

การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของคอมเพรสเซอร์ของ
ระบบปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นการทำงานที่ใช้เวลาต่างกัน
Comparative energy consumption of an air conditioning
compressor in start up with different operation times

อภิเดช บุญเจือ^{1*}, สาธิต ทูลโทสง¹, สัญชัย รำเพยพัด¹, วสันต์ ศรีเมือง¹ และ
สถาพร ทองวิค²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี
จ.ปทุมธานี 12110

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 044-233073, โทรสาร: 044-233074

E-mail: apidach.bo@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานการสตาร์ทคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศขนาด 12500 บีทียูต่อชั่วโมง ในกรณีที่ติดตั้งชุดคอยล์ร้อน (CDU) อยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็น (FCU) ซึ่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีความยาวท่อในแนวตั้งมากกว่า 12 จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานสูง การทดลองกำหนดให้ชุดลดพลังงานการสตาร์ทคอมเพรสเซอร์เปรียบเทียบช่วงเวลา 20 และ 40 วินาที สภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้ใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงมากที่สุดโดยกำหนดให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน 20 นาที และหยุดการทำงาน 6 นาที ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง อุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ $39 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งถูกควบคุมให้คงที่ด้วยขดลวดความร้อน ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลอง $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งถูกควบคุมให้คงที่ด้วยความร้อนจากแสงของหลอดไฟ การติดตั้งท่อสารทำความเย็นในแนวตั้งระยะห่างระหว่าง FCU และ CDU มีค่าคงที่ 12 เมตร จากการศึกษาพบว่า หากเพิ่มเวลาในการทำงานของคอมเพรสเซอร์จากเริ่มทำงาน จาก 20

วินาที เป็น 40 วินาที จะทำให้พลังงานที่ใช้ลดลง 2 % นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า COP เพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อยโดยมีค่า 0.121 % ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า หลังจากติดตั้งชุดลดพลังงานเข้ากับระบบเดิมจะส่งผล COP ของค่อนข้างระบบเท่าเดิมและการสิ้นเปลืองพลังงานในจังหวัดเริ่มต้นทำงานลดลงได้ถึง 2 %

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศ/ลดพลังงาน/สัมประสิทธิ์สมรรถนะ/ความยาวท่อสารทำความเย็น

Abstract

This paper presents the result of energy consumption in start up of split type air conditioning system. The 12500 BTU of split type air conditioning which installed a fan coil unit (FCU) below condenser unit (CDU) was tested. The distance between FCU and CDU is 12 m, which connected by refrigerant tubes. A conventional system and with energy saving device was compared in term energy consumption. The total time of the test is 8 hour a day, in during test, a system was started and the time was follows on 20 minute, then the system was shut down for 6 minute. The outdoor of air-temperature was controlled at $39\pm 2^{\circ}\text{C}$ by using an electrical heater. The indoor of

air-temperature was controlled at 24 ± 2 °C by using lights. Results, the energy saving device can be enhanced COP of 0.121%, and also reduced energy consumption about 2 %.

Keyword: air conditioning/energy saving/coefficient of performance/refrigerant tube

1. บทนำ

ปัจจุบันสภาวะของอากาศและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบของสภาวะโลกร้อนซึ่งทำให้ประเทศไทยที่มีอากาศร้อนขึ้นอยู่แล้ว ยิ่งทำให้อากาศมีอุณหภูมิร้อนมากกว่าเดิมนั้น มีผลกระทบกับภาคอุตสาหกรรม สำนักงานและอาคารที่พักอาศัยซึ่งเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศจะใช้พลังงานประมาณ 50 - 70% ของพลังงานทั้งหมดของอาคาร [1, 2] ดังนั้นการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญค่าตัวแปรที่แสดงถึงพลังงานที่ลดลงหรือค่า COP และ EER ที่เพิ่มขึ้นงานวิจัยที่ผ่านมาได้พยายามลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ พูลพงศ์ สวัสดิพันธ์ [3] ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลิขวิดอินเตอร์คูลเลอร์ พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอมีค่า COP และ EER สูงกว่าระบบที่ไม่ใช้ลิขวิดอินเตอร์คูลเลอร์

22% ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ [4] ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยใช้การลดอุณหภูมิด้วยน้ำระเหย พบว่าปริมาณการทำความเย็นและการประหยัดไฟฟ้าในรูปของ EER ได้ค่าสูงถึง 16 อภิชาติ อัจฉนา เชี่ยว และ ชาญวิทย์ ศรีเพ็ญชัย [5] ศึกษาการประหยัดพลังงานโดยใช้คูลิ่งแพคที่คอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 10% Pisarn naphon และคณะ [6] ทดลองปรับปรุงระบบปรับอากาศโดยใช้ไปป์ความร้อน ระบายอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อน (Condenser) โดยใช้ท่อขนาด 10, 600 mm. จัดวางท่อเป็นฟันปลาทับกัน 1, 2, 3 แถว ใช้สารทำความเย็น R-134a ผลการทดลองเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มี การติดตั้งไปป์ให้ความร้อนเมื่อใช้ไปป์ให้ความร้อนจำนวน 3

เชียงใหม่

แถวจะใ้ค่า COP และ EER เพิ่มขึ้น 6.4%, 17.5% ตามลำดับ Hu and Huang [7] รายงานว่าการเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา สามารถทำได้โดยการลดค่าการสูญเสียในท่อหรือการลดค่าความดันแตกต่างระหว่าง FCU และ CDU Jongmin choi และคณะ [8] ศึกษาความเหมาะสมของอุปกรณ์ โดยสร้างสมการในการหาความยาวท่อลดความดันแบบรูเข็ม (Capillary tube) ที่ใ้กับสารทำความเย็น R-12 , R-22 , R-134a , R-152a , R-407C และ R-410A โดยสมการที่สร้างขึ้นมามีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองจริง อภิเดช บุญเจือ และคณะ [9] หาความยาวท่อสารทำความเย็นที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ความยาวท่อสารทำความเย็น 3, 6, 9, 12 เมตร พบว่าที่ความยาวท่อสารทำความเย็น 3 เมตร มีค่า COP ดีกว่า 12 เมตร อภิเดช บุญเจือและคณะ [10] หาวิธีการลดพลังงานเครื่องปรับอากาศที่ใ้ความยาวท่อสารทำความเย็น 12 เมตร ในแนวตั้งเมื่อติดตั้งชุดลดพลังงานสามารถลดพลังงานลงได้จากเดิม 5.62 % จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า

มีการทำงานวิจัยเกี่ยวกับการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงศึกษาผลที่เกิดจากการเดินท่อสารทำความเย็นในแนวตั้งใ้ความยาวท่อสารทำความเย็น 12 เมตร และใ้ช่วงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับ

2. รายการสัญลักษณ์

COP สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

EER อัตราส่วนประสิทธิภาพ

พลังงาน (Btu/w-hr)

h_1 เอนทาลปีที่ทางออก

คอมเพรสเซอร์ (Btu/lb)

h_2 เอนทาลปีที่ทางออกคอยล์เย็น (Btu/lb)

h_4 เอนทาลปีที่ทางออกคอยล์ร้อน (Btu/lb)

\dot{m} อัตราการไหล (lb/min)

\dot{m}_r อัตราการไหลเชิงมวลสารทำความเย็น R-22 (lb/hr)

\dot{Q}_{evap} ขนาดของเครื่องระเหย (Btu/hr)

\dot{Q}_{cond} ขนาดของเครื่องควบแน่น (Btu/hr)

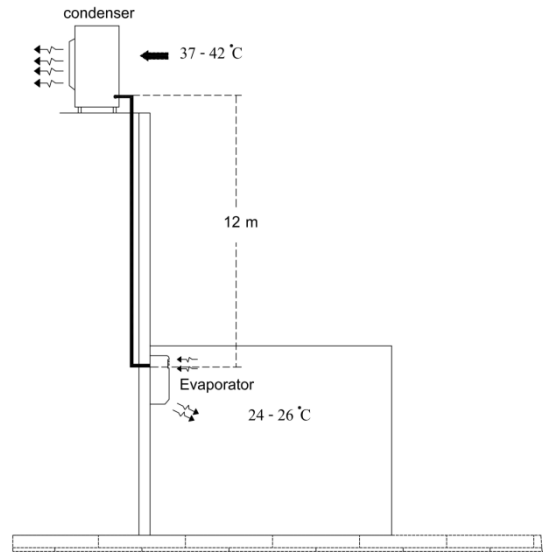
- \dot{W}_{comp} กำลังงานที่เกิดขึ้นที่คอมเพรสเซอร์ (Btu/hr)
- T อุณหภูมิ (F)
- W พลังงานไฟฟ้า (W)

3. อุปกรณ์และการทดลอง

การสร้างชุดทดลองเพื่อหาวิธีการลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งท่อสารทำความเย็นเดินในแนวตั้งสำหรับใช้ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ในการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12500 บีทียูต่อชั่วโมง เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยกำหนดให้ชุดคอยล์ร้อน อยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็นดังรูปที่ 2 ติดตั้งคอมเพรสเซอร์ชนิดโรตารี ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็น ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วยชุดปรับความดันแบบรูเข็ม(Capillary Tube)



รูปที่ 1 ชุดเครื่องปรับอากาศ



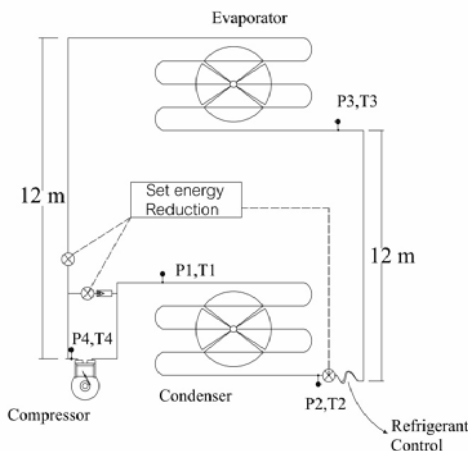
รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

3.1. วิธีการทดลอง

ระบบจะควบคุมให้เครื่องปรับอากาศทำงานในสภาวะเดียวกัน ใช้ชุดควบคุมเวลา(Timer) กำหนดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และควบคุมอุปกรณ์ (Solenoid valve) ลดพลังงานของคอมเพรสเซอร์โดยการควบคุมความดันในระบบที่ 20 วินาที และ 40 วินาที ซึ่งกำหนดการทำงานให้เหมือนกับสภาวะจริง กำหนดให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน 30 นาที หยุดทำงาน 6 นาทีดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 การศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ สภาวะอากาศภายนอกห้องด้านเข้าคอยล์ร้อนมีอุณหภูมิ 39 ± 2 องศาเซลเซียส

เขียนราย

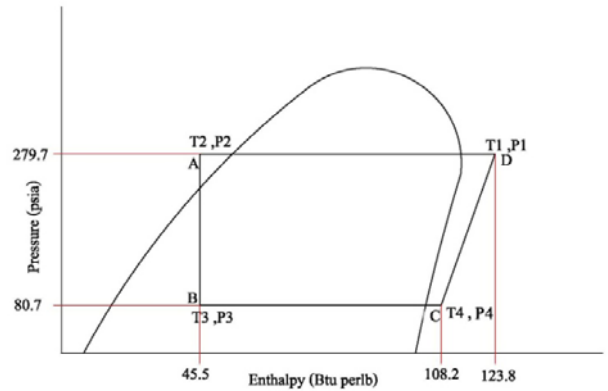
ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ด้วยหลอดไฟ 500 Watts 4 ชุด และใช้ความยาวท่อสารทำความเย็นที่ต่อระหว่างคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น 12 เมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 3 ติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ลดการใช้พลังงาน

3.2 หลักการทำงาน

หลักการทำงานเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ จะดูดไอสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิสูง ไอจะถูกส่งไประบายความร้อนคอยล์ร้อน(Condenser) เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อุณหภูมิและความดันจะลดความดันลง เมื่อผ่านท่อรูเข็ม ไปรับความร้อนจากห้องทดลองแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่คอยล์เย็น (Evaporator) ไอกลับเข้าคอมเพรสเซอร์ (Compressor) และทำงานเป็นวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 4 การหาค่าเอนทัลปี

3.3 การคำนวณวิเคราะห์ด้านพลังงาน

จากผลการทดลอง คำนวณเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเมื่อติดตั้งชุดลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ดังนี้

1. อัตราการทำความเย็น พิจารณาจากอุณหภูมิและอัตราการไหลสารทำความเย็นคอยล์เย็น [11,12]

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_4 - h_3) \quad (1)$$

2. ปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากคอยล์ร้อนได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_1 - h_3) \quad (2)$$

เชียงใหม่

3. กำลังงานที่เกิดจากคอมเพรสเซอร์พิจารณาจากอุณหภูมิและอัตราการไหลสารความเย็น

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (3)$$

4. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

$$COP = \frac{\text{Cooling output}}{\text{work of compression}} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \quad (4)$$

(4)

5. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

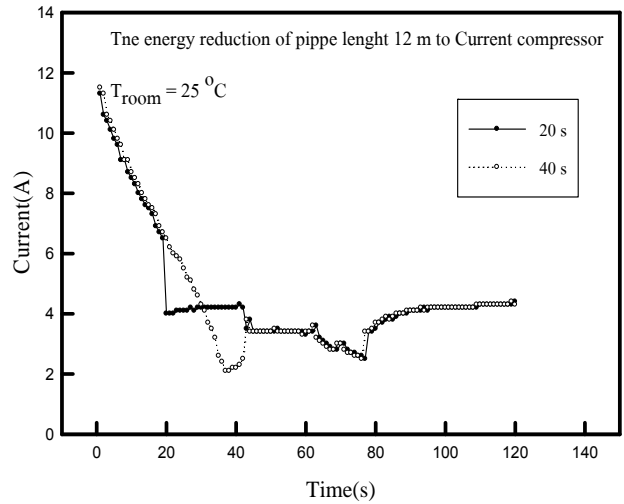
$$EER = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{BTU / hr}{watts} \quad (5)$$

(5)

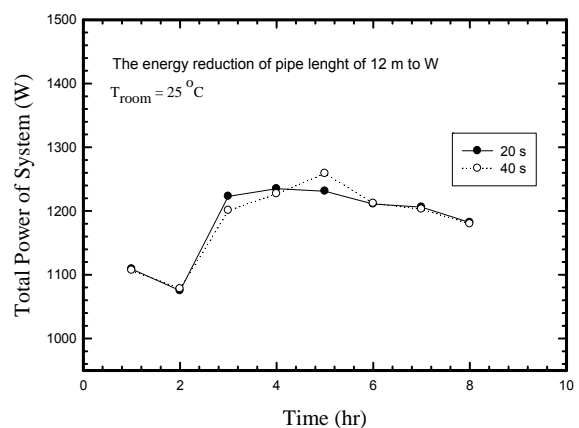
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ต้องการทราบผลของพลังงานและประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นเมื่อปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลดพลังงานของการสาตาร์ทคอมเพรสเซอร์ที่ใช้เวลา 20 และ 40 วินาที โดยความยาวท่อสารทำความเย็น 12 เมตร รูปที่ 5 พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ ในช่วงที่ 40 วินาที ลดลงกว่า 20 วินาทีเนื่องจากในระยะเวลาในการควบคุมความดันที่

แตกต่างกันทำให้ช่วงที่ 40 วินาทีมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 20 วินาที 2.1 %

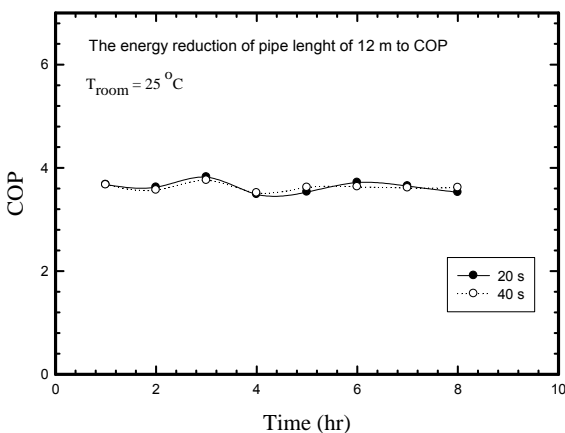
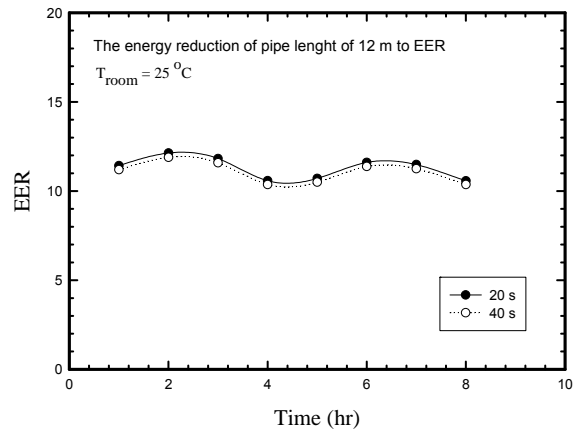


รูปที่ 5 ค่ากระแสในช่วงเวลาต่างกัน จากที่กระแสของคอมเพรสเซอร์ลดลงนั้นเกิดจากการลดความดันในระบบในช่วงเวลา 20,40 วินาที แต่พลังงานที่ใช้ลดลงไม่มากดังแสดงในรูปที่ 6 พลังงานที่ลดลงเมื่อลดความดันในช่วงเวลา 20 วินาที ใช้พลังงานน้อยกว่า 40 วินาที เท่ากับ 1.70 %



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าCOP

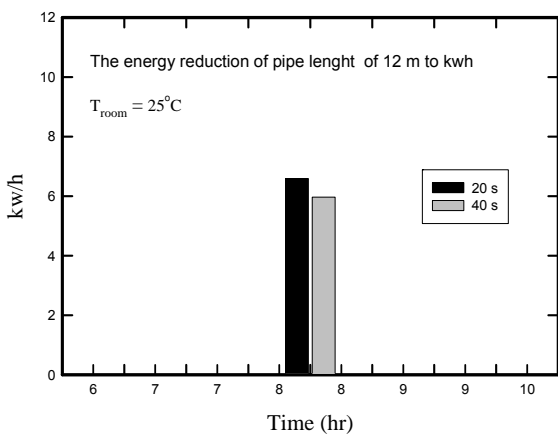
รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าพลังงาน
รูปที่ 6 ค่าพลังงานไฟฟ้า
พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการ
ทำความเย็น(COP) ในงานทดลอง
ค่า COP จะไม่เป็นเปลี่ยนแปลงไป
ตามค่าพลังงานที่ลดลงเนื่องจากการ
ลดพลังงานไฟฟ้าเป็นการลดความดัน
ในระบบในช่วงเริ่มทำงานของ
คอมเพรสเซอร์ทำให้ค่า COP ไม่
แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 7 ค่า
COP ที่40 วินาที เพิ่มขึ้น 0.63 % รูป
ที่ 8 ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น
(EER) นั้นไม่เปลี่ยนแปลงตาม
พลังงานที่ลดลง เพิ่มขึ้น 1 %



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าEER
รูปที่ 9 การสิ้นเปลืองพลังงานนี้เกิดขึ้น
เนื่องจากการลดความดันของระบบ
เมื่อความดันในระบบน้อยก็จะทำให้
คอมเพรสเซอร์ ทำงานน้อยลง ทำให้
ค่าพลังงานที่ได้ลดลง และค่า
พลังงานที่ลดลงนั้นก็จะเป็นไป
ตามระยะเวลาที่ใช้ในการลดความ
ดันในระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าใน
ช่วงเวลาที่40 วินาทีจะใช้พลังงาน

เชียงใหม่

น้อยกว่า ช่วง 20 วินาที เท่ากับ 3.53 %



รูปที่ 9 เปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงาน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการติดตั้งชุดลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12500 บีทียูต่อชั่วโมง ใช้ช่วงเวลาที่แตกต่างกันที่ 20 และ 40 วินาที ที่ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็นที่

ความยาวท่อ 12 เมตร ภายใต้การควบคุมสภาวะเดียวกัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยลดลง 3.53 %
2. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น มีค่า COP เท่ากับ 0.63%
3. ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบการทำงานของคอมเพรสเซอร์ มีค่าเพิ่มขึ้น 1 %

จากผลงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่ลดลงนั้นไม่มีผลกระทบกับค่า COP และ EER ค่าพลังงานที่ลดลง เนื่องจากการลดภาระการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศใช้วิธีการลดความดันที่คอมเพรสเซอร์ ที่มีระยะเวลาแตกต่างกัน ทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลง ดังนั้นเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลงจึงทำให้พลังงานลดลงไปด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาช่างเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์

เชียงใหม่

สถานที่ รวมทั้งแหล่งความรู้ในการสืบค้นงานวิจัย และ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] พูนพงศ์ สวัสดิพันธ์,อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และ ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ (2548) “การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศโดยใช้น้ำควบแน่นจากฮีวาปอเรเตอร์”, *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่1* โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้จอมเทียน จ.ชลบุรี.

[2] Chaichana, C. William, W.S.C., and Lu A., (2001) “An ice thermal storage computer model”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, pp. 1769-1778.

[3] พูนพงศ์ สวัสดิพันธ์ อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และ ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ (2549) “การเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลิขิตอินเตอรัคัลเลอร์” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20* จังหวัดนครราชสีมา หน้า 315-316

[4] ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ (2549) “การเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยใช้การลดอุณหภูมิด้วยน้ำระเหย” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20* จังหวัดนครราชสีมา หน้า 321-322

[5] อภิชาติ อัจฉนาเขียว และ ชาญวิทย์ ศรีเพ็ญชัย (2551) “การประหยัดพลังงานโดยใช้कुल्लिंगแพคที่คอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22* จังหวัดปทุมธานี หน้า 207

[6] Paisarn Naphon (2010) on the performance the condenser, *Energy conversion and Management* April 2010

[7] Hu, S.S. and Huang, B.J., (2005) “study of a high efficiency residential split water-cool air conditioner, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp. 599-1673.

[8] Jongmin Choi, Yongchan Kim and Jim Taek Chung (2004). An empirical and rating charts for the performance of adiabatic capillary tubes with alternative refrigerants, *Applied Thermal Engineering* 24(2004) 29-41.

[9] อภิเดช บุญเจือ และ คณะ (2553) “ผลของความยาวท่อสารทำความเย็นต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ชุดคอยล์เย็นอยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24* จังหวัดอุบลราชธานี หน้า 154

[10] อภิเดช บุญเจือ และ คณะ (2553) “ผลของการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศชุด

คอยล์ร้อนอยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็น” *การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 10* จังหวัดเชียงใหม่ หน้า 323

[11] Dossat, Roy J. (1978). *Principles of Refrigeration* 2nd edition New York: wiley.

[12] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา (2546) *การทำ ความเย็นและปรับอากาศ*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
มที่ไม่สมบูรณ์

PaisarnNaphon (2010).On the performance the condenser, *Energy conversion and Management* April 2010