3 ผลการทดลองต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย

การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย (Prototype of modified evaporative condenser) มีหลักการออกแบบจากผลการทดลองศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 70.3% ถึง 80.9% สามารถเพิ่มความสามารถทำความเย็นได้ดีที่สุด ดังนั้นชุดการฉีดพ่นน้ำจะต้องออกแบบให้มีการควบคุมอากาศให้มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงนี้

2) การใช้หัวฉีดพ่นน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm จำนวน 2 หัว เพิ่มความสามารถในการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศสูงสุด นอกจากนี้อัตราการใช้น้ำยังต่ำกว่าอัตราการเกิดน้ำคอนเดนของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นหัวฉีดพ่นนี้จึงเหมาะต่อการนำมาใช้งานจริงในชุดการฉีดพ่นน้ำ

ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย (Prototype of modified evaporative condenser) ออกแบบโดยการนำชุดฉีดพ่นน้ำมาใช้ร่วมกับระบบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ การเชื่อมต่อระหว่างชุดฉีดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศทำโดยการเชื่อมต่อคอยล์เสริมของชุดฉีดพ่นน้ำเข้ากับคอยล์ร้อนของเครื่องปรับอากาศที่บริเวณระหว่างคอมเพลสเซอร์และคอยล์ร้อน (Discharge line) ส่วนระบบควบคุมการทำงานออกแบบให้คงสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ภายในให้ต่ำกว่า 80.9% โดยใช้การสั่งเปิด - ปิดพัดลมของชุดฉีดพ่นน้ำ ซึ่งการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพติดตั้งดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 การติดตั้งเพื่อทดลองประสทธิภาพการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย อุปกรณ์ดังนี้ 1) พัดลม, 2) หัวฉีดพ่นขนาด 0.1 mm จำนวน 2 หัว, 3) คอยล์เสริม, 4) กล่องไฟ, 5) ปั๊มน้ำ และ 6) ลูกลอย

การทดลองระบบการทำงานของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยใช้น้ำคอนเดน (Condensate water) จากคอยล์เย็น การดูดน้ำคอนเดนใช้ปั๊มในการดูดน้ำมากักเก็บไว้ที่ถังเก็บน้ำภายในชุดฉีดพ่นน้ำและควบคุมระดับด้วยลูกลอย ผลการทดลองพบว่าลูกลอยสามารถทำงานรักษาระดับให้ไม่ล้นเนกว่าถังเก็บน้ำได้ และระบบควบคุมเพื่อคงสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดฉีดพ่นน้ำ

สามารถทำงานได้ กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า หรือเท่ากับ 80.9% พัดลมจะหยุดทำงาน และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80.9% พัดลมจะเริ่มทำงาน

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพของต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย เปรียบเทียบกับเครื่องปกติอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ พบว่า ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยที่ได้ออกแบบสามารถเพิ่มความสารถในการทำความเย็น (Cooling capacity)ได้ 28.97% แต่เนื่องจากภายในชุดฉีดพ่นน้ำมีการเพิ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงส่งผลให้การใช้กำลังไฟฟารวม (Power consumption) เพิ่มขึ้น 7.17% ทั้งนี้การคำนวณกำลังไฟฟ้าของชุดฉีดพ่นน้ำคำนวณอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ ปั๊มที่ใช้ฉีดพ่นน้ำ, ปั๊มที่ใช้ดูดน้ำคอนเดนจากคอยล์เย็น, และพัดลมที่ใช้ลดความชื้นสัมพัทธ์ อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงาน (EER) พบว่าต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยสามารถเพิ่มประสิทธิการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ 20.36%

<u>ตารางที่ 9</u> ผลการทดลองต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ

ข้อมูล	เครื่องปรับอากาศธรรมดา	เครื่องปรับอากาศแบบเสริมระบบน้ำ	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
ความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)	19957.78	25739.88	28.97
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)	2008.82	2152.77	7.17
ประสิทธิภาพการทำงาน (EER)	9.94	11.96	20.36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย พบว่า การนำชุดการฉีดพ่นน้ำมาใช้ร่วมกับเครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศปกติสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถในการทำความเย็น ทำการทดลองโดยการนำต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย (หน่วยควบแน่นขนาด 25,000 บีทียู ใช้ร่วมกับชุดการฉีดพ่นน้ำ) มาใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (หน่วยระเหยขนาด 30,000 บีทียู) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากเพิ่มขนาดหน่วยระเหยขึ้น (Evaporator) ก็ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ โดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานขึ้น 17.38%

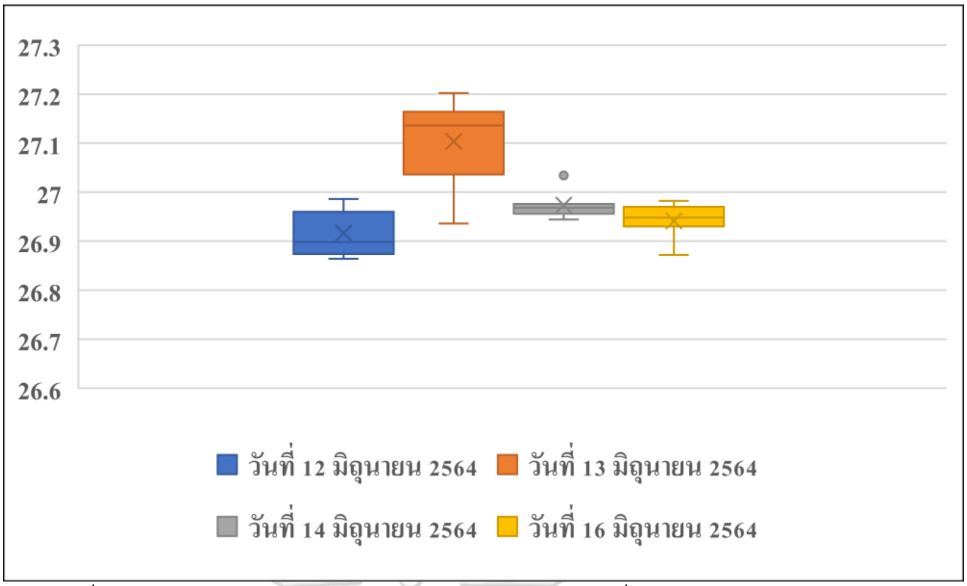
ตารางที่ 10 ผลการทดลองใช้ต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

ข้อมูล	เครื่องปรับอากาศธรรมดา	เครื่องปรับอากาศแบบเสริมระบบน้ำ	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
ความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)	22673.94	26520.05	16.96
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)	2152.35	2144.58	-0.36
ประสิทธิภาพการทำงาน (EER)	10.53	12.37	17.38

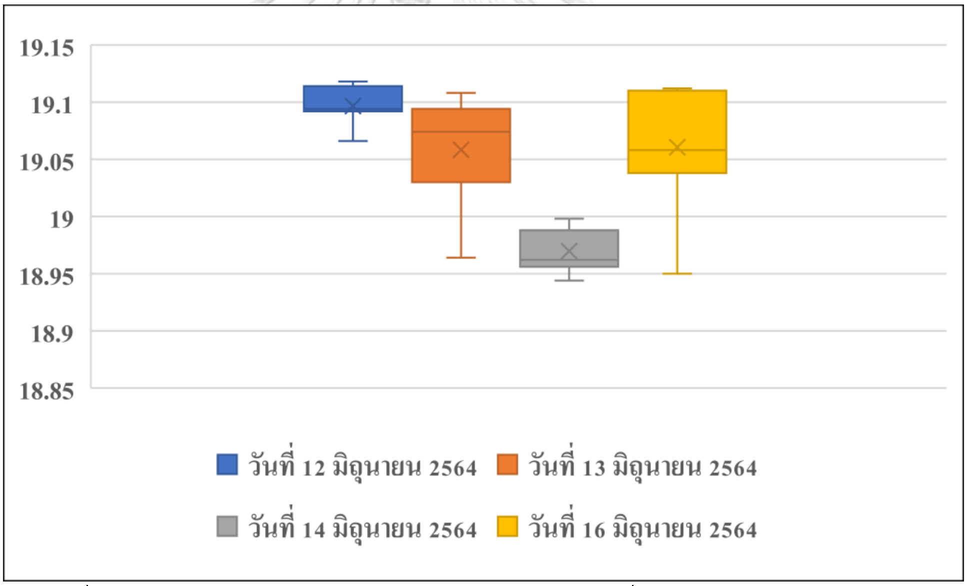
4.4 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1. การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Balance ambient room type) และแบบ Air enthalpy test method ต้องทำการควบคุมการสภาวะภายในห้องทดสอบ โดยการควบคุมจะต้องใช้ Heater ในการให้ความร้อน และใช้ Chiller ในการทำน้ำเย็นเพื่อมาดูดซับไอน้ำภายในห้องเพื่อลดความชื้น แต่เนื่องจาก Chiller ในการทำความเย็นนั้นมีเพียงตัวเดียว ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบพร้อมกันหลาย ๆ ห้อง จึงส่งผลให้ Chiller ทำความเย็นได้ไม่เพียงพอต่อการดูดซับความชื้น
2. เกิดการรั่วของสารทำความเย็นบริเวณที่ต่อเกจวัดความดัน (Pressure gauge) แบบใช้สายวัดธรรมดา
3. ผลการทดลองตามเงื่อนไขเดิมในแต่ละครั้งมีการกระจายตัวของข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 31, 32 และ 33 ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลของวันที่แตกต่างกันได้

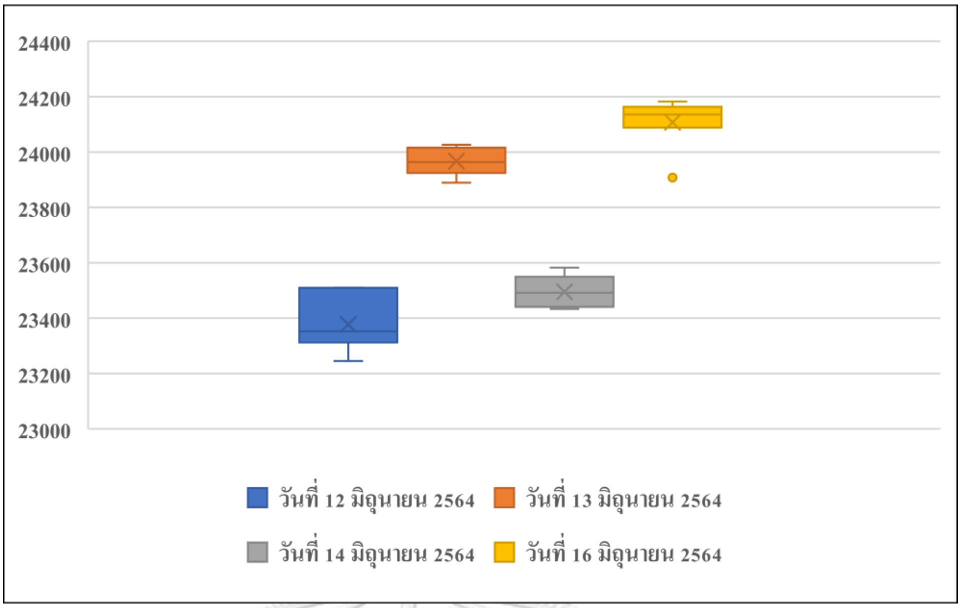
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 31 การกระจายตัวของอุณหภูมิกระเปราะแห้งที่วัดได้จากห้อง Indoor



รูปที่ 32 การกระจายตัวของอุณหภูมิกระเปราะเปียกที่วัดได้จากห้อง Indoor



รูปที่ 33 การกระจายตัวของความสามารถในการทำความเย็นสุทธิของเครื่องปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอก

ผลการทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้เครื่องพ่นหมอกสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ความชื้นเพิ่มขึ้น พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) สูงขึ้น แต่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Setyawan และ Badarudin (2020)

2. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องพ่นหมอกในการช่วยระบายความร้อนกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยลมปกติ พบว่าค่าประสิทธิภาพการทำงาน (EER) มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากเครื่องพ่นหมอกที่ใช้ (Ultrasonic humidifier H310) ใช้กำลังไฟฟ้าสูงเกินกว่าความสามารถในการช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้

จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า เครื่องพ่นหมอก (Ultrasonic humidifier H310) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการช่วยดึงความร้อน เนื่องจากใช้กำลังไฟฟ้าเกินกว่าที่สามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าได้ และเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นไม่เพียงพอต่อกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 สรุปผลการทดลองฉีดพ่นน้ำโดยใช้หัวฉีดพ่น

5.2.1 สรุปผลบริเวณการเชื่อมต่อคอยล์เสริม

ผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อดิสชาร์จ (Discharge line) และท่อลิควิด (Liquid line) พบว่าการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อลิควิดสามาถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้สูงสุด 21.0% และการเชื่อมต่อคอยล์เสริมบริเวณท่อดิสชาร์จสามาถเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้สูงขึ้น 24.5% ซึ่งสูงกว่าการเชื่อมต่อบริเวณลิควิด 3.5% ดังนั้นในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจึงเลือกการเชื่อมต่อบริเวณท่อดิสชาร์จ

5.2.2 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 สามารถจำแนกกระบวนการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการฉีดพ่นน้ำเป็น 2 กระบวนการคือ ความร้อนแฝง (Latent heat) ซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวท่อคอยล์เสริม และความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยแต่ละกระบวนจะมีอัตราการเกิดที่แตกต่างกันในช่วงสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงนี้

1) ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่าง 47.8% - 73.1%: ความเร็วอากาศลดลงเป็นผลให้การพาความร้อนลดลงตามความชื้นสัมพัทธ์ แต่การระบายความร้อนโดยรวมเพิ่มขึ้นเนื่องจากในช่วงความชื้นสัมพัทธ์นี้มีกระบวนการระเหยของน้ำเกิดขึ้นมาก กล่าวคือความร้อนแฝงมีอัตราการแลกเปลี่ยนที่สูงกว่าความร้อนสัมผัส การระเหยของน้ำในทีนี้เกิดจากน้ำที่ถูกพ่นไปเกาะอยู่บริเวณผิวท่อของคอยล์เสริมและไอน้ำที่อยู่ในอากาศ ซึ่งการที่น้ำสามารถระเหยได้มากเป็นผลมากจากอากาศสามารถรับไอน้ำได้อย่างต่อเนื่องจึงทำให้ค่าการระบายความร้อนโดยรวมมีค่าสูงขึ้น
2) ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่าง 73.1% - 80.9%: ความเร็วอากาศค่อนข้างคงที่จึงทำให้การพาความร้อนคงที่ด้วย และในช่วงความชื้นสัมพัทธ์นี้อากาศมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว จึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำค่อนข้างคงที่เป็นผลให้การระบายความร้อนโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละความชื้น นั่นคือในช่วงความชื้นสัมพัทธ์นี้มีความร้อนแฝงที่คงที่ นอกจากการที่ฉีดพ่นน้ำอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบต่ำลงจึงทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนโดยความร้อนสัมผัสสูงขึ้นกว่าช่วงความชื้นสัมพัทธ์ก่อนหน้า
3) ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่าง 80.9% - 90.4%: ความเร็วอากาศลดลงจนถึงศูนย์ทำให้การพาความร้อนในช่วงนี้น้อยที่สุด และอากาศเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวทำให้น้ำไม่สามารถระเหยได้จึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนด้วยความร้อนแฝง ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนำความร้อนในช่วงความชื้นนี้จึงมีเพียงการเปลี่ยนอุณหภูมิเท่านั้น (Sensible heat) ด้วยเหตุนี้การระบายความร้อนจึงมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์

ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการระบายความร้อนของคอยล์เสริมและการดูดความร้อนของคอยล์เย็น พบว่าเมื่อการระบายความร้อนของคอยล์เสริมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การดูดความร้อนของความเย็นสูงขึ้นตาม โดยความสามารถในการทำความเย็นสูงสุดในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 73.1% - 80.9% กล่าวคือเป็นช่วงที่สารทำความเย็นสามารถระบายความร้อนแบบนำความร้อนผ่านการที่น้ำที่ฉีดพ่นไปเกาะบริเวณผิวท่อของคอยล์เสริมและไอน้ำในอากาศสามารถระเหยไปสู่อากาศ อีกทั้งการฉีดพ่นน้ำจะไปเกาะบริเวณพื้นผิวท่อคอยล์เสริมแล้วยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิ

อากาศบริเวณนั้นก่อนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นอีกด้วย ทำให้การแลกเปลี่ยนแบบพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อคอยล์เสริมสู่อากาศมีค่าสูงซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.4)

การทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ สรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูขูมิสารทำความเย็นได้แก่ พื้นที่สัมผัสบริเวณผิวคอยล์เสริม, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดพ่น, และความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์ นอกจากผลการทดลองพบว่าการใช้หัวฉีดพ่นขนาดเส้นผ่านศูน์กลาง 0.1 mm แบบ 2 หัว สามาถเพิ่มความสามารถทำความเย็นสูงสุด

จากผลทดลองในตอนที่ 4.2 จึงสรุปได้ว่า การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย ควรมีการออกแบบควบคุมเพื่อคงสภาวะแวดล้อมบริเวณการฉีดพ่นให้มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินกว่า 80.9% และเลือกใช้ระบบฉีดพ่นแบบ 2 หัว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm

5.3 สรุปการออกแบบและผลการทดสอบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย

จากสรุปผลในหัวข้อ 5.3 การออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยจึงเลือกใช้หัวฉีดพ่นน้ำแบบ 2 หัว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm และมีระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในชุดฉีดพ่นน้ำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 80.9% โดยผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) ได้ 20.36% นอกจากนี้เมื่อเพิ่มขนาดเครื่องปรับอากาศใหญ่ขึ้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ถึง 17.38%

5.4 แนวทางแก้ปัญหาระหว่างทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ (Balance ambient room type) และแบบ Air enthalpy test method ต้องทำการควบคุมการสภาวะภายในห้องทดสอบ โดยการควบคุมจะต้องใช้ Heater ในการให้ความร้อน และใช้ Chiller ในการทำน้ำเย็นเพื่อมาดูดซับไอน้ำภายในห้องเพื่อลดความชื้น แต่เนื่องจาก Chiller ในการทำความเย็นนั้นมีเพียงตัวเดียว ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบพร้อมกันหลาย ๆ ห้อง จึงส่งผลให้ Chiller ทำความเย็นได้ไม่เพียงพอต่อการดูดซับความชื้น แก้ไขโดยการเพิ่มตัวดูดความชื้นเข้าไปภายในห้องทดสอบ
2. เกิดการรั่วของสารทำความเย็นบริเวณที่ต่อเกจวัดความดัน (Pressure gauge) แบบใช้สายวัดธรรมดา ดังนั้นทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนมาใช้ Pressure gauge ที่เชื่อมติดกับท่อทองแดงโดยตรงแทนการใช้ Pressure gauge แบบเดิม

3. ผลการทดลองตามเงื่อนไขเดิมในแต่ละครั้งมีการกระจายตัวของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลของวันที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นในการแก้ไขจึงตั้งค่าเงื่อนไขตั้งต้น (Background condition) ซึ่งคือการไม่ฉีดพ่นน้ำแล้วเปิดพัดลมด้วยความเร็วอากาศ 3.0 m/s เพื่อนำมาหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละวันก่อนที่นำผลจากเงื่อนไขอื่น ๆ ของวันที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบกัน

5.5 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศพร้อมทั้งออกแบบต้นแบบหน่วยควบแน่นแบบระเหย โดยมีข้อจำกัดในการเลือกใช้ขนาดและลักษณะของท่อ ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตและเลี่ยงการเกิดปัญหาของความดันตกคร่อมที่สูงเกินไปจนส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการทำงาน ทางผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะต่อการปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเพิ่มเกี่ยวกับการเพิ่มขนาดของท่อที่นำมาออกแบบคอยล์เสริมแล้วไม่ทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่สูงจนส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับลอากาศ
2) ท่อที่นำมาใช้ออกแบบคอยล์เสริมเป็นท่อเปลือยเรียบ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน อาจทำได้โดยการออกแบบเพิ่มเติมในการเพิ่มฟิน (Fin coil) หรือการเลือกใช้ท่อแบบเกลียวแทน
3) การออกแบบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในชุดการฉีดพ่นน้ำ ใช้งานได้ดีในสภาวะห้องทดสอบ ซึ่งการใช้งานในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบสูงกว่าสภาวะห้องทดสอบมาก อาจส่งผลต่อระบบการทำงานของชุดฉีดพ่นน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Abdel-Fadeel, W., & Hassanein, S. (2012). Experiments and calculations of the room temperature affected by a direct evaporative cooler during hot and dry climate. *Journal of engineering sciences, Assiut university*, *Vol.* 40, pp. 723-730. https://doi.org/10.21608/jesaun.2012.114406

arduitronics. (2019). *DC-to-DC Step Down LM2596 / LM2596S Module (3A)*. https://www.arduitronics.com/product/570/dc-to-dc-step-down-lm2596-lm2596s-module-3a

Change, N. *Global Surface Temperature | NASA Global Climate Change* https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/.

DHT11 Temperature And Relative Humidity Sensor Module For Arduino. Mikroeletronics. http://www.mikroelec.com/product/115/dht11-temperature-and-relative-humidity-sensor-module-for-arduino

Fiorentino, M., & Starace, G. (2018). The design of countercurrent evaporative condensers with the hybrid method. *Applied Thermal Engineering*, 130, 889-898. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.11.076

Gebaly, D., Koura, N., & Hassan, M. (2016). Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An updated overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 347–360. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.313

Heikal, M. R. (2011). *REFRIGERATION* https://doi.org/10.1615/AtoZ.r.refrigeration

Lee, Y., Choi, M.-S., Yi, S.-T., & Kim, J.-K. (2009). Experimental study on the convective heat transfer coefficient of early-age concrete. *Cement & Concrete Composites - CEMENT CONCRETE COMPOSITES*, 31, 60-71. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.09.009

Papaefthimiou, V. D., Rogdakis, E. D., Koronaki, I. P., & Zannis, T. C. (2012). Thermodynamic study of the effects of ambient air conditions on the thermal performance characteristics of a closed wet cooling tower. *Applied Thermal Engineering*, 199-207. https://doi.org/DOI:101016/japplthermaleng201109035

Papaefthimiou, V. D., Zannis, T. C., & Rogdakis, E. D. (2007). Thermal performance analysis of a closed wet cooling tower. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 221(3), 139-150. https://doi.org/10.1243/09544089JPME119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Rachman, A., & Nesti, L. (2018). Experimental Study to Performance Improvement of Vapor Compression Cooling System Integrated Direct Evaporative Cooler and Condenser. *MATEC Web of Conferences*, 215, 01017. https://doi.org/10.1051/matecconf/201821501017

REFRIGERANTS P-H DIAGRAM. HVAC and Solar Energy Engineering. https://i2.wp.com/hvac-eng.com/wp-content/uploads/2020/04/Logp-h-diagram-R32.png

Setyawan, A., & Badarudin, A. (2020). Performance of a residential air conditioning unit under constant outdoor air temperature and varied relative humidity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830, 042032. https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/4/042032

source, E. (2009). *PMT2 Panel Mount Power Supply 76.8 W, 24 VDC/3.2 A*. https://www.es.co.th/detail.asp?Prod=029003245

Thongluang, P., Nimdum, P., & Bovonratanaraks, T. (2022, 19-20 May 2022). Effect of Ambient Relative Humidity on the Modified Evaporative Condenser. 2022 7th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR),

Vrachopoulos, M. G., Filios, A. E., Kotsiovelos, G. T., & Kravvaritis, E. D. (2007). Incorporated evaporative condenser. *Applied Thermal Engineering*, 27(5), 823-828. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.09.021

Yeh, R.). *COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM*. https://web.mit.edu/2.972/www/reports/compression_refrigeration_system/compression_refrigeration_system.html

Yu, F. W., & Chan, K. T. (2006). Improved condenser design and condenser-fan operation for air-cooled chillers. *Applied Energy*, 83, 628-648. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.05.007

แสงแก้ว, จ. (2019). การประยุกต์ใช้งาน NodeMCU ESP8266. https://dsdi.msu.ac.th/?article=esp8266

บอร์ด *Relay 2 ช่อง 5V Relay Module 5V 2 Channel isolation control 250V/10A*. CyberTice. https://www.cybertice.com/product/1090/%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%94-relay-2%E0%B8%8A%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87-5v-relay-module-5v-2-channel-isolation-control-250v-10a-2

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มอก. 1155 - 2557. (2558). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่ออนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปรับอากาศสำหรับห้อง: ประสิทธิภาพ

พลังงานมาตรฐานเลขที่ มอก.2134-2553. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ไปรยา ทองเหลือง
วัน เดือน ปี เกิด	26 พฤศจิกายน 2540
สถานที่เกิด	อุบลราชธานี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 46 ม.13 ต.โพธิ์ศรี อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี 34110
ผลงานตีพิมพ์	P. Thongluang, P. Nimdum and T. Bovonratanaraks, "Effect of Ambient Relative Humidity on the Modified Evaporative Condenser," 2022 7th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR), 2022, pp. 368-372, doi: 10.1109/ICBIR54589.2022.9786505.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY