

ระบบทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

A Hot Water from Condensing Unit of a Split Type Air Conditioning and Controlled with Microcontroller

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (กำแพงแสน) คณะวิศวกรรมศาสตร์ (กำแพงแสน)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

โทร 0-3428-1375 โทรสาร 0-3435-5310 อีเมลล์ fenghtw@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการนำความร้อนทิ้งจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนเพื่อใช้ในการทำน้ำร้อน และทำการออกแบบระบบทำน้ำร้อนโดยติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณท่อสารทำความเย็นในช่วงระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ โดยทำการทดลองติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนเข้ากับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 36,000 Btu/hr จากการทดลองสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 6 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 3.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งให้น้ำร้อนในการบริโภค 6 ลิตรต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าสามารถทำน้ำร้อนอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนถึง 75 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 28 – 35 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาทีเพื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำขึ้นถึงจุดสูงสุด นอกจากนั้นยังได้ทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ผลจากการทดลองพบว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส น้ำร้อนที่ได้จะมีช่วงอุณหภูมิประมาณ 67 – 73 องศาเซลเซียส ดังนั้นระบบทำน้ำร้อนนี้สามารถทำน้ำร้อนได้ดี และมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อน และยังลดความร้อนที่ถูกปล่อยสู่สภาวะแวดล้อม ทำให้ช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งด้วย

Abstract

This paper is to examine the feasible studying designing and constructing a possible heating water system based on released heat from spit type air conditioning unit. This system developed a heat exchange between water and condenser equipment (WCC), detail discussed herein. After feasible study, we designed, constructed and controlled the proposed heating water system. From the results of 36,000 Btu/hr shown that water heating from waste heat of air conditioning unit at water flow rate 3.5 liter/min give the maximum producing water at 6 l/hr. And, the unit can

heat up the water temperature from 70 °C to 75 °C. In addition, the maximum water temperature from the unit could be upon maximum temperature at same input temperature was around 28 - 35 °C within 30 minutes. Subsequently, we used thermostat for setting hot water temperature. That temperature was move back and forth within 67 – 73 °C at settled 70 °C temperature with controlled by microcontroller. Finally, this hot water system successful produced a useful hot water for consuming in house and office as electric shower, coffee/tea maker. Moreover, the project was helping to reduce electric energy for making hot water and decrease temperature of earth.

1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเป็นสินค้าที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ในประเทศไทยมีความต้องการเครื่องปรับอากาศประมาณ 200,000-400,000 เครื่องต่อปี ตลาดมีการขยายตัวประมาณร้อยละ 10-12 ทุกปี ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง 1 จากการสำรวจจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ได้รับฉลากเบอร์ 5 จากหน่วยงานของการไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2539 – เดือนสิงหาคม 2549 พบว่าเครื่องปรับอากาศขนาดประมาณ 32,000 - 46,000 บีทียูต่อชั่วโมง ซึ่งนิยมใช้ใน อาคารสำนักงาน และธุรกิจขนาดเล็กรวมกันมีมากกว่า 120,000 เครื่อง ซึ่งถ้าคิดถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่เครื่องเหล่านี้ระบายออกมามีโดยเฉลี่ย 40,000 Btu/hr ซึ่งในสิ่งนี้ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นปริมาณความร้อนจำนวนมาก ที่ถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ส่งผลให้ระบบปรับอากาศรอบๆระบบปรับอากาศนั้นร้อนขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการนำความร้อนทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังเช่นผลงานวิจัยในอดีตดังต่อไปนี้

Cohen (1986) ได้ประยุกต์ใช้การทำน้ำร้อนร่วมกับการปรับอากาศของร้านอาหาร โดยทำความร้อนจากส่วนที่ร้อนของตัวคอมเพรสเซอร์ในระบบมาเพิ่มความร้อนให้กับน้ำ ระบบนี้เรียกว่า "Water-cooled desuperheater" เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนจากท่อที่อยู่ระหว่าง compressor กับ condenser น้ำจะถูกทำให้ร้อนภายในถังเก็บที่มีขดท่ออยู่ จากการทดสอบพบว่าระบบนี้จะคืนทุนภายใน 3-4 ปี สำหรับร้านอาหารแบบ fast-food และภัตตาคาร

Chan and Toh (1993) ได้พัฒนาต้นแบบของระบบ "thermosyphon" เป็นระบบที่นำความร้อนจากตัวคอมเพรสเซอร์ด้านออก (Superheat) ของระบบปรับอากาศมาผลิตน้ำร้อน โดยต้นแบบนี้ใช้ถังขนาดเล็กที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ภายใน สำหรับระบบปรับอากาศขนาด 3.5 kW ได้น้ำร้อนประมาณ 10 แกลลอนในหนึ่งคืน

Bourne และ Dakin (1994) ได้คิดระบบทำน้ำร้อนจากความร้อนที่สูญเสียไปในระบบปรับอากาศ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับร้านอาหาร โดยทำน้ำร้อนจากส่วนคอมเพรสเซอร์และยังรักษาอุณหภูมิห้องที่ปรับอากาศได้อย่างคงที่สม่ำเสมอด้วย

Robert A. C., Richard N.S. and Michael K. J. (1996) , ได้อธิบายถึงการออกแบบและการทดสอบระบบความร้อนน้ำกลับรวม (Integrated heat recovery) เพื่อขยายสมรรถนะของระบบทำความเย็นตามบ้านโดยได้รับน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้กับเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าอีกหนึ่ง ระหว่างการทดสอบสามารถทำน้ำให้อุณหภูมิสูง 7.6 °C 20.3 °C และ 10 °C ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ของ clake พบว่าระบบนี้สามารถประหยัดได้ 18-20% ของระบบทำน้ำร้อนแบบเดิม

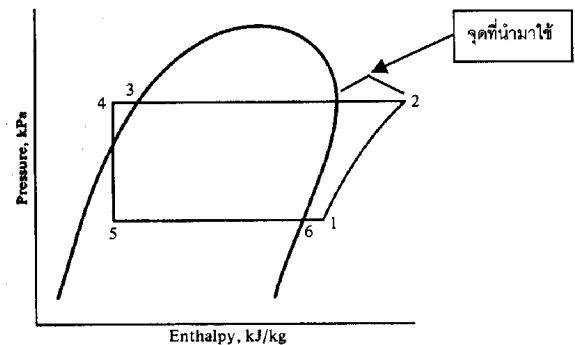
จากงานวิจัยที่ผ่านมาเห็นได้ว่าถ้านำความร้อนระบายออกมาผลิตน้ำร้อน ในการอุปโภค บริโภค จึงเป็นหนทางที่เหมาะสมและเป็นการประหยัดพลังงานในการทำน้ำร้อน อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอระบบทำน้ำร้อนที่นำพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งมาใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 Btu/hr ให้สามารถผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 70 - 90 °C และผลิตน้ำร้อนได้ 4 liter/hr เพื่อเพียงพอต่อการบริโภค 25 คน/ชั่วโมง

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบระบบทำน้ำร้อน

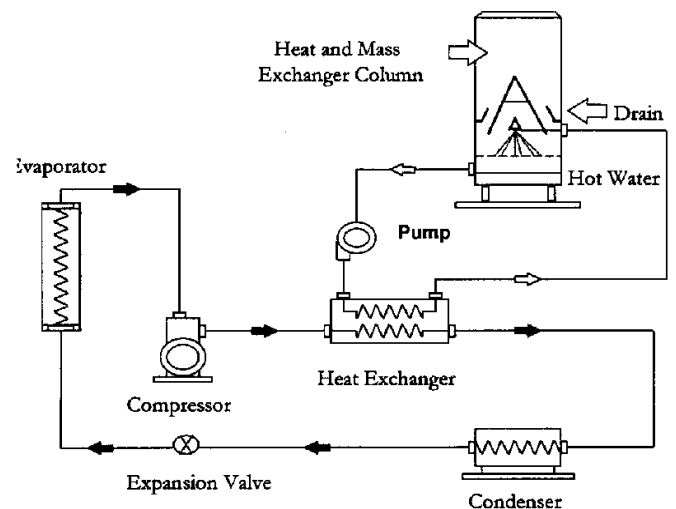
2.1 หลักการทำงานของระบบการทำความเย็น

หลักการทำงานของระบบการทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศเป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor compression system) โดยคอม-เพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นจากอีแวปอเรเตอร์ (evaporator) สารทำความเย็นในขณะนั้นยังมีสถานะเป็นแก๊สและคอมเพรสเซอร์ (compressor) ยังทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นออกไปที่ คอนเดนเซอร์ (condenser) ทำให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านคอนเดนเซอร์ (condenser) จะทำให้อุณหภูมิกลั่นตัวลงจากนั้นสารทำความเย็นไหลต่อไปยังรีซีฟเวอร์/ดรายเออร์ (receiver/dryer) เพื่อกรองสิ่งสกปรกและความชื้นที่ปนเปื้อนในสารทำความเย็นสารทำความเย็นไหลไปที่ แอ็คชั่นวาล์ว (expansion valve) แล้วฉีดเป็นฝอยลงอ่างเข้าไปในอีแวปอเรเตอร์ (evaporator) ทำให้อุณหภูมิและความดันต่ำและดูดความร้อนจากภายในห้อง เพื่อให้ตัวมันเองมี

สถานะกลายเป็นแก๊ส ทำให้อุณหภูมิภายนอกลดลง หลังจากนั้นสารทำความเย็นที่เป็นแก๊สจะถูกดูดเข้าไปในคอมเพรสเซอร์ (compressor) เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง ดังนั้นจากรูปที่ 1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และเอนทัลปีของระบบปรับอากาศ ซึ่งใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าที่จุด 2 ซึ่งเป็น Super Heat Vapor ของ R-22 ในระบบปรับอากาศที่ออกแบบสำหรับการใช้งานในประเทศไทย จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70 - 78 °C ฉะนั้นถ้าออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำแล้วจะสามารถผลิตความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึงเกือบ 78 °C



รูปที่ 1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็น R-22



รูปที่ 2 แสดงผังการทำงานของระบบน้ำร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ

จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงผังการทำงานของระบบน้ำร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนที่ทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ ที่จะออกแบบโดยให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่ออนุกรมกับระบบปรับอากาศเดิม โดยต่ออยู่ระหว่างคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะให้น้ำที่สูงสุด เมื่อน้ำจากชุดเก็บน้ำร้อนถูกส่งมายังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นน้ำร้อนนี้จะไหลเข้าสู่ชุดเก็บน้ำร้อน โดยพ่นเป็นลำน้ำสายเล็กๆจำนวนมากไหลสู่กันถัง ซึ่งทำให้เกิดไอน้ำขึ้น ไอน้ำ

น้ำนี้จะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กลับผนังของชุดเก็บและกลายเป็นน้ำไหลลงสู่ตัวเก็บน้ำ

2.2 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กำหนดให้เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองมีขนาดการทำงาน ความเย็น 36,000 Btu/hr ทำงานเต็มประสิทธิภาพ อุ่นหมุมีคอยล์เย็น (evaporator) 10 °C อุ่นหมุมีคอยล์ร้อน(condenser) 45 °C อุ่นหมุมีน้ำเข้า 30 °C อุ่นหมุมีน้ำร้อนที่ต้องการ 80 °C ขนาดท่อที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 16 มิลลิเมตร ต้องการหาความยาวของท่อที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการคำนวณสามารถประมาณค่าเอนทาลปีของกระบวนการทำความเย็นได้จาก P-H ไดอแกรมของสารทำความเย็น R22 ตามรูปที่ 1 ได้ค่าความร้อนที่ระเหยออกที่คอนเดนเซอร์ประมาณ 14,300 กิโลวัตต์ สมมุติว่าน้ำความร้อนมาใช้ประมาณ 30 เปอร์เซนต์หรือ 4,290 กิโลวัตต์ ให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบไหลสวนทางระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

สัมประสิทธิ์การก่อกวนตัวของสารทำความเย็น

$$h_{cond} = 0.725 \left(\frac{g \rho^2 h_{fg} k^3}{\mu \Delta T N D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

ค่าความหนาแน่น ρ และค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอที่ 90 °C จากตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็นในภาคผนวก

$$\rho = \frac{1}{1.521} = 0.657462 \text{ kg / L} = 657.4621 \text{ kg / m}^3$$

$$h_{fg} = 34930 \text{ J / kg}$$

กำหนดค่า N = 1

กำหนดค่าการนำความร้อน k และความหนืด μ ของสารทำความเย็น เหลวที่ 70 °C

$$\mu = 0.00013 \text{ Pa.s } k = 0.055 \text{ W / m.K}$$

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออก

$$\Delta T = 80 - 30 \text{ K} = 50 \text{ K}$$

ดังนั้น

$$h_{cond} = 0.725 \left(\frac{(9.81)(657.4621)^2 (34930)(0.055)^3}{(0.00013)(50)(1)(0.016)} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 505.829 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของท่อสแตนเลส

$k = 204 \text{ W / m.K}$ ดังนั้น

$$\frac{x A_0}{k A_m} = \frac{(0.016 - 0.014) / 2}{204} \times \frac{16}{(14 + 16) / 2} = 0.00000522875 \text{ m}^2 \cdot \text{K / W}$$

Fouling factor $1 / h_{ff} = 0.000176 \text{ m}^2 \cdot \text{K / W}$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำเมื่อคุณสมบัติของน้ำที่ 30 °C

$$\rho = 995 \text{ kg / m}^3 \quad \mu = 0.000773 \text{ Pa.s}$$

$$C_p = 4190 \text{ J / kg.K} \quad k = 0.617 \text{ W / m.K}$$

จาก

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 3 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

$$h_w = \frac{k \times 0.023}{A_i} \times \frac{[V A_i \rho]^{0.8}}{\mu} \times \frac{[C_p \mu]^{0.4}}{k} \quad (2)$$

แทนค่าได้ $h_w = 6910 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$

ดังนั้นสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ดังนี้

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{505.829} + 0.00000522875 + \left(\frac{0.016 \times 0.000176}{0.014} \right) + \left(\frac{0.016}{0.014} \times \frac{1}{6910} \right)$$

$$U_o = 425.7645 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

หาค่าอุณหภูมิประสิทธิผลเฉลี่ย ได้ดังนี้

$$LMTD = \left(\frac{(50 - 30) - (90 - 80)}{\ln \left(\frac{50 - 30}{90 - 80} \right)} \right) = 14.42$$

ดังนั้นค่าพื้นที่การถ่ายเทความร้อน เท่ากับ

$$A_o = \frac{4290}{425.7645(14.42)} = 0.6987 \text{ m}^2$$

และเมื่อรู้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของท่อ สามารถหาความยาวท่อได้ดังนี้

$$l = \frac{0.6987}{(1)(0.016\pi)} = 13.90 \text{ m}$$

จากความยาวท่อดังกล่าวนำไปสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3. อุปกรณ์การทดลอง

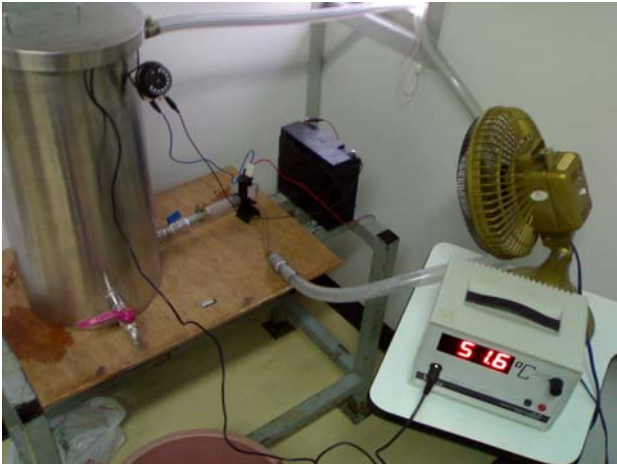
หลังจากคำนวณขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและจัดทำเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อน เข้ากับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 Btu/hr ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและเครื่องปรับอากาศ

FUJIBISHI ขนาด 36,000 Btu/hr

หลังจากนั้นได้ทำการเดินระบบน้ำร้อนตั้งโต๊ะแถมในรูปแบบที่ 2 และทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเพื่อใช้วัดอุณหภูมิของน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ ส่วนระบบควบคุมนั้นเป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Microchip รุ่น PIC 18F450 อ่านค่าอุณหภูมิน้ำร้อนและส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของปั้มน้ำเพื่อให้รักษาอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เป็นดังรูปที่ 4 แสดงถึงน้ำร้อน ปั้มน้ำและค่าอุณหภูมิน้ำร้อน



รูปที่ 4 แสดงถึงน้ำร้อน ปั้มน้ำและค่าอุณหภูมิน้ำร้อน

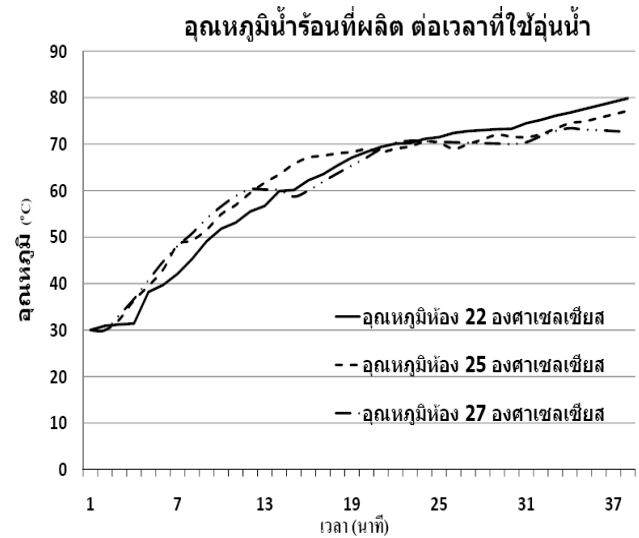
ส่วนวิธีการทดลองวัดความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถทำได้ มีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณระหว่างทางออกของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์
2. วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในห้อง บันทึกลง
3. เปิดน้ำให้ไหลผ่านเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นทำการเปิดเครื่องปรับอากาศ
4. วัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจับเวลาทุก ๆ 1 นาที พร้อมบันทึกผล
5. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 2 ถึง 4 โดยใช้ช่วงเวลาการทดลองที่แตกต่างกันออกไป
6. ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อน ต่อเข้ากับระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
7. สังเกต การทำงานของปั้มน้ำและวัดอุณหภูมิน้ำเทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่ไม่ติดคอนโทรลเลอร์
8. บันทึกอุณหภูมิ และสรุปผล

4. ผลการทดลอง

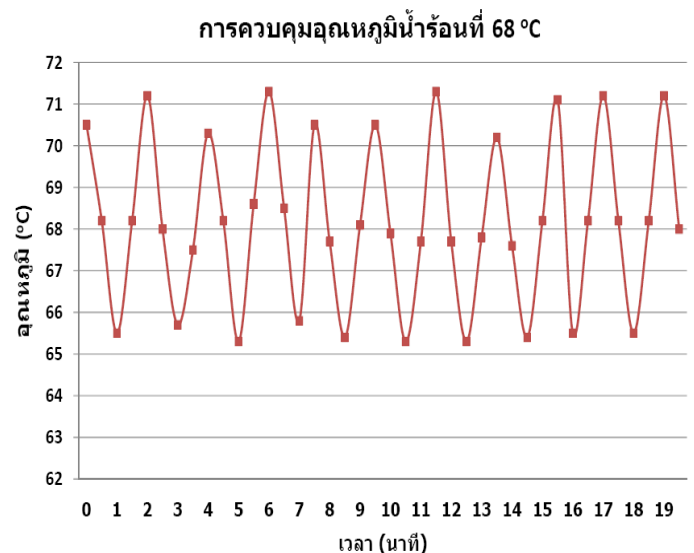
สำหรับการทดลองเรื่องวัดอุณหภูมิของน้ำที่เวลาต่างๆ เมื่ออุณหภูมิภายนอกห้องอยู่ในช่วง 30 - 33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่ประมาณ 22 25 และ 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในช่วง 30 - 33 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณน้ำ 6

ลิตร อัตราการไหล 3.5 ลิตรต่อนาที พบว่าทั้งสามสภาวะอากาศที่ต้องการควบคุมนั้น อุณหภูมิน้ำนั้นเมื่ออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ไม่ต่างกันมากนัก และสามารถทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนสูงกว่า 70 °C ภายในเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเมื่อควบคุมอุณหภูมิของการปรับอากาศที่ 22 25 และ 27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สำหรับการทดลองควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการสั่งเปิดปิดการทำงานของปั้มน้ำนั้น เมื่อทำการทดสอบที่การควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนเท่ากับ 68 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิไว้ได้ และมีค่าพิกัดอุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเข้าถึงอุณหภูมิ 68 °C ในเวลาประมาณ 1 นาที ลักษณะการควบคุมอุณหภูมิเป็นไปดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อนเท่ากับ 68 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำใช้ต่อวัน 35 ลิตร (35 kg/วัน)

รายได้/ปี = ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

= กำลังไฟฟ้าที่ไม่ต้องใช้ในการทำความร้อนต่อวัน x จำนวนวัน
ทำงานต่อปี x ค่าไฟฟ้า

= 35 kg/วัน x 4.181 kJ/kg°C x (76-28)°C x (1/3.6) kWh/MJ x
300 วัน/ปี x 5 บาท/kWh

= 2,927 บาท

รายจ่าย/ปี = ค่าบำรุงรักษา

= 500 บาท/ปี

∴ กระแสเงินสดสุทธิ/ปี = รายได้/ปี - รายจ่าย/ปี

= 2,927 - 500

= 2,427 บาท

เงินลงทุน = ค่าอุปกรณ์ต่างๆ

= 5,200 บาท

∴ ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / กระแสเงินสดสุทธิต่อปี

= 5,200 / 2,427

= 2.14 ปี

เมื่อประเมินค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนจากความร้อน
ทิ้งพบว่า มีระยะเวลาคืนทุนสั้นและคุ้มค่าต่อการลงทุน และสามารถ
ประหยัดค่าไฟฟ้าในการลดการใช้ความร้อนจากเครื่องต้มน้ำไฟฟ้า
นอกจากนี้ข้อได้เปรียบของการทำน้ำร้อนด้วยวิธีนี้ คือ จะไม่ส่งผลให้
บรรยากาศโดยรอบร้อนขึ้นเพราะอากาศที่ปล่อยออกจาก Conditioning
Unit มีอุณหภูมิลดลงกว่าเดิมทำให้เป็นการรักษาสสิ่งแวดล้อมได้มาก

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาระบบปรับอากาศพบว่า ท่อสารทำความเย็นที่
คอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 90 องศาเซลเซียส จากการทำเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำกับสารทำความเย็นสามารถทำอุณหภูมิ
สูงสุดได้ 75 องศาเซลเซียส ที่ปริมาตรของน้ำ 6 ลิตร อัตราการไหลของ
น้ำ 0.057 ลิตร/วินาที หรือประมาณ 3.5 ลิตรต่อนาที จากการทดลอง
พบว่า ตั้งแต่เริ่มเปิดระบบทำความเย็นและระบบแลกเปลี่ยนความร้อน
พบว่าจะต้องใช้เวลาประมาณ 30 นาที ที่จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง
75 องศาเซลเซียส เราสามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้ได้ตาม
ต้องการโดยการปรับอุณหภูมิที่เราต้องการจากไมโครคอนโทรลเลอร์
โดยน้ำที่ได้จากชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้สามารถนำไปใช้
ประโยชน์ในการอุปโภคและบริโภค แต่ข้อจำกัดการใช้เครื่องต้องเปิด
เครื่องปรับอากาศไว้ก่อนเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้น้ำได้รับ
ความร้อนจากเครื่องปรับอากาศก่อนที่น้ำจะได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (กำแพงแสน) คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ (กำแพงแสน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา

เขตกำแพงแสน ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในเรื่องเครื่องปรับอากาศ
และสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Wilbert F. Stoecker and Jerold W. Jones, 1982, Refrigeration & Air Conditioning, 2nd ed. Singapore, McGraw-Hill International Editions.
2. Cohen, J. 1986, Heat Recovery for Restaurants, EPRI J., Vol. 11, pp. 30-35.
3. Chan, S. K. and Toh, K.C. 1993, Thermosiphon Heat Recovery From An Air-Conditioner for a domestic Hot Water Systems, "ASHRAE Trans, Vol 99, pp. 259-264.
4. Bourne, R. C. and Dakin, W., 1994, A Combined Refrigerator-Electric Water Heater, Proc. Of the American Concil for Energy Efficient Economy(ACEEE), Vol. 3, pp 3.19 – 2.28.
5. Robert A. Clark, Richard N. Smith, and Michael K. Jensen, 1996, An Experimental Study of Waste Heat Recovery from a Residential Refrigerator, IEEE 0-7803-3547-3-7/16
6. รศ. มนต์รี พิรุณเกษตร, 2539, เทอร์โมความร้อนประยุกต์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
7. วรชาติ ยิ่งสุมล และ วิศิษฐ์ อมรชัยนันท์, 2541, โครงการผลิตน้ำกลั่นโดยใช้ความร้อนจากคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
8. อัครเดช สินธุภัก, 2543, การทำความเย็น, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
9. จูดีพร ถมยาพิทักษ์, 2545, การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ, วิทยานิพนธ์ คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.