ETM-81

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วย อากาศ น้ำ และดิน

Comparison of Coefficient of Performance of Air-cooled Water-cooled and Ground-cooled Air Conditioners

เอกรินทร์ แสงธรรมรัตน์[1*] , โชคชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนท์[1] ,ปชาชิต สนสายันต์

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา นครปฐม 73170
*ผู้ติดต่อ: : ekarins2002@hotmail.com, 081-343-2554, 02-889-2138 Ext.6429

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ด้วยน้ำ และ ด้วยดิน เพื่อหาแนวทางในการลดภาระทางการใช้พลังงานไฟฟ้า และ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปรับอากาศ โดยจะศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศ ในการทดลองนี้ ได้ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำนวน 2 เครื่องในห้องทดลอง 2 ห้อง และได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วย อากาศ น้ำ และ ดินเข้าไปในวงจร โดยทำการทดลองที่ห้องทดลองปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล การทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และ ความดันของสารทำความเย็นทุก 10 นาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 3 วันต่อรูปแบบการระบายความร้อนและจากผลการทดลองนี้ได้ถูกนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานและ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ ที่ระบายความร้อนในแต่ละแบบ โดยผลการทดลองพบว่า เครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด (COP 3.4) รองลงมาคือเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ(COP 3.1) และ เครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยดิน มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (COP 1.8)

คำหลัก: ระบบปรับอากาศ, ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยดิน , ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ , การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The objective of this study is to compare the efficiency of 3 difference air conditioner types (Air cooled condenser , water cooled condenser and grounded condenser) in order to find the opportunities for reduce the electric consumption from air conditioning and increase the efficiency of air conditioning. The result is verified by comparing COP of each measurement result together with energy consumption. The experiment is conducted in mechanical engineering lab faculty of engineering mahidol university. In this experiment, 2 units of 24,000 BTUH air conditioner are applied to the testing room which is connected to 3 different condenser types (air condenser, water condenser, ground condenser). There are 3 sets of experiment scenario. The experimental result is recorded every 10 minute for 8 hours a days. Each experiment is performed for 3 days. The result is found that the efficiency ordering from highest to

lowest is water condenser (COP 3.4) , air condenser(COP 3.1) and ground condenser (COP 1.8) consecutively.

***Keywords**:* Air conditioning, Ground source air conditioning, Water cooled air conditioning, Heat transfer

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจะเห็นได้จาก ในปี 2547 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านระบบสายส่งของประเทศรวมทั้งสิ้น 115,044 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี 2546 ร้อยละ 7.6 [1] ในปี 2548 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านระบบสายส่ง ของประเทศรวมทั้งสิ้น 20,988 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี2547 ร้อยละ 6 [2] , ซึ่งถ้าหากแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้ายังคงเป็นแบบนี้ต่อไป เป็นไปได้ว่าในไม่ช้า อาจเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าได้

เครื่องปรับอากาศก็เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าว หากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศต่ำการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า โดยเปล่าประโยชน์ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าตรงจุดนี้นั้นจะต้องพยายามปรับปรุงแก้ไข ให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า [3] ซึ่งโครงงานนี้จะมุ่งเน้นที่จะนำเสนอแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดภาระ การใช้พลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพ ของเครื่องปรับอากาศโดยจะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ เครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน ซึ่งพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

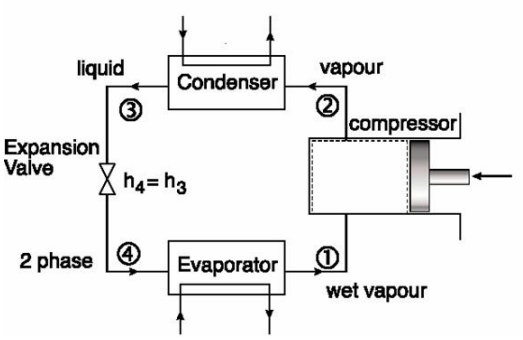
ในการศึกษาใช้ดินเป็น ตัวระบายความร้อน สมศรี (2544) [16] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดินในแต่ละระดับความลึก จากการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ระดับความลึกเพิ่มขึ้น เมธีระ (2542) [12] ทำการทดลองสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในดิน จากการทดลองพบว่าระดับความลึกของดินมีผลต่อ การถ่ายเทความร้อน ส่วนการศึกษาถึงการใช้อากาศในระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศนั้น สุกิจ (2545) [17] ได้ทำการทดลองโดยใช้อากาศเปียกใน การระบายความร้อนใน เครื่องปรับ อากาศแทนอากาศปกติ จากการทดลองพบว่า เครื่องปรับอากาศมีค่า COP เพิ่มขึ้น 19.5% และกำลังไฟฟ้าลดลง 26.4% มนูญ (2546) [13] ได้ทำการทดลองใช้ละอองน้ำร่วมกับอากาศ ในการระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองพบว่า เครื่องปรับ อากาศมีค่า COP เพิ่มขึ้น 26.72% และค่า EER เพิ่มขึ้น 10.92%” และการศึกษาการระบายความร้อนจากเครื่องปรับอากาศโดยใช้น้ำในการระบายความร้อน วิชาญและเอกชัย (2537) [15] ได้ทำการดัดแปลงโดยนำคอยล์ร้อน ไปผ่านตู้น้ำเพื่อระบายความร้อน แทนการระบายความร้อน จากอากาศผลที่ได้คือทำให้การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศลดลงและยังได้น้ำอุ่นไปใช้งานอีกเช่นกัน ฐิติพร(2545) [9] ได้ทำการดัดแปลงโดยเปลี่ยนคอนเดนเซอร์มาเป็นแบบ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ จากการทดลองพบว่าเครื่องปรับอากาศมีค่า EER สูงสุดเท่ากับ 4.75 บีทียูต่อวัตต์ชั่วโมงที่อัตราการไหลของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่ 15 ลิตรต่อนาที โดยโครงการนี้จะทำการทดลองเพื่อดูว่าการใช้ตัวกลางใดในการระบายความร้อน จึง

จะทำเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุดและใช้พลังงานน้อยที่สุด

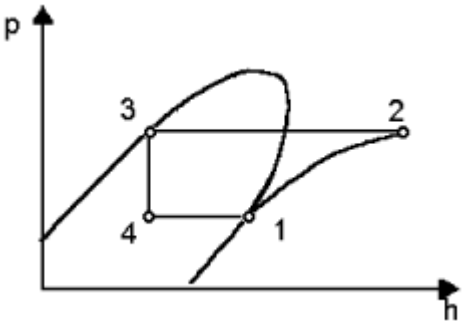
2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับอากาศ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ (Ideal Vapor Compression Cycle) [4-6]



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ มีการแบ่งกระบวนการทำงานหลักๆออกเป็น 4 กระบวนการ [11] คือ

กระบวนการ 1 – 2 : กระบวนการอัดตัว

กระบวนการ 2 – 3 : กระบวนการควบแน่น

กระบวนการ 3 – 4 : กระบวนการขยายตัว

กระบวนการ 4 – 1 : กระบวนการกลายเป็นไอ

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP)

$$COP_R = \frac{Q_e}{W_k} = \frac{m'_R \cdot (h_1 - h_4)}{IV \cdot COS\theta} \quad (1)$$

เมื่อ

COP_R = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ

Qe = ความสามารถในการทำความเย็น, kJ/s

Wk = งานของคอมเพรสเซอร์, kJ/s

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

$$EER = COP \times 3.412 \quad (2)$$

เมื่อ

EER = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน, (Btu/hr)/W

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกที่คอนเดนเซอร์ [8]

$$Q = UA \cdot LMTD \quad (3)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณความร้อนถ่ายเทที่คอนเดนเซอร์, kW

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o} + \frac{\ln(r_o + r_1)}{2\pi \cdot L \cdot k} + \frac{1}{h_i}\right)} \quad (4)$$

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนร่วม, $W/m^2.C$

A = พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน, m^2

$$LMTD = \frac{(\Delta T_{Max} - \Delta T_{\min})}{\ln\left(\frac{\Delta T_{Max}}{\Delta T_{\min}}\right)} \quad (5)$$

LMTD = ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิลึม, °C

r_o = รัศมีภายนอกของท่อ (m)

r_i = รัศมีภายนอกของท่อ (m)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของท่อ (w/m^2k)

h_o = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างน้ำและผนังท่อ (W/m^2K)

L = ความยาวของท่อ (m)

h_i = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างสารทำความเย็นและผนังท่อ (W/m^2K)

2.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอุณหภูมิในดิน

ปัจจัยของการระบายความร้อนในดินมีอยู่ 2 ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิในดิน และ การถ่ายเทความ

ร้อนระหว่างท่อและดิน การถ่ายเทความร้อนในชั้นดินเกิดจากการนำความร้อนผ่านชั้นดิน เป็นการถ่ายเทความร้อนในทิศทางเดียว(1 dimension heat transfer) สามารถอธิบายได้ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$\frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} \qquad (6)$$

เมื่อ

T(z,t) = การกระจายตัวของอุณหภูมิ °C

z = ระดับความลึก (m)

t = เวลา (s)

$$\alpha = \frac{\lambda_s}{\rho_s \cdot c_s} \qquad (7)$$

α = thermal diffusivity ของดิน

สมการการถ่ายเทความร้อนในดินตัวแปร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสมการจะเป็นดังสมการที่ (8)

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o} + \frac{\ln(r_o + r_1)}{2\pi \cdot L \cdot k} + \frac{\Delta x}{k_s}\right)}$$

เมื่อ

Δx = ระยะความลึกของท่อคอนเดนเซอร์ (m)

k_s = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิน(w/m^2k)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ [10] (Net Present Value ; NPV)

$$NPV = \sum_{n-1}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)n} - TIC \qquad (8)$$

เมื่อ

TIC = เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)

NCF^n = กระแสเงินสุทธิในปีที่ n, (บาท/ปี)

i = อัตราดอกเบี้ย

Rn = ผลตอบแทนที่ได้รับ ณ ปีที่ n

n = อายุการใช้งาน, ปี

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR)

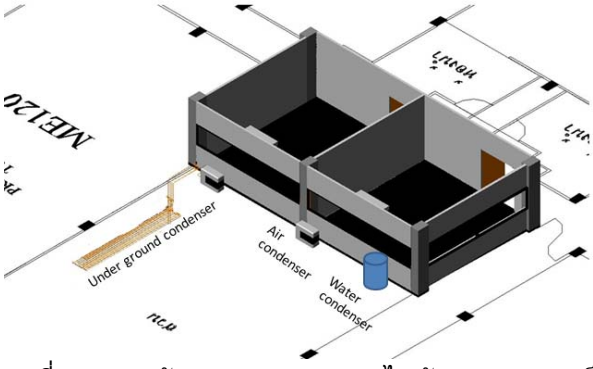
$$NPV = \sum_{n=1}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i*)^n} - TIC = 0 \qquad (9)$$

เมื่อ i* = IRR

3. การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

3.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบขนาดของคอนเดนเซอร์ที่ใช้ใน การระบายความร้อนด้วยน้ำและดิน ได้กำหนดโดยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ เท่ากับขนาดการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ที่ใช้อากาศในการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองเท่ากับขนาด 24,000 Btu/hr และทำการคำนวณหาความยาวท่อคอยล์ร้อน ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละแบบเพื่อใช้ในการทดลอง โดยจากการคำนวณพบว่า หากเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำจะใช้ท่อที่มีความยาวเท่ากับ 25.5 เมตร และหากเป็นการระบายความร้อนด้วยดิน จะทำการฝังคอยล์ร้อนไว้ที่ระดับความลึก 1 เมตร และ ท่อคอนเดนเซอร์จะมีความยาว 125 เมตร ห้องทดลองได้ทำการติดตั้งการทดลองดังแสดงในรูปประกอบที่ 3



รูปที่ 3 แสดงห้องทดลอง ประกอบไปด้วย ชุดอุปกรณ์ปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ น้ำ และดิน

ในห้องทดลองที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนฝังดิน ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์วาวล์ปรับเปลี่ยนทิศทางสารทำความเย็นให้วิ่งผ่านคอนเดนเซอร์ที่ฝังดิน หรือที่ระบายความร้อนด้วยอากาศก็ได้ เช่นเดียวกับห้องทดลองที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์วาวล์ปรับเปลี่ยนทิศทางสารทำความเย็นให้วิ่งผ่านคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ หรือ ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศก็ได้ โดย

ในการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลพร้อมๆกัน อย่างละ 2 การทดลองดังนี้ ระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยดิน และ ระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3 วันเก็บข้อมูลทุก 10 นาที หลังจากนั้น ทำการเก็บข้อมูล ระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยดิน และ ระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 3 วันเก็บข้อมูลทุก 10 นาที หลังจากนั้น ทำการเก็บข้อมูล ระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และ ระบายความร้อนด้วยน้ำจำนวน 3 วันเก็บข้อมูลทุก 10 นาที

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

แบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อยคือ

3.2.1 การระบายความร้อนด้วยอากาศ

โดยจะทำการวัดอุณหภูมิและความดัน ของสารทำความเย็น ณ จุดต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิและ ความดันของสารทำความเย็น หลังออกจากคอยล์เย็น, อุณภูมิและความดันของสารทำความเย็นก่อนเข้า คอยล์ร้อนอุณหภูมิและความดัน ของสารทำความเย็นหลังออกจากคอยล์ร้อน และวัดกำลังไฟฟ้าโดยทำการวัดทุก 10 นาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

3.2.2 การระบายความร้อนด้วยน้ำ

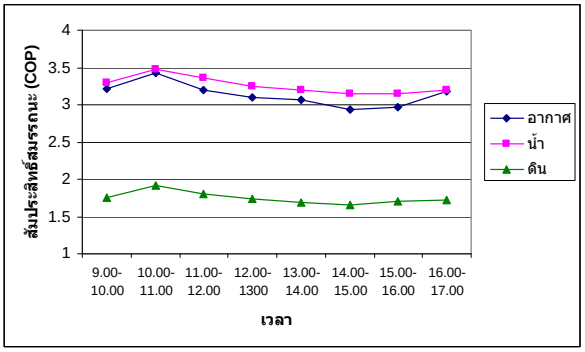
ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองระบายความร้อนด้วยอากาศแต่จะเพิ่มการวัดอุณภูมิของน้ำที่เข้าและ ออกจากคอนเดนเซอร์

3.2.3 การระบายความร้อนด้วยดิน

ทำการวัดอุณหภูมิของหน้าดิน และ อุณหภูมิของความลึกของชั้นดินความลึก 1 เมตร และทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองระบายความร้อนด้วยอากาศ

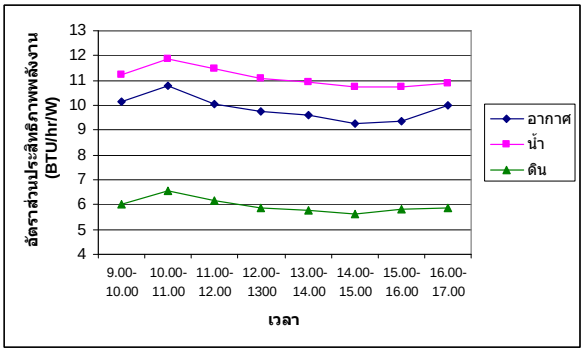
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงอยู่ในรูปกราฟซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ, อัตราส่วนประสิทธิภาพและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน

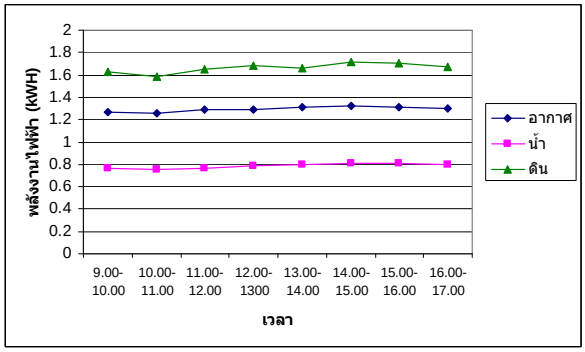
จากรูปที่3 จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย COP ของระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสูงกว่า อากาศ และ ดิน ตามลำดับ โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่า COP เฉลี่ย 3.2 ซึ่งสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยดินซึ่งมีค่า COP เฉลี่ย 1.7 ประมาณ 2 เท่า



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน

จากรูปที่ 4 พบว่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสูงกว่า ระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบายความร้อนด้วยดินตามลำดับ โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ย 11 BTU/Wh ซึ่งสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยดินซึ่งมีค่า อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ย 6 BTU/Wh ประมาณ 2 เท่า

ETM-81



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน

จากรูปที่ 5 พบว่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยดินมีค่าสูงกว่า ระบายความร้อนด้วยอากาศ และ ระบายความร้อนด้วยน้ำตามลำดับ โดยการระบายความร้อนด้วยดินใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.65 kWh ซึ่งสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งมีค่า พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย จ 0.8 kWh ประมาณ 2 เท่า

4.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนั้นมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือ 4,262.4 บาทต่อปี รองลงมาคือ การระบายความร้อนด้วยอากาศคือ 6,681.6 บาท ต่อปี และ มากที่สุดคือ การระบายความร้อนด้วยดิน คือ 9,619.2 บาทต่อปี และจากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนพบว่าถ้าทำการเปรียบจากเครื่องปรับอากาศที่ ระบายความร้อนด้วยอากาศมาเป็นเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี และมีค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 3,392.09 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 50% จากการวิเคราะห์พบว่าโครงการนี้ น่าลงทุน

หมายเหตุ การคิดต้นทุน คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศเท่านั้น มิได้รวมถึงต้นทุนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องสูบน้ำและจากน้ำที่ใช้ และการคำนวณนี้มิได้รวมถึงค่าบำรุงรักษาระบบมาเป็นตัวแปรในการพิจารณาคิดต้นทุน

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก

สมมติฐาน

H0: อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นไม่แตกต่างกัน

H1: อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นแตกต่างกัน

กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.95$

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิภายนอกของการระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดิน

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ระดับขั้นความเสรี	ค่ากำลังสองเฉลี่ย	F
ระดับปัจจัย	1.11	2.00	0.55	3.47
ความผิดพลาด	36.55	21.00	1.74	
ทั้งหมด	37.66	23.00		

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นไม่แตกต่างกัน เนื่องจากค่า F ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (F = 3.57) ดังนั้นจึงยอมรับ H_0 นั่นคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นไม่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้ แม้ไม่ได้ทำการทดลองในวันเดียวกันก็ตาม

5. สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ, น้ำ และดินนั้น พบว่าเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าของ สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานสูงที่สุดในการระบายความร้อนทั้ง 3 แบบ นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ยังต่ำที่สุดอีกด้วย ดังนั้นเครื่องปรับอากาศที่ระบายความ

ร้อน ด้วยน้ำจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการทดลองภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าได้และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศอีกด้วย แต่ข้อเสียของเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อน ด้วยน้ำนั้นคือความยุ่งยากในการติดตั้งมาก ทั้งเรื่องการเดินท่อสารทำความเย็นและระบบท่อน้ำ อีกทั้งการดูแลรักษาค่อนข้างยาก เมื่อเปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน (2547) , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, *รายงานไฟฟ้าของประเทศไทยประจำปี* ,2547

[2] กิตติ นิลผึ้ง (2548), การออกแบบระบบคอนเดนเซอร์ในระบบทำความเย็น, *วารสารเทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้าอุตสาหกรรม,* 2548 เล่ม 22(256): หน้า 113-120.

[3] กองบรรณาธิการ (2548) , การใช้พลังงานของประเทศไทยในปี 2548 และแนวโน้มในปี 2549, *วารสารเทคนิคเครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหกรรม.* 2549.23(262), หน้า 168-173.

[4] เกชา ธีระโกเมน (2540), ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานเครื่องปรับอากาศ 1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ,*วารสารเทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้าอุตสาหกรรม*, 2540, 14(143) หน้า 77-80.

[5] เกชา ธีระโกเมน (2540), ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานเครื่องปรับอากาศ 2 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ,*วารสารเทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้าอุตสาหกรรม.* 2540, 14(144), หน้า 76-82.

[6] เกชา ธีระโกเมน (2540), ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานเครื่องปรับอากาศ 3 เครื่องปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น,*วารสารเทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้าอุตสาหกรรม. 2540*, 14(145) หน้า103-105

[7] Frank P. Incropera and David P. DeWitt (1996), *Introduction to Heat Transfer*. 3th Edition , USA, John Wiley & Sons, 1996.

[8] Jack P. Hallman (2004), *Heat Transfer*, McGraw Hill, 2004.

[9] ฐิติพร ถมยาพิทักษ์.(2542) ,การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2542.

[10] บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์ (2543), สถิติวิเคราะห์เพื่อการวิจัย. , *เรื่องแก้วการพิมพ์*, 2543.

[11] ไพบูลย์ หังสพฤกษ์, เฮอิโซ ไซโต (2523), การปรับอากาศ, *ดวงกมล*, 2523.

[12] เมธีระ เสรีรัชวัชระ. ,ศักยภาพการทำความเย็นของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ท่อฝังดิน (2542), *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2542.

[13] มนูญ สุขตลอดกาล(2546) ,การระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยการใช้น้ำและอากาศเป็นตัวระบาย., *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2546.

[14] วัชระ เพิ่มชาติ (2541) ,การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย., *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2541.

[15] วิชาญ ภัทรพิบูล และ เอกชัย แก้วชัยรักษ์ (2537) ,การนำพลังงานความร้อนจากคอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศมาทำน้ำอุ่น., *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2537.

[16] สมศรี ฤทธิ์ดำ ,การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดินในแต่ละระดับความลึก (2544), *วิทยานิพนธ์*

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

[17] สุกิจ ช่วยเนื่อง (2545) ,การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ด้วยอากาศเปียก., *วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 2545.