

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ผลของความยาวท่อสารทำความเย็นต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ชุดคอยล์เย็นอยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน

Effect of Refrigerant Pipe Length on Coefficient of Performance of Air- Conditioning : Fan-Coil Unit lower than Condensing Unit

อภิเดช บุญเจือ, เทอดเกียรติ ลิ้มปรีชาราการ, สุเทพ วัชรารุ่งวิทย์, สถาพร ทองวิค *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 0-2549-3430-9 โทรสาร 0-2549-3432
E-mail: rmutt_thermallab@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อหาผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่จำเป็นต้องติดตั้งชุดคอยล์เย็น (FCU) อยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน (CDU) ในการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12500 บีทียูต่อชั่วโมง และติดตั้งชุดควบคุมอัตราการไหลสารทำความเย็นแบบบูรณาการในชุดคอยล์ร้อนสำหรับสถานะในการศึกษาทำการทดลองที่อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง 39 ± 2 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองประมาณ 25 ± 1 องศาเซลเซียส และศึกษาถึงอิทธิพลของความยาวท่อสารทำความเย็นที่มีต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความ (COP) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) โดยเพิ่มความยาวท่อสารทำความเย็นแตกต่างกัน 4 ค่าได้แก่ 3, 6, 9 และ 12 เมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความยาวท่อสารทำความเย็นจะแปรผกผันกับอัตราการทำความเย็นหรือสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น กล่าวคือค่าที่ได้จะลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งเป็นผลมาจากความดันตกคร่อมที่สูงขึ้น จากการเปรียบเทียบค่า COP และค่า EER พบว่ามีค่าลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นเป็น 7% และ 6.2% ตามลำดับ ส่งผลให้ผลงานวิจัยนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาความยาวท่อสารทำความเย็นที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น โดยเฉพาะกรณีการติดตั้ง FCU อยู่ต่ำกว่า CDU เช่นอาคารพาณิชย์ อาคารส่วนราชการที่มีพื้นที่จำกัด นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นข้อมูลประยุกต์ในการออกแบบระบบปรับอากาศลดไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง ได้ในอนาคต

คำสำคัญ การติดตั้ง, สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน, เครื่องปรับอากาศ

Abstract

The effect of configuration of the Fan-Coil Unit (FCU) installed lower than Condensing Unit (CDU) on the split type of air-conditioning was studied. The experiment used an air-conditioning with split type 12500 BTU/hr including capillary tube flow control meter on the Fan-coil unit. The temperature of surrounding of $39\pm 2^{\circ}\text{C}$ and the room temperature of about $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ were tested. The quantities of Coefficient of Performance (COP) and the Energy Efficiency Ratio (EER) were studied by increasing the

length of refrigerant pipe from 3 to 6, 9 and 12 m, respectively. From the experiment, the changing of refrigerant pipe length was reversible proportion to cooling rate. It is mean that the cooling rate decreased with increasing the pipe length, On the other hand, the pipe length was proportional to electric power supplied to the compressor owing to effect of a high pressure drop. The comparison of COP and EER showed that the value of COP and EER decreased with the increasing of pipe length 7% and 6.2%, respectively. The effect of length of the refrigerant pipe on COP can be analyzed by the present study, particular in the configuration of that split type air-conditioning FCU is installed lower than CDU; such as apartment and government building. Additional, we can use this data in order to apply to design an air condition system for small electric vehicle.

Keywords: COP, EER, Air-Condition, Installation

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเผชิญกับสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อลดปัญหาและตอบสนองความต้องการของมนุษย์ การปรับอากาศ (Air Conditioning) จึงเข้ามามีบทบาทต่อมนุษย์เราแทบจะหลีกเลี่ยงไม่ได้และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นในห้องนอนห้องทำงาน ขนาดเล็ก และอาคารขนาดใหญ่เช่นห้องประชุม อาคารสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งระบบปรับอากาศจะใช้พลังงานประมาณ 50 - 70% ของพลังงานทั้งหมดของอาคาร[1, 2] ดังนั้นการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญ ค่าตัวแปรที่แสดงถึงพลังงานที่ลดลงคือค่า COP และ EER ที่เพิ่มขึ้นงานวิจัยที่ผ่านมาได้พยายามลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ด้วยการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลิขิตอินเตอร์คูลเลอร์ [3] พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอน์มีค่า COP และ EER สูงกว่าระบบที่ไม่ใช้ลิขิตอินเตอร์คูลเลอร์ 22% รัชชัย นาคพิพัฒน์ [4] ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยใช้การลดอุณหภูมิด้วยน้ำระเหย พบว่าปริมาณการทำความเย็นและการประหยัดไฟฟ้าในรูปของ EER ได้ค่าสูงถึง 16 อภิชาติ อัจฉนาเขียว และชาญวิทย์ ศรีเพ็ญชัย [5] ศึกษาการประหยัดพลังงานโดยใช้คูลิ่งแพคที่คอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 10%

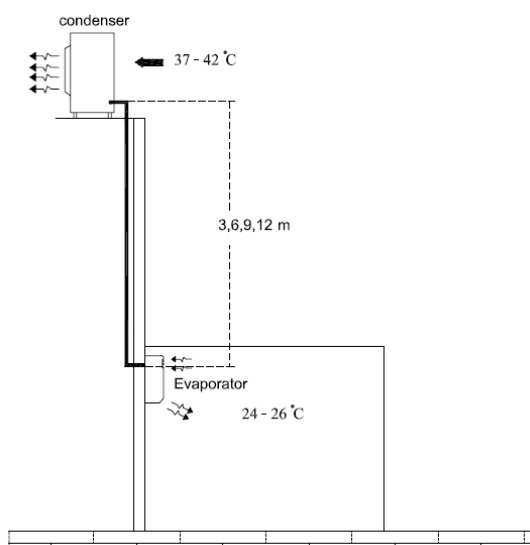
Pisarn naphon และคณะ[6] ทดลองปรับปรุงระบบปรับอากาศโดยใช้ไปป์ความร้อน ระบายอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อน(Condenser) โดยใช้ท่อขนาด 10, 600 mm. จัดวางท่อเป็นฟันปลาทับกัน 1, 2, 3 แถว ใช้สารทำความเย็น R-134a ผลการทดลองเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศปกติที่ไม่มีการติดตั้งไปป์ให้ความร้อน เมื่อใช้ไปป์ให้ความร้อนจำนวน 3 แถวจะให้ค่า COP และ EER เพิ่มขึ้น 6.4%, 17.5% ตามลำดับ Hu and Huang [7] รายงานว่าการเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาสามารถทำได้โดยการลดค่าการสูญเสียในท่อหรือการลดค่าความดันแตกต่างกันระหว่าง FCU และ CDU Jongmin choi และคณะ [8] ศึกษาความเหมาะสมของอุปกรณ์ โดยสร้างสมการในการหาความยาวท่อลดความดันแบบรูเข็ม(Capillary tube) ที่ใช้กับสารทำความเย็น R-12, R-22, R-134a, R-152a, R-407C และ R-410A โดยสมการที่สร้างขึ้นมานั้นมีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองจริง นอกจากนั้นการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะการติดตั้งท่อสารทำความเย็นไม่ถูกวิธี ความยาวท่อที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าสูง จากการสำรวจอาคารพาณิชย์ อาคารส่วนราชการ รวมถึงรถโดยสารประจำทาง รถตู้โดยสารปรับอากาศ รถไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นต้น เนื่องจากถูกจำกัดพื้นที่ในการติดตั้ง จึงจำเป็นต้องติดตั้งคอยล์ร้อนอยู่สูงกว่าคอยล์เย็น รูปแบบการติดตั้งดังกล่าวยังไม่เป็น

ที่แน่ชัดถึงผลของความยาวท่อสารทำความเย็นที่อาจส่งผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ คณะผู้วิจัยจึงศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความยาวท่อสารทำความเย็น เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่แสดงออกมาในรูปของค่า COP และ EER ดังนำเสนอในหัวข้อต่อไป

2. รายการสัญลักษณ์

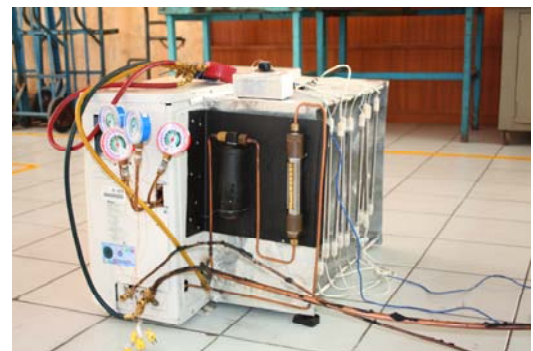
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น
EER	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Btu/w-hr)
h_1	เอนทาลปีทางออกคอมเพรสเซอร์ (Btu/lb)
h_2	เอนทาลปีทางออกคอยล์เย็น (Btu/lb)
h_4	เอนทาลปีทางออกคอยล์ร้อน (Btu/lb)
m	มวล (lb)
$\dot{m}$	อัตราการไหล (lb/min)
$\dot{m}_r$	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น R-22 (lb/hr)
$\dot{Q}_{evap}$	ขนาดของเครื่องระเหย (Btu/hr)
$\dot{Q}_{cond}$	ขนาดของเครื่องควบแน่น (Btu/hr)
$\dot{W}_{comp}$	กำลังงานที่เกิดขึ้นที่คอมเพรสเซอร์ (Btu/hr)
T	อุณหภูมิ (F)
W	พลังงานไฟฟ้า (W)
X	ความยาวท่อสารทำความเย็น(m)

3. อุปกรณ์และการทดลอง



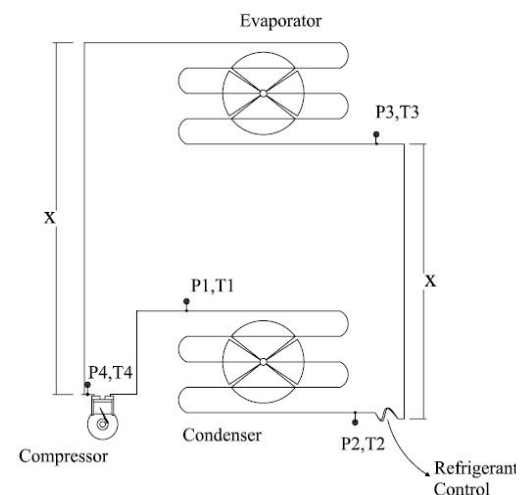
รูปที่ 1 ระยะเวลาติดตั้งท่อสารทำความเย็น

การสร้างชุดทดลองเพื่อหาความยาวที่เหมาะสมของท่อสารทำความเย็นในแนวดิ่งสำหรับใช้ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ในการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12000 บีทียูต่อชั่วโมง เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยกำหนดให้ชุดคอยล์ร้อน อยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็นดังรูปที่ 1 ติดตั้งคอมเพรสเซอร์ชนิดโรตารี TOSHIBA รุ่น PH 200X2C ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ควบคุมอัตราการไหลสารทำความเย็นด้วยชุดปรับความดันแบบรูเข็ม (Capillary Tube)



รูปที่ 2 ชุดเครื่องปรับอากาศ

การศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ สภาวะอากาศภายนอกห้องด้านเข้าคอยล์ร้อนมีอุณหภูมิ 39 ± 2 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ด้วยหลอดไฟ 500 Watts 2 ชุด และเพิ่มความยาวท่อสารทำความเย็นที่ต่อระหว่างคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นจาก 3 เมตร เป็น 6, 9 และ 12 เมตร ตามลำดับ

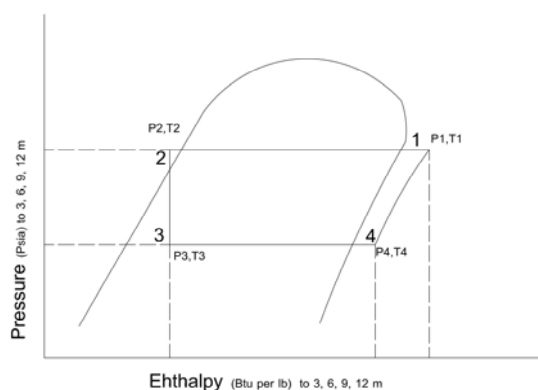


รูปที่ 3 วิธีการวัดและเก็บค่าอุณหภูมิ และความดัน

ในระบบเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องวัดความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็น 4 จุด วัดอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศด้านเข้าและออกจากคอยล์เย็น ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 บันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กระทำซ้ำๆ อีก 3 ครั้ง ในการทดลองจะจดบันทึกค่าต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และวัดอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ารวมของระบบเครื่องปรับอากาศ นำผลการทดลองอุณหภูมิและความดันสารทำความเย็นมาเขียนลงในมอดิเลียร์ดังรูปที่ 4 เพื่อหาค่าเอนทาลปีคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของความยาวแต่ละช่วง

3.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ จะดูดไอสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิสูง ไอจะถูกส่งไประบายความร้อนคอยล์ร้อน(Condenser) เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อุณหภูมิและความดันจะลดความดันลง เมื่อผ่านท่อรูเข็ม ไปรับความร้อนจากห้องทดลองแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่คอยล์เย็น(Evaporator) ไอ กลับ เข้า ค อ ม เพร ส เซ อร์ (Compressor) และทำงานเป็นวัฏจักรต่อไป



รูปที่ 4 การหาค่าเอนทาลปี

3.2 การคำนวณวิเคราะห์ด้านพลังงาน

จากผลการทดลอง คำนวณเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่ความยาวท่อสารทำความเย็น 3 , 6 , 9 และ 12 m ตามลำดับ ดังนี้

1. อัตราการทำความเย็น พิจารณาจากอุณหภูมิ และอัตราการไหลสารทำความเย็นคอยล์เย็น [9,10]

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

2. ปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากคอยล์ร้อนได้จากการ

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

3. กำลังงานที่เกิดจากคอมเพรสเซอร์ พิจารณาจากอุณหภูมิและอัตราการไหลสารทำความเย็น

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

4. สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

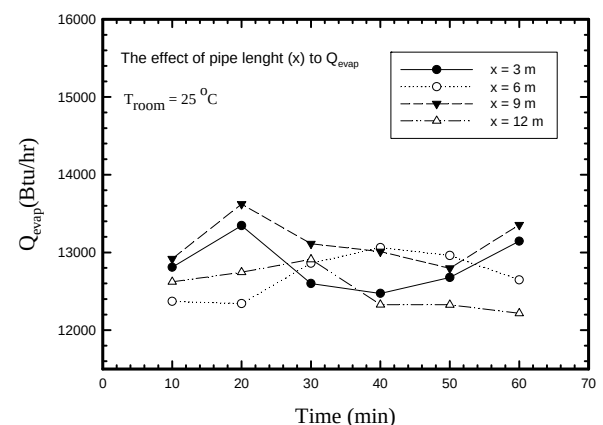
$$COP = \frac{\text{Cooling output}}{\text{work of compression}} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \quad (4)$$

5. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

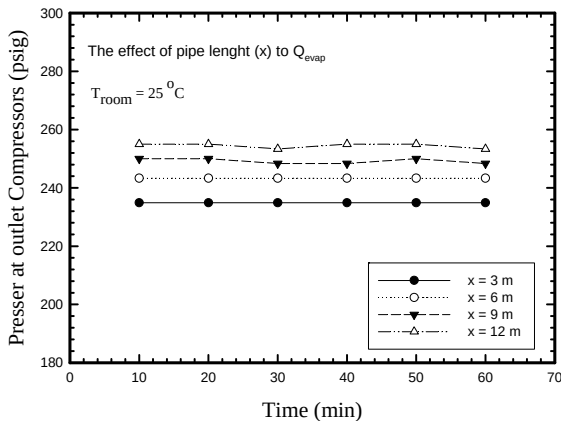
$$EER = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{BTU / hr}{watts} \quad (5)$$

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

การวิจัยนี้ต้องการทราบถึงผลของความยาวท่อที่เกิดจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ในลักษณะติดตั้งให้ชุดคอยล์ร้อนอยู่สูงกว่าชุดคอยล์เย็น โดยที่เพิ่มความยาวท่อสารทำความเย็นจาก 3, 6, 9 และ 12 เมตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบอัตราการทำความเย็นที่เกิดขึ้นที่อีวาเพอเรเตอร์ ($\dot{Q}_{evap}$) ดังรูปที่ 5 พบว่า ความยาวท่อ 3 เมตร และ 12 เมตร อัตราการทำความเย็นเฉลี่ยลดลง 2.47%

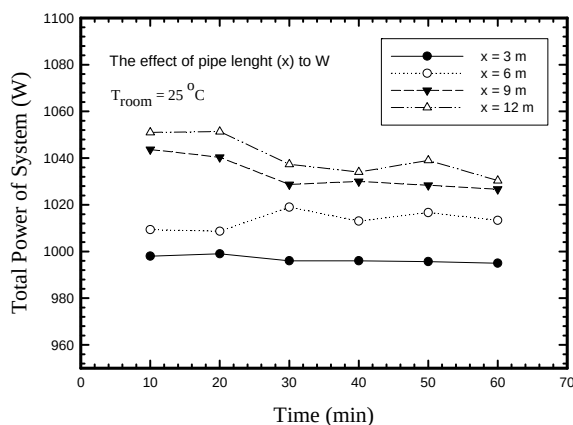


รูปที่ 5 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในอีวาพอเรเตอร์



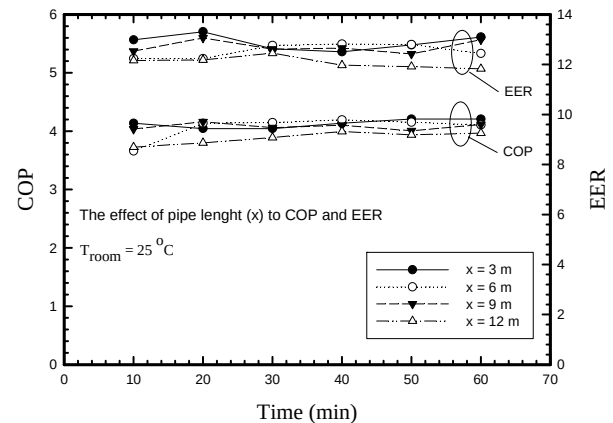
รูปที่ 6 ค่าความดันที่ทางออกคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 6 พิจารณาความดันด้านทางออกของคอมเพรสเซอร์ (P_{co}) เมื่อความยาวของท่อที่มากขึ้น จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ที่ความยาวท่อ 12 เมตร มีความดันสูงกว่าความยาวท่อ 9, 6 และ 3 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop) เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ แสดงดังรูปที่ 7 ท่อสารทำความเย็นช่วงความยาวท่อ 12 เมตร การใช้พลังงานจะสูงกว่า 9, 6, 3 เมตร มีสาเหตุจากต้องเอาชนะความดันตกคร่อมที่สูงขึ้นนั่นเอง แสดงให้เห็นได้จากแผนภาพมอเลียร์ รูปที่ 4

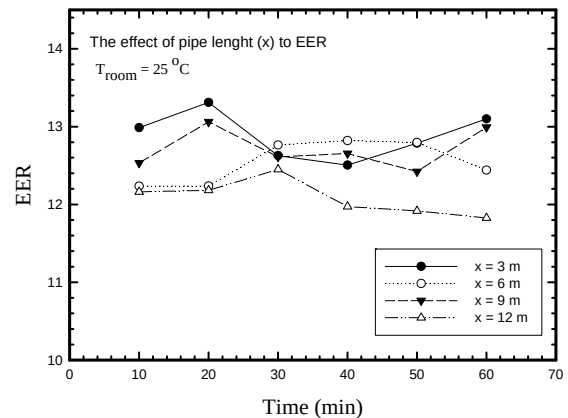


รูปที่ 7 ค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

ซึ่งผลจากการคำนวณที่เพิ่มขึ้นนี้ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบลดลง 7.14% และ 6.2% ตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่า COP และ EER



รูปที่ 9 ค่าประสิทธิภาพพลังงาน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการติดตั้งท่อสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12500 บีทียูต่อชั่วโมง ที่ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็นที่ความยาวท่อ 3, 6, 9 และ 12 เมตร ตามลำดับ ภายใต้การควบคุมสภาวะเดียวกัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. อัตราการทำความเย็นเฉลี่ยลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบที่ 3 เมตร และ 12 เมตร มีค่าเท่ากับ 12589 Btu/hr และ 12278 Btu/hr ตามลำดับ ลดลง 2.47%
2. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยสูงขึ้นตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบที่ 3 เมตร และ 12 เมตร มีค่าเท่ากับ 990 W และ 1033 W ตามลำดับ เพิ่มขึ้น 3.78 %
- 3.สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเฉลี่ยลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบที่ 3 เมตร และ 12 เมตร มีค่า COP เท่ากับ 4.2 และ 3.9 ตามลำดับ ลดลง 6.60 %
4. ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบที่ 3 เมตร และ 12 เมตร มีค่าเท่ากับ 12.88 และ 12.08 ตามลำดับ ลดลง 6.2 %

จากผลงานวิจัยนี้ สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาความยาวท่อสารทำความเย็นที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีความจำเป็นจะต้องติดตั้งชุดคอยล์ร้อนสูงกว่าชุดคอยล์เย็น เช่นอาคารพาณิชย์ อาคารส่วนราชการที่มีพื้นที่จำกัด นอกจากนั้น ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลประยุกต์ใช้ออกแบบระบบปรับอากาศรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง ที่มีพื้นที่จำกัดได้ในอนาคต

6.กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ(วช) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ รวมทั้งแหล่งความรู้ในการสืบค้นงานวิจัย และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พูลพงศ์ สวาสดิพันธ์,อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ (2548) “การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศโดยใช้น้ำควบแน่นจากอีวาพอเรเตอร์”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่ง

ประเทศไทยครั้งที่1 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] พูลพงศ์ สวาสดิพันธ์ อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ (2549) “การเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลิวิดอินเตอร์คูลเลอร์” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 จังหวัดนครราชสีมา หน้า 315-316
- [4] ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ (2549) “การเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยใช้การลดอุณหภูมิด้วยน้ำระเหย” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 จังหวัดนครราชสีมา หน้า 321-322
- [5] อภิชาติ อาจนาศิยาว และ ชาญวิทย์ ศรีเพ็ญชัย (2551) “การประหยัดพลังงานโดยใช้คอยล์ลิ่งแพคที่คอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 จังหวัดปทุมธานี หน้า 207
- [6] Paisarn Naphon (2010). On the performance of air conditioner with heat pipe for cooling air in 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] Dossat, Roy J. (1978). *Principles of Refrigeration* 2nd edition New York: wiley.
- [10] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา (2546) *การทำความร้อนและปรับอากาศ*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).