การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์

Efciency Enhancement for Split Type Air Conditioning Systems by Decreasing Condensing Unit Temperature

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนของคอนเซอร์ซึ่งทำจากกระดาษเซลลูโลสและใช้น้ำจากอีแวพพอเรเตอร์ในการหล่อเย็น พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นกำลังงานที่ใช้ของระบบ และพลังงานไฟฟ้า จากการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยี่ห้อ FUJIBISHI แบบตั้งแขวน ขนาดการทำความเย็น 12,000 Btu/hr ติดตั้งที่ห้องขนาด 13.4 ตารางเมตร เปิดใช้งาน 8 ชั่วโมง (08:00-16:00 น.) พบว่าการติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ เครื่องปรับอากาศสามารถระบายความร้อนได้ดี ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศได้เท่ากับ 5.42 และมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น 14.78 กำลังงานที่ใช้ของระบบ 5.4483 (kW-hr) เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจากเดิม 20.92 %

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, กระดาษเซลลูโลส, การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

Abstract

The objective of this paper is to comparatively study the performance of the air conditioning unit between conventional vapor compression and conventional vapor compression using decrease temperature before inlet condensing unit cellulose paper and water condensing from the evaporator is used to decrease the air temperature before air inlet to condensing unit. The criteria for evaluating the performance of the air conditioning unit has energy consumption, coefficient of the performance, and energy efficiency ratio. In this study the brand of test air condition is Fujibishi floor & ceiling type size 12,000 Btu. Room size to install 13.4 m2. Time use to open air conditioning for tests is 8 hour (08:00-16:00 am.). The result of tests, show that to install the set to decrease temperature before the inlet

condensing unit processes, COP is 5.42. EER is 14.78. Power of system is 5.4483 kW-hr.,thus electric energy consumption decreased by 20.92 %.

Keyword: split type air conditioning, cellulose paper, aircondition system performance development.

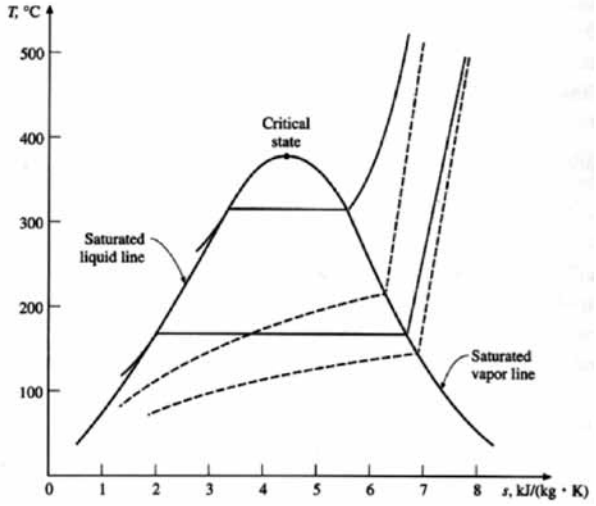
ความนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากหากทำการลดการใช้พลังงานและเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบปรับอากาศทำให้มีการลดใช้พลังงานไฟฟ้าลงลด ซึ่งแนวทางในการปรับลดพลังงานในระบบปรับอากาศมีหลายแนวทางและแนวทางที่น่าสนใจแนวทางหนึ่งคือการลดอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ทำให้มีการระบายความร้อนสูงขึ้นเมื่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีสมรรถนะของระบบจะสูงขึ้นตามมา

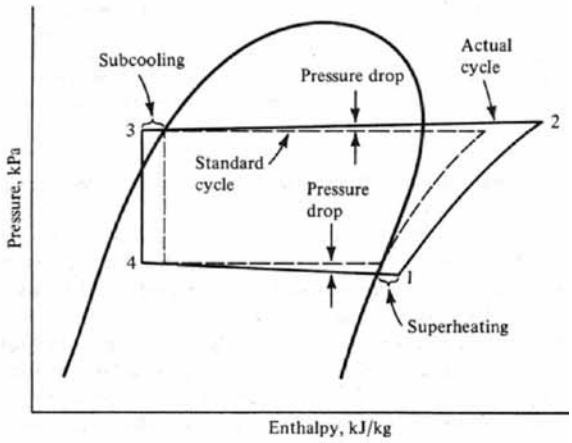
ทฤษฎีเบื้องต้น

หลักการทำงานของระบบทำความเย็น

ในการอธิบายหลักการทำงานของระบบการอัดไอโดยทั่ว ๆ ไปใช้หลักการอัดไอสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิและความดันสูง ก่อนที่จะถ่ายโอนความร้อนออกเพื่อให้เกิดการกลั่นตัวแล้วลดความดันให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะอีกครั้ง แล้วใช้คอมเพรสเซอร์ป้อนงานให้กับระบบ สารทำความเย็นที่นิยมใช้ได้แก่ สารไฮโดร-คาร์บอน แอมโมเนีย หรือ ฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น วัฏจักรระบบทำความเย็นแบบอัดไอแสดงในภาพ 1 และภาพ 2



ภาพ 1 การทำงานของอุปกรณ์และสมบัติ ของสารทำงานใน P-h Chart



ภาพ 2 การทำงานของอุปกรณ์และสมบัติ ของสารทำงานใน P-h Chart

เริ่มต้นจากสารทำความเย็นที่ออกจากเอ็กแพนชั่นวาล์ว ซึ่งเป็นของผสมจะไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหย รับความร้อนจากบริเวณห้องทำความเย็นแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนสถานะจากของผสมกลายเป็นไอทั้งหมดความร้อนที่สารทำความเย็นรับได้มีค่าเท่ากับตามภาพ 1 สารทำความเย็นออกจากเครื่องทำระเหย

เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิและความดันสูง สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด (Super heated vapor) โดยการใส่กำลังงานเข้าสู่สารทำความเย็นจากนั้นสารทำความเย็นไหลออกจากคอมเพรสเซอร์ไปยังคอนเดนเซอร์ เพื่อปล่อยความร้อนที่ได้รับสู่สภาวะแวดล้อม สารทำความเย็นจะมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อสารทำความเย็นไหลออกจากคอนเดนเซอร์จะไหลผ่านเอ็กแพนชั่นวาล์วทำการลดความดันของสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นเป็นของผสมจากนั้นจะไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหยเป็น 1 รอบการทำงาน และจะทำงานไปเรื่อยจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้เครื่องทำความเย็นจึงหยุดการทำงานการหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ส่วนใหญ่การหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น นิยมหาในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ COP และประสิทธิภาพการให้ความเย็น EER ได้จาก

$$COP = \frac{Q_{ev}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

Q_{ev} = ความเย็นที่ได้ (Btu/hr)

W_{comp} ความร้อนที่ให้ (Btu/hr)

h_1 เอนทาลปีที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ (Btu/lb)

h_2 = เอนทาลปีที่ทางเข้าคอนเด็นเซอร์ (Btu/lb)

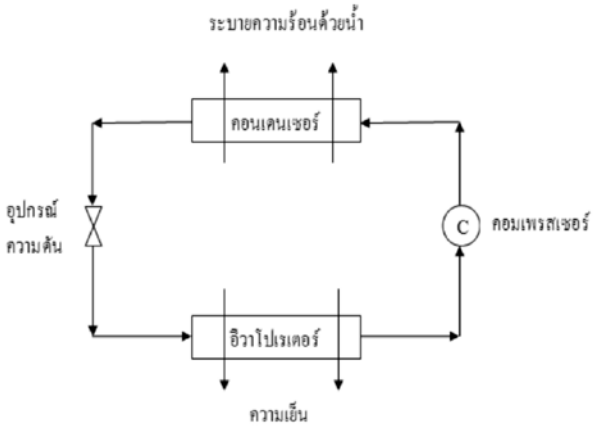
h_3 เอนทาลปีที่ออกจากคอนเด็นเซอร์ (Btu/lb)

h_4 เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ (Btu/lb)

$$EER = \frac{Q_{ev}}{W_{system}} = \frac{m_r(h_1 - h_4)}{W_{system(comp+fan)}} \times 3412.3 = 3.42 \times COP \quad (2)$$

ในการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์จะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น (ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงศ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2555) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขึ้นอยู่กับตัวแปรของค่าเอนทาลปีที่จุดต่าง ๆ ในระบบการทำความเย็น หากทำให้อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ ต่ำลงค่าเอนทาลปีเข้าคอนเดนเซอร์ (h_2) จะลดลงทำให้ค่าสมรรถนะในการทำความเย็นสูงขึ้น ซึ่งในการที่จะทำให้ค่าเอนทาลปีที่จุดดังกล่าวเป็นไปตามสมมติฐานทางทฤษฎีนั้นสามารถทำได้หลายวิธีการแต่วิธีการที่ไม่ซับซ้อนนั้นสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์โดยวิธีการระบายความร้อนให้กับแผงคอนเดนเซอร์โดยใช้กระดาษเซลลูโลสร่วมกับการใช้น้ำที่ได้จากการกลั่นตัวจากแผงคอยล์เย็น (อีวาพอเรเตอร์) วิธีการนี้จะทำให้อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ลดลงจากการระเหยของน้ำที่หยดลงมาที่แผงกระดาษเซลูโลสจากนั้นเมื่อพัดลมที่คอนเดนเซอร์ทำงานจะเกิดการไหลเวียนของอากาศทำให้อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ต่ำลงสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศจะสูงขึ้นมากกว่าระบบที่ไม่มีการติดตั้งชุดลดอุณหภูมิที่แผงคอนเดนเซอร์

วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ



ภาพ 3 วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ

วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพเป็นไอจากเครื่องระเหย เพื่อทำให้ความดันในเครื่องระเหยลดต่ำลงจนสามารถทำให้น้ำยากลายเป็นไอและสร้างความเย็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้สารทำความเย็นมีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอมเดนเซอร์และส่งสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ

2. คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจาก สารทำความเย็นเพื่อให้น้ำยาซึ่งถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสภาพไอที่มีอุณหภูมิและความดันสูงควบแน่นเป็นของเหลวได้

3. อีวาพอเรเตอร์

อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดูดรับปริมาณความร้อนจากบริเวณหรือเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็นที่สารทำความเย็นในระบบตรงบริเวณขณะที่ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สนั้นดูดซับปริมาณความร้อนผ่านผิวของท่อทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบทำให้อุณหภูมิโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ลดลง

4. ท่อพักสารทำความเย็นเหลว

สารทำความเย็นเหลวที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงซึ่งกลั่นตัวมาแล้วจากคอนเดนเซอร์ถูกส่งมาพักสารทำความเย็นนี้ ก่อนที่ถูกส่งไปยังเอกซ์เพนชันวาล์วอีกทีหนึ่ง

5. เอกซ์เพนชันวาล์ว

ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเข่าไปยังอีวาพอเรเตอร์ลดความดันจนเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ในอีวาพอเรเตอร์

6. ท่อดูด

เป็นทางเดินของสารทำความเย็นที่อยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของของคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ จากอีวาพอเรเตอร์ถูกดูดผ่านท่อดูดเข้ามายังคอมเพรสเซอร์

7. ท่อจ่าย

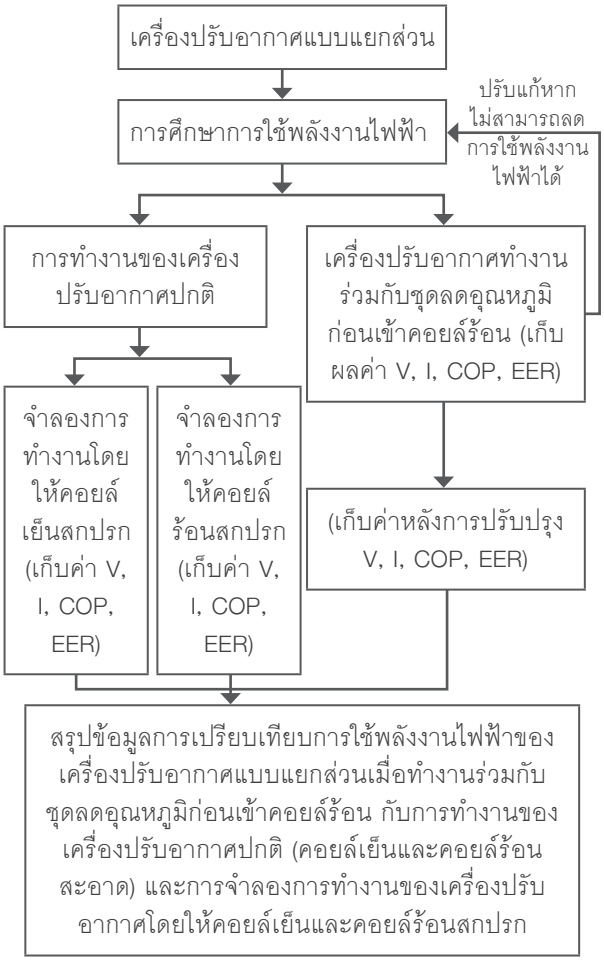
เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่อท่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์โดยผ่านท่อจ่ายนี้

8. ท่อของเหลว

เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่อระหว่างท่อพักสารทำความเย็นเหลวกับเอกซ์เพนชันวาล์ว สารทำความเย็นเหลวมีความดันสูงอุณหภูมิสูงจากท่อพักสารทำความเย็นถูกส่งไปยังเอกซ์เพนชันวาล์วโดยผ่านท่อของเหลวนี้

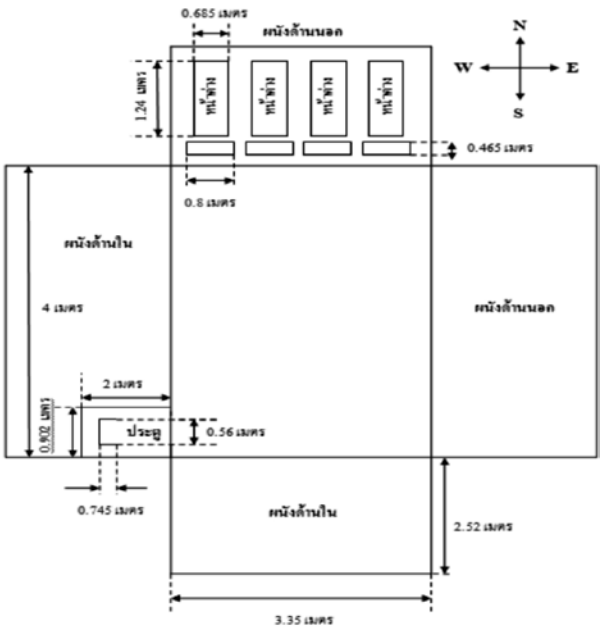
การออกแบบชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

ทำการออกแบบชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์และติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์วัดค่าต่าง ๆ เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ล เกจวัดความดัน อุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้เก็บผลค่าการทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพ 4 ไดอะแกรมหลักการในการออกแบบของโครงงาน

การคำนวณหาขนาดเครื่องปรับอากาศที่จะใช้ติดตั้งสำหรับห้องทดสอบตามแปลน



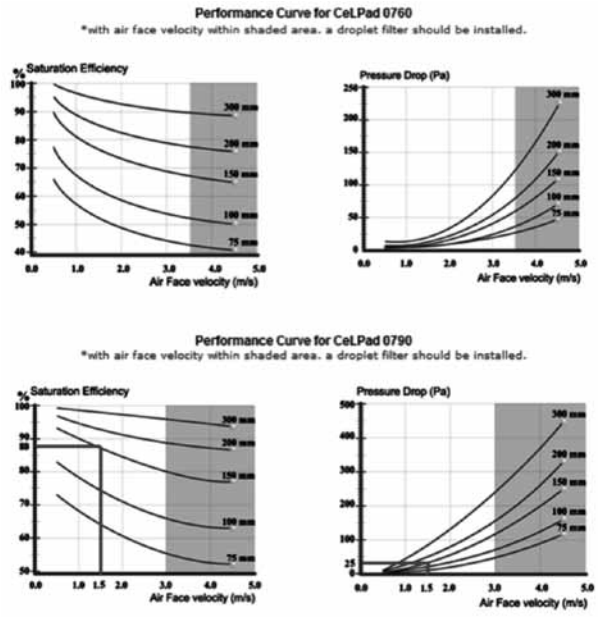
ภาพ 5 แสดงขนาดของห้องที่ใช้ทดสอบ

การคำนวณใช้ข้อมูลข้างต้น ควรติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/h

การใช้แผ่นเซลลูโลสในการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

1. การออกแบบแผ่นเซลลูโลส

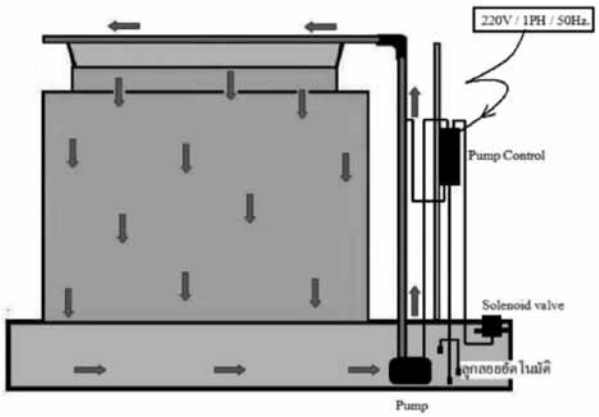
ในการทดลองนี้เลือกใช้แผ่นเซลลูโลสขนาด 60x15x60 ขนาดของร่องอากาศไม่เกิน 5 มิลลิเมตร มุมตัด a = 45° b = 45° มีความหนา 150 มิลลิเมตร ได้ค่าความดันสถิต 25 Pa และประสิทธิภาพในการระเหยน้ำ 88 % ซึ่งค่านี้เป็นค่ามาตรฐานการทดสอบที่ความเร็วลมผ่านแผ่น 1.5 m/s โดยการออกแบบจะเน้นประสิทธิภาพสูงในการลดอุณหภูมิ สามารถดูได้จากกราฟ Performance Curved for CelPad 0790



ภาพ 6 กราฟ Performance Curved for CelPad

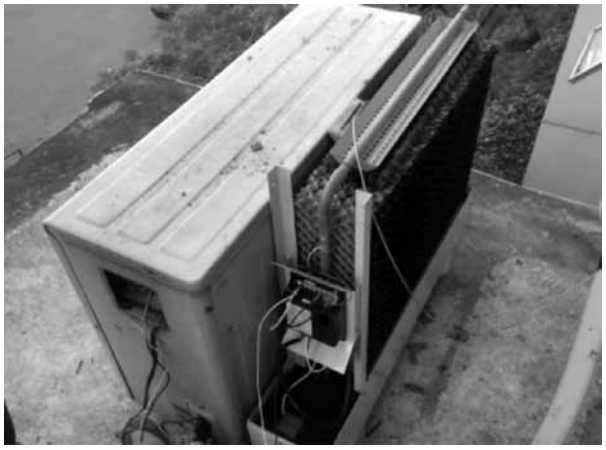
จากกราฟเมื่อออกแบบให้แผ่นเซลลูโลสมีความหนาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการระเหยน้ำดีขึ้น เพราะมีพื้นที่หน้าตัดที่จะทำให้อากาศวิ่งผ่านน้ำเพื่อระบายความร้อนได้ดีขึ้นและมีความดันสถิตเพิ่มขึ้น แต่การที่มีความดันสถิตเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของพัดลมที่ Condensing Unit ต่ำลง เพราะต้องใช้แรงดูดที่มาก เพื่อที่จะสามารถเอาชนะความหนาของแผ่นเซลลูโลส

2. วงจรการทำงานของชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์



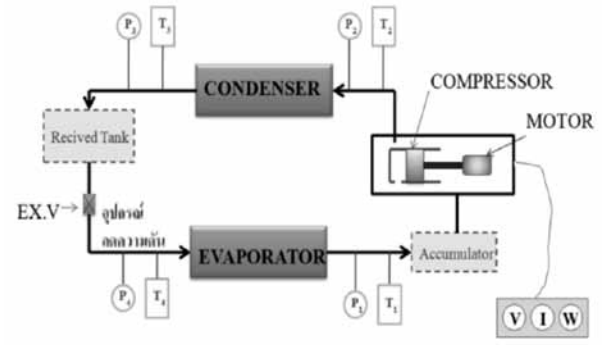
ภาพ 7 วัฏจักรทำงานของชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

เริ่มจาก Solenoid valve เปิดน้ำดีให้เข้ามาสู่ถาดเก็บน้ำ ซึ่งน้ำที่เข้ามาในถาดเก็บน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และ Solenoid valve จะหยุดการจ่ายน้ำเมื่อลูกลอยอัตโนมัติตรวจจับระดับน้ำในถาดได้ที่ระดับ High-level จากนั้นปั๊มน้ำก็จะดูดน้ำในถาดขึ้นไปตามท่อ PVC ขนาด 3/8'' แล้วไปตกลงบนตะแกรงกระจายน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายน้ำให้ไหลลงทั่วทั้งแผ่นเซลลูโลส หลังจากที่น้ำไหลผ่านแผ่นเซลลูโลสแล้วจะตกลงมายังถาดเก็บน้ำด้านล่าง เพื่อที่จะสามารถเอากลับไปใช้ได้อีกทำให้ไม่สิ้นเปลืองน้ำ เมื่อลูกลอยอัตโนมัติตรวจจับระดับน้ำในถาดได้ที่ระดับ Low level อันเนื่องมาจากน้ำที่ใช้หมุนเวียนในระบบมีการระเหยไป Solenoid valve ก็จะทำการจ่ายน้ำดีเข้ามาสู่ถาดเก็บน้ำ ซึ่งจะทำเป็นระบบเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ



ภาพ 8 แสดงการติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศ

การออกแบบการทดลอง



ภาพ 9 ไดอะแกรมการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลและเกจวัดความดันในเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทดลอง

จุดที่บันทึกผลเพื่อนำมาคำนวณมีดังนี้

1. อุณหภูมิ

T_1 = อุณหภูมิน้ำยาออกจากเครื่องระเหย

T_2 = อุณหภูมิน้ำยาก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

T_3 = อุณหภูมิน้ำยาออกจากคอนเดนเซอร์

T_4 = อุณหภูมิน้ำยาก่อนเข้าเครื่องระเหย

2. ความดัน

P_1 = ความดันน้ำยาออกจากเครื่องระเหย

P_2 = ความดันน้ำยาก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

P_3 = ความดันน้ำยาออกจากคอนเดนเซอร์

P_4 = ความดันน้ำยาก่อนเข้าเครื่องระเหย

3. แรงดันไฟฟ้า (V)-วัดแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาในระบบ

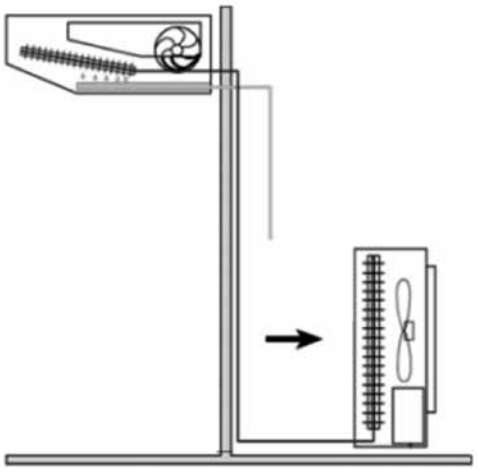
4. กระแสไฟฟ้า (I)-วัดที่คอมเพรสเซอร์

การทดลองและผลการทดลอง

การศึกษาทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้มีการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส พัดลมเบอร์ 3 และทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 08:00 น.-16:00 น.รวม 8 ชั่วโมง ดังนี้

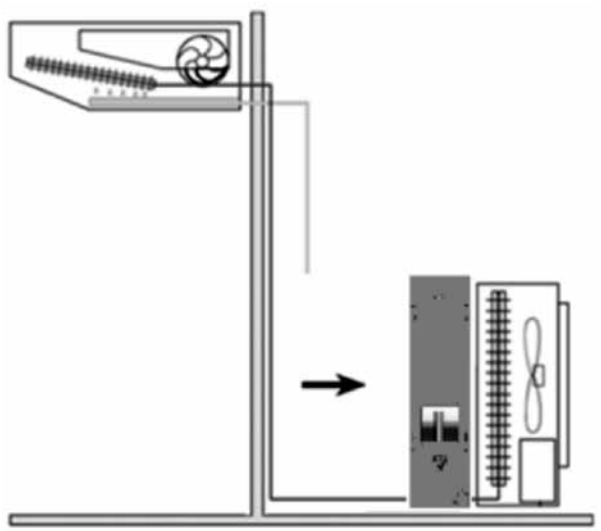
วิธีการทดลอง แบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

1. เครื่องปรับอากาศปกติ



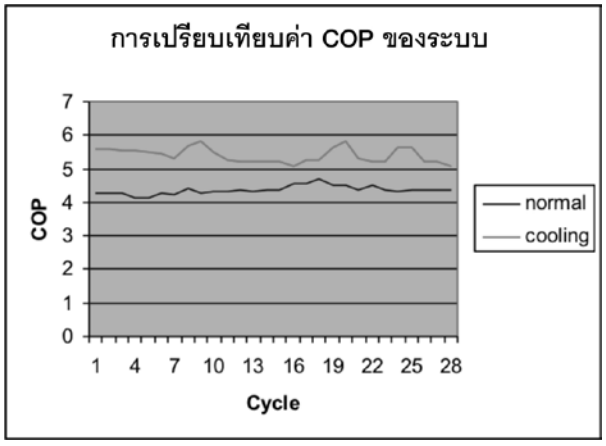
ภาพ 10 ทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนปกติ

2. ติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ให้ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศ



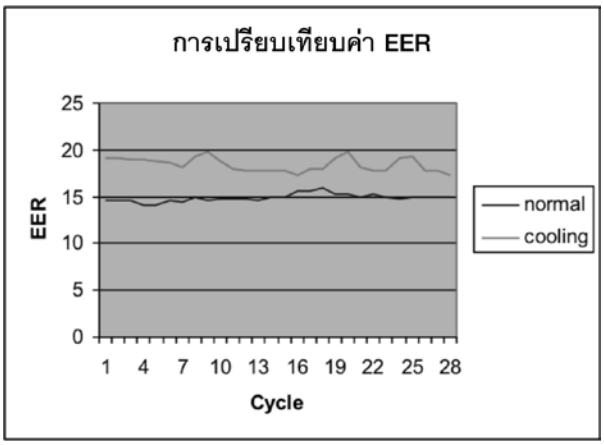
ภาพ 11 การติดตั้งชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

ผลการทดลอง



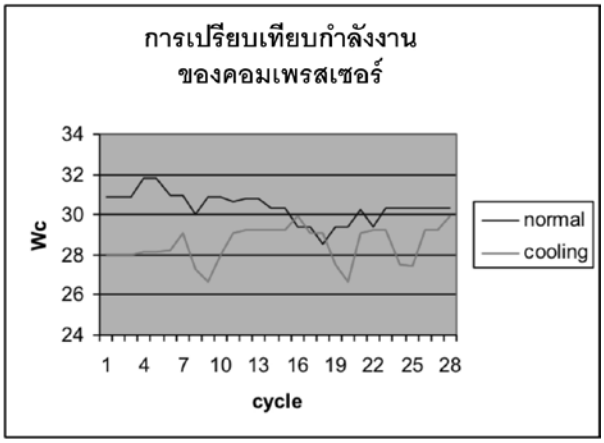
ภาพ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP

จากภาพ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่า COP เฉลี่ยเท่ากับ 5.42 และการใช้เครื่องปรับอากาศปกติมีค่า COP เฉลี่ยเท่ากับ 4.37 การติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทำให้ค่า COP เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.05 คิดเป็น 24.48 %



ภาพ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า EER

จากภาพ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า EER เฉลี่ยจะเห็นได้ว่า การติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่า EER เฉลี่ยเท่ากับ 14.78 (ระดับเบอร์ 5) และการใช้เครื่องปรับอากาศปกติมีค่า EER เฉลี่ยเท่ากับ 11.92 (ระดับเบอร์ 5) การติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทำให้ค่า EER เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.86 คิดเป็น 24%



ภาพ 14 แสดงการเปรียบเทียบกำลังงาน (kW-hr) ที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในช่วงเวลา 8 ชม.

จากภาพ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย โดยจะคิดตามเวลาการทำงานที่ใช้จริงจากจังหวะการเดิน-หยุด (Cycle) ของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดลดความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่ากำลังงานเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 3.80 kW-hr ส่วนการเดินเครื่องปกติค่ากำลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 5.24 kW-hr จากการติดตั้งชุดลดความร้อนที่

คอนเดนเซอร์ค่ากำลังงานเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ลดลงเท่ากับ 1.44 kW-hr คิดเป็น 27.48 %

การวิเคราะห์และการสรุป

สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า ในการทดลองกรณีติดชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิและความดันในระบบไม่สูงมากนัก จึงทำให้ความสามารถในการทำความเย็น (COP) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.05 คิดเป็น 24.48 % และประสิทธิภาพการให้ความเย็น EER เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.86 คิดเป็น 24% (ระดับเบอร์ 5) กำลังงานที่ใช้ของระบบน้อยลงเท่ากับ 1.44 kW-hr คิดเป็น 27.48 % การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 20.92 % ค่าที่ได้เป็นค่าสมรรถนะดีมากและสูงกว่าปกติ เนื่องจากมีการช่วยระบายความร้อนที่ดีให้แก่สารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ เป็นผลให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ไม่หนักมาก การใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะลดลง

ข้อจำกัดสำหรับการใช้ชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

การออกแบบชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr ซึ่งหากต้องการใช้กับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ต้องเพิ่มขนาดของชุดลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

เอกสารอ้างอิง

ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงศ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2555). A development of pyrolysis oven for wood vinegar production. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 6*(2), 147-155.

ชูชัย ต. ศิริวัฒนา. (2546). *การทำความเย็นและการปรับอากาศ (Refrigeration and Air conditioning)*. กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.

สมชัย อัครทิวา และขวัญจิต วงษ์ซารี. (2547). *เทอร์โมไดนามิก (Thermodynamic)*. กรุงเทพฯ: ท็อป.

สมศักดิ์ สุโมตกุล. (2544). *เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อนุสรณ์ สรพรหม. (2543). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส.

Stockers, W. F. & Jones, J. W. (1982). *Refrigeration & Air conditioning*. Singapore: McGraw-Hill international Editions.