แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนโดยผสมผสานการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของระบบปรับอากาศ : กรณีศึกษา

Mathematical Modeling of Heat Pump Hot Water Generation System with Combination of Waste Heat Recovery of Air Conditioning System : Case Study

สาธิต ทูลไธสง[1], เด่นพงษ์ สุดภักดี[2]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-4320-2845,[1]089-4884144 โทรสาร 0-4320-2849 อีเมล์ [1]muspicture@gmail.com,[2]denpong@kku.ac.th

Sarthit Toolthaisong[1], Denpong Soodphakdee[2]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,
Khon Kaen 40002, Thailand
Tel: 0-4320-2845, [1]089-4884144 Fax: 0-4320-2849, [1]muspicture@gmail.com,[2]denpong@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับการนำความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมาใช้ โดยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้นำเสนอสำหรับอาคารเชิงพาณิชย์ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้เลือกอาคารที่มีระบบปรับอากาศและมีการใช้น้ำร้อนในอาคาร ความร้อนทิ้งจากสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นของเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ถ้าระบบปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นที่ต่ำในฤดูหนาวขณะที่ความต้องการการใช้น้ำร้อนมีปริมาณที่สูงกว่าความร้อนที่ได้จากระบบปรับอากาศ ปั๊มความร้อนจะเป็นอุปกรณ์หลักในการผลิตน้ำร้อน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้เพื่อทำนายการทำงานของระบบตลอดทั้งปีโดยแบ่งตามฤดูกาล เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนของระบบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำ ผลจากการจำลองของระบบที่เสนอพบว่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของระบบเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 0.116 kWh/(MJ hot water) ในขณะที่ระบบเดิมที่ใช้หม้อต้มเท่ากับ 0.326 kWh/(MJ hot water)

Abstract

The mathematical model of a combined heat pump with waste heat recovery from air conditioning system for hot water generation is studied. The desirable system configurations are presented for a commercial building located in hot and humid climate of Thailand. The selected building requires an air-conditioning system as well as hot water for various functionalities. Waste heat from refrigerant at condensing unit of water chiller is recovered to rise the water temperature in the hot water storage tank. Heat pumps play a major role when the air-conditioning load is low in winter while higher consumption of hot water. Mathematical model is presented to predict the operation of the system on every season to compare performance of proposed hot water generating system with boiler. The specific energy consumption (SEC) of the propose system is 0.116 kWh/(MJ hot water), while 0.326 kWh/(MJ hot water) for current boiler heating system.

1. บทนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและสังคม ขณะเดียวกันน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกนั้นนับวันก็มีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้หลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการวิจัยพัฒนาการใช้พลังงานทดแทน นอกจากการพัฒนาพลังงานทดแทนแล้วการพัฒนาหรือปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็เป็นสิ่งที่สำคัญไม่แพ้กัน เพราะหมายถึงการใช้พลังงานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ในปัจจุบันรัฐบาลได้มีนโยบายเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานเพื่อมุ่งเน้นให้มีการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จึงได้มีมาตรการต่าง ๆ ออกมาเพื่อสนับสนุนนโยบายดังกล่าวและได้นำมาใช้กับอาคาร สำนักงาน หรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เช่น โครงการสิทธิประโยชน์ทางภาษีสำหรับการติดตั้งเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศมาทำการผลิตน้ำร้อนถือเป็นการใช้พลังงานที่คุ้มค่าอย่างหนึ่งซึ่ง

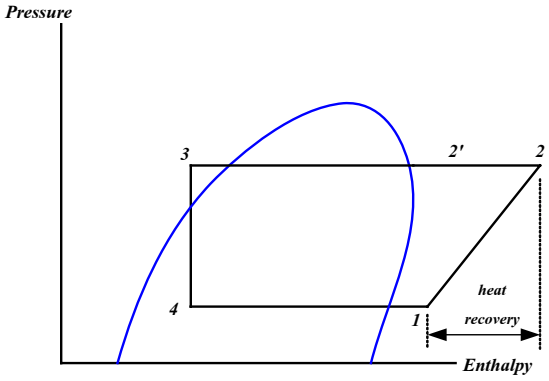
ช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ อาทิตย์ ไชยอรนันท์ [1] ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับทำน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อน โดยได้ออกแบบให้เครื่องมีขนาดกะทัดรัดสามารถเคลื่อนย้ายง่าย สะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษา สามารถใช้ได้กับบ้านพักอาศัยขนาด 3-4 คน ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้มีขนาด 100 ลิตร ระบบปั๊มความร้อนใช้ R-22 เป็นสารทำงาน เครื่องอัดไอขนาด 1.39 kW โดยทดลองทำน้ำร้อนครั้งละ 150 ลิตร อัตราการไหลของน้ำร้อน 2.0 ลิตร/นาที อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนที่ได้เท่ากับ 50.5°C ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 kWh ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยของปั๊มความร้อน (COP) เท่ากับ 3.25 การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับการทำน้ำร้อนด้วยฮีทเตอร์ไฟฟ้า ฐิติพร ถมยาพิทักษ์ [2] ได้ทดลองการทำน้ำร้อนโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศขนาดแบบอัดไอชนิดแยกส่วนขนาด 18,000 Btu/hr สามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 36°C (อุณหภูมิน้ำเข้าประมาณ 31°C) ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 ลิตร/นาที Luigi Schibuola [3] ได้ทำการวิเคราะห์การนำความร้อนทิ้งที่เครื่องควบแน่นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์กลับมาใช้ โดยได้ทำการวิเคราะห์จากระบบตรวจวัดสภาพการทำงานของระบบ พบว่าสามารถให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากในเรื่องของพลังงานและเศรษฐศาสตร์การเงิน ปริมาณความร้อนสูงสุดที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ในช่วงลดความเป็นไอดง(desuperheating) มีค่าประมาณ 25% ของความร้อนทิ้งทั้งหมดที่เครื่องควบแน่น

การผลิตน้ำร้อนสำหรับใช้ในโรงแรมหรืออาคารที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนในปริมาณที่มาก ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูงเพื่อทำการผลิตน้ำร้อนให้เพียงพอสำหรับการใช้งานในแต่ละวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบผลิตน้ำร้อนที่เลือกใช้ด้วยว่ามีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงใด ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงระบบการทำน้ำร้อนที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ต่ำและสามารถใช้การได้ดีในทุก ๆ ฤดูกาล ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศของโรงแรมมาใช้เพื่อผลิตน้ำร้อน โดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อน เหตุผลที่เลือกระบบดังกล่าวก็เพราะว่าโรงแรมหรืออาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะสามารถนำเอาความร้อนทิ้งของเครื่องทำน้ำเย็นมาทำการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้งานตามห้องพักต่าง ๆ ได้ ซึ่งถือว่าเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าอีกวิธีหนึ่ง แต่ลำพังเพียงแค่ความร้อนทิ้งของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างเดียวคงจะไม่สามารถผลิตน้ำร้อนที่พอเพียงแก่ความต้องการได้ ถ้าหากว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีภาระการทำความเย็นต่ำ เช่น ในช่วงฤดูหนาว หรือ ในวันที่อากาศเย็น เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเอาปั๊มความร้อนมาช่วยผลิตน้ำร้อนอีกทางหนึ่งด้วย

2. แหล่งความร้อนทิ้ง

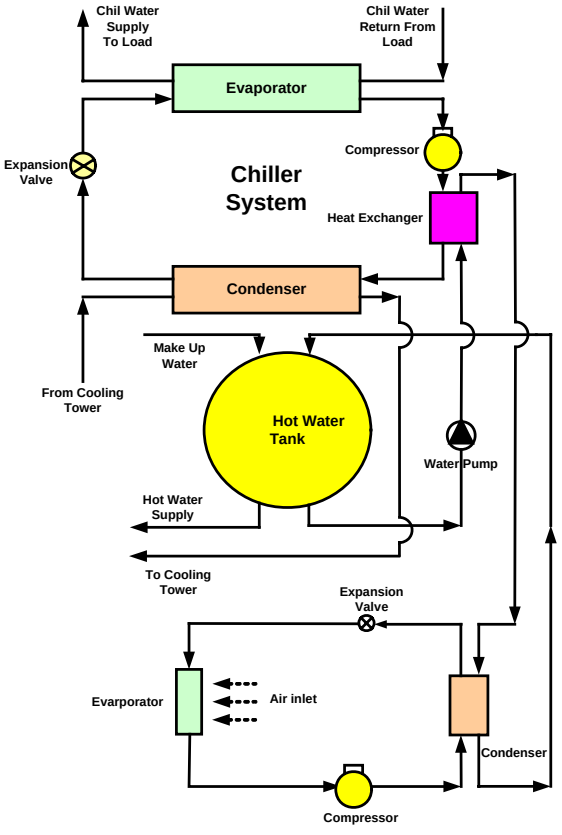
โดยปกติแล้วโรงแรมจะมีการปรับอากาศภายในอาคารเพื่อความสุขสบายของผู้อยู่อาศัย ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการปรับอากาศโดยทั่วไปแล้วจะมีสองชนิดใหญ่ ๆ คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งในกระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งสองประเภทจะมีความร้อนที่ต้องระบายทิ้ง โดยมาจากสองแหล่งความร้อน คือ ความร้อนที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากภายในห้องที่ทำการปรับอากาศ และ ความร้อนที่เกิดจากการอัดไอสารทำความเย็นของเครื่องอัดไอดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตำแหน่ง 2-2' เป็นช่วงที่สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงพอสำหรับการผลิตน้ำร้อน ทำได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้าไปเพื่อนำเอาความร้อนดังกล่าวมาผลิตน้ำร้อน การรวบรวมความร้อนทิ้งสามารถทำได้ง่ายถ้าหากว่าระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นแบบรวมศูนย์



รูปที่ 1 แผนภาพ Pressure – Enthalpy ของระบบทำความเย็น

3. ลักษณะและข้อมูลทางเทคนิคของระบบ



Heat Pump System

รูปที่ 2 ลักษณะของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนโดยการผสมผสานการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ของระบบปรับอากาศ

ลักษณะของระบบแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยสองระบบหลัก คือ ระบบทำน้ำเย็น และ ระบบปั๊มความร้อน การทำงานของระบบเริ่มจากน้ำออกจากถังน้ำร้อนไหลเข้าไปยังระบบทำน้ำเย็นผ่านทางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดไอที่มีสถานะเป็นไอดงอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนบางส่วนก่อนการควบแน่นให้กับน้ำซึ่งทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นน้ำร้อนจะไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำน้ำเย็นแล้วเข้าไปยังระบบปั๊มความร้อนโดยผ่านทางเครื่องควบแน่น ถ้าหากว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าตามที่ต้องการคือ 45°C ระบบปั๊มความร้อนจะไม่มีการทำงาน แต่ถ้าหากว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าต่ำกว่าที่ต้องการระบบปั๊มความร้อนจะมีการทำงานจนกว่าน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิเท่ากับ 47°C จึงจะหยุดทำงานและจะทำงานอีกครั้งถ้าน้ำร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 45°C

ตารางที่ 1. ข้อมูลด้านเทคนิคของระบบ

1. เครื่องทำน้ำเย็น	
ขนาดพิกัด	256 kW
เครื่องอัดไอ	ชนิดสกรู
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ชนิดเปลือกและท่อขนาด 4.2 m^2, *U = 300 $W/m^2 °C$
สารทำความเย็น	R-134a
2. ปั๊มความร้อน	
ขนาดพิกัด	20.47 kW
เครื่องอัดไอ	ชนิดลูกสูบ อัตราการไหลด้านดูด 0.00828 m^3/s
เครื่องระเหย	แบบท่อและครีบขนาด 87.62 m^2, *U = 23.26 $W/m^2 °C$
เครื่องควบแน่น	แบบเปลือกและท่อขนาด 1.26 m^2 *U = 872.25 $W/m^2 °C$
สารทำความเย็น	R-134a
3. ถังเก็บน้ำร้อน	
ความจุ	5.505 m^3 หุ้มฉนวน
ปั๊มน้ำ	2.2 kW

*[4] Heat Exchanger design handbook 2

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมรรถนะทำได้โดยการสมดุลพลังงานของอุปกรณ์ ดังนี้

1) เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องระเหยเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นจะระเหยกลายเป็นไอที่ความดันต่ำโดยได้รับความร้อนที่อยู่รอบ ๆ เช่น อากาศ และ น้ำเป็นต้น

การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยของเครื่องทำน้ำเย็นได้จากการตรวจวัดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น โดยที่จอแสดงผลจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โหลด จากนั้นจึงนำมาคำนวณเทียบกับพิกัดการทำความเย็น ซึ่งจะได้เป็นความร้อนที่ถ่ายเทที่เครื่องระเหยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_e = \frac{\text{Percent Load} \times \text{Cooling Capacity}}{100} \quad (1)$$

การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยของปั๊มความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_a C_{pa} (T_{ai} - T_{ao}) \quad (3)$$

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{Q}_e = A_e U_e \frac{(T_{ai} - T_e) - (T_{ao} - T_e)}{\ln\left(\frac{T_{ai} - T_e}{T_{ao} - T_e}\right)} \quad (4)$$

2) *เครื่องควบแน่น (Condenser)* น้ำจะถูกทำให้ร้อนที่เครื่องควบแน่นโดยความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันสูงและการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากไอเป็นของเหลวที่ความดันคงที่

การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นของปั๊มความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_w C_{pw} (T_{hwo} - T_{hwi}) \quad (6)$$

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{Q}_c = A_c U_c \frac{(T_c - T_{hwi}) - (T_c - T_{hwo})}{\ln\left(\frac{T_c - T_{hwo}}{T_c - T_{hwo}}\right)} \quad (7)$$

สำหรับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นสามารถหาได้ดังนี้

$$T_{hwo} = T_{hwi} + (T_c - T_{hwi})(1 - e^{\frac{-U_c A_c}{m_{hw} C_{pw}}}) \quad (8)$$

3) เครื่องอัดไอ (Compressor) สารทำความเย็นถูกอัดจากความดันต่ำเป็นความดันสูงด้วยเครื่องอัดไอ

อัตราการไหลของมวลสารทำความเย็นสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{m}_r = \frac{V_d \eta_v}{v_1} \quad (9)$$

งานของเครื่องอัดไอสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{W}_{co} = \frac{\dot{m}_r (h_2 - h_1)}{\eta_m \eta_{co}} \quad (10)$$

4) วาล์วขยายตัว (Expansion Valve) สารทำความเย็นเมื่อไหลผ่านวาล์วขายตัวความดันจะลดลงแบบไม่มีการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม สามารถแสดงได้ดังนี้

$$h_3 = h_4 \tag{11}$$

5) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกเพิ่มเข้าไปในเครื่องทำน้ำเย็น โดยติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องอัดไอและเครื่องควบแน่น น้ำร้อนที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยความร้อนจากสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอดง การถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงได้ดังนี้

$$\dot{m}_r (h_2 - h_{2'}) = A_h U_h \frac{(T_2 - T_{hwo}) - (T_{2'} - T_{hwi})}{\ln\left(\frac{T_2 - T_{hwo}}{T_{2'} - T_{hwi}}\right)} \tag{12}$$

สำหรับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$T_{hwo} = T_{hwi} - (T_{hwi} - T_2)\left(\frac{1 - e^{D}}{\dot{m}_{hw}C_{pw} \big/ \dot{m}_r C_{pr}}\right) \tag{13}$$

เมื่อ

$$D = U_h A_h \left(\frac{1}{\dot{m}_{hw}C_{pw}} - \frac{1}{\dot{m}_r C_{pr}}\right) \tag{14}$$

6) ถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank) น้ำร้อนที่ถูกผลิตจะนำมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อจ่ายไปยังห้องพักต่าง ๆ ในโรงแรมสมมุติให้อุณหภูมิของน้ำร้อนในถังมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันตลอดถัง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{m}_w C_{pw}(T_{mw} - T_{hws}) + \dot{m}_{hw}C_{pw}(T_{hwo} - T_{hwi}) = M_{hwT}C_{pw}\frac{dT_{hwT}}{dt} \tag{15}$$

7) ปั๊มน้ำ (Water Pump) ทำหน้าที่ทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำร้อนในระบบ งานของปั๊มน้ำสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{W}_p = \frac{\dot{m}_{hw} v_w \gamma_w H}{\eta_p \eta_m} \tag{16}$$

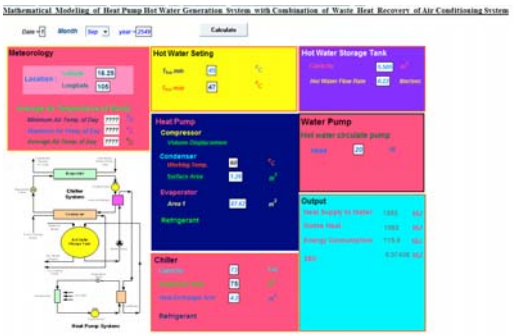
8) ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency of System) สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$COP_H = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{co}} \tag{17}$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแสดงในรูปแบบของการใช้พลังงานจำเพาะของระบบ คือ พลังงานที่ป้อนเข้าระบบต่อพลังงานความร้อนที่น้ำร้อนได้รับในการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อนำไปใช้งาน ดังนี้

$$SEC = \frac{\dot{W}_{co} + \dot{W}_p}{3.6\dot{m}_{hws}C_{pw}(T_{hsw} - T_{mw})} \tag{18}$$

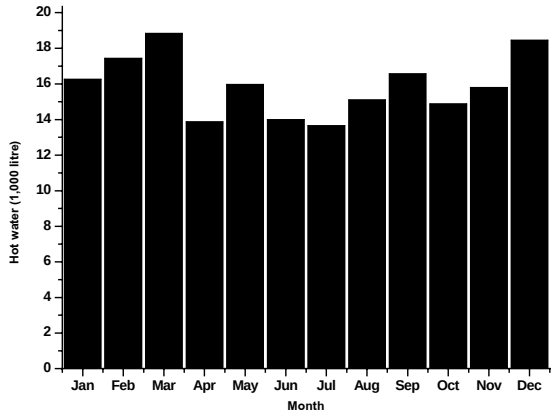
ในการคำนวณโดยแบบจำลองของระบบนั้นสมมุติว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบให้กับสิ่งแวดล้อมและไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานจากการไหล โดยใช้โปรแกรม EES (Engineering Equation Solver) มาช่วยในการคำนวณ เนื่องจากว่า EES ได้บรรจุคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของสารไว้มากมายหลายชนิด เช่น น้ำ อากาศ สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นการสะดวกและเหมาะสมสำหรับการวิจัยนี้ ลักษณะของ EES แสดงดังในรูปที่ 3 ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าโปรแกรมประกอบด้วย ภาระการทำความเย็นและอุณหภูมิน้ำเย็นเข้า-ออกเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัดทุก 15 นาที พิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ปริมาณการอุปโภคน้ำร้อนทุก 15 นาที อุณหภูมิที่ใช้ควบคุมการทำงาน ตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่วิจัย อุณหภูมิอากาศ วันและเดือนที่คำนวณ ข้อมูลสำคัญที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณ ได้แก่ การใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อน ความร้อนที่ระบบผลิตน้ำร้อนถ่ายเทให้กับน้ำที่ใช้ผลิตน้ำร้อน และอุณหภูมิของน้ำร้อน



รูปที่ 3 ลักษณะของโปรแกรม EES

5. ข้อมูลการอุปโภคน้ำร้อนและภาระการทำความเย็น

สถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัยนั้นเป็นโรงแรมขนาด 115 ห้อง มีการจำหน่ายห้องพักเฉลี่ยต่อเดือน 64% นอกจากโรงแรมจะให้บริการห้อง -

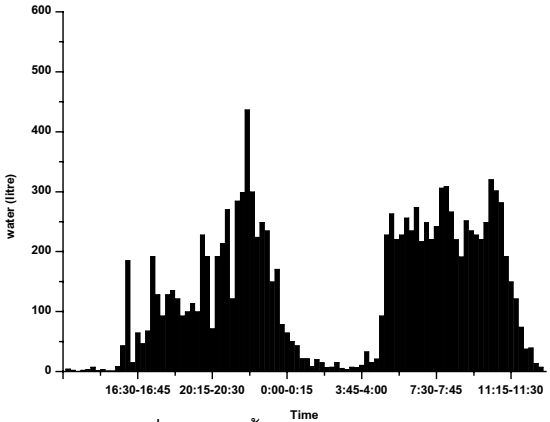


รูปที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำร้อนรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน

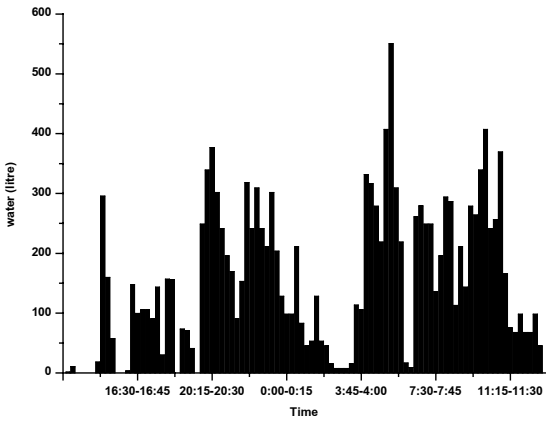
ห้องพักแล้วยังมีบริการอื่น ๆ อีก เช่น นวดแผนโบราณ คาราโอเกะ คาเฟ่ ร้านอาหาร และ การจัดประชุมสัมมนาต่าง ๆ เป็นต้น

ปริมาณและลักษณะการใช้น้ำร้อนของโรงแรมทำการจัดเก็บตัวอย่างข้อมูล 3 ครั้ง เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการคำนวณ โดยแบ่งตามฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว โดยทำการจดบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำให้ทราบพฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของแต่ละฤดูกาล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเทียบเป็นปริมาณการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนโดยใช้ข้อมูลของสถิติการใช้น้ำร้อน รูปที่ 4 แสดงปริมาณการใช้น้ำร้อนรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน ซึ่งการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยทั้ง 12 เดือน เท่ากับ 15,900 ลิตร/วัน รูปแบบการใช้น้ำร้อนของช่วงวันในร้อน,ฤดูฝนและฤดูหนาวแสดงในรูปที่ 5 รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 ตามลำดับ ปริมาณการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยในฤดูร้อนเท่ากับ 16,226 ลิตร/วัน ฤดูฝนเท่ากับ 14,838 ลิตร/วัน และ 16,985 ลิตร/วัน ในฤดูหนาว

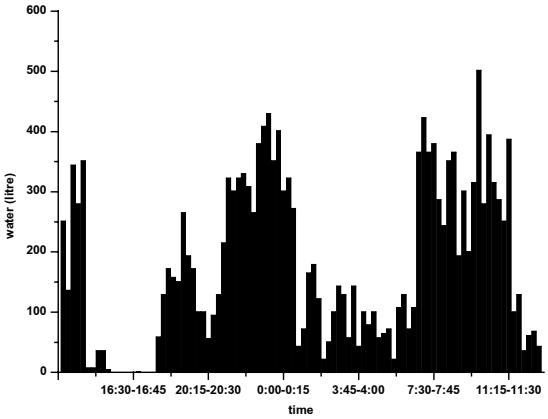
ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นของช่วงเวลาหนึ่งวันในฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว โดยทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ซึ่งภาระการทำความเย็นในฤดูร้อนมีค่าคงที่คือ 100% ฤดูฝนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งเฉลี่ยเท่ากับ 98.5% ส่วนในฤดูหนาวภาระการทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเฉลี่ยเท่ากับ 60.68%



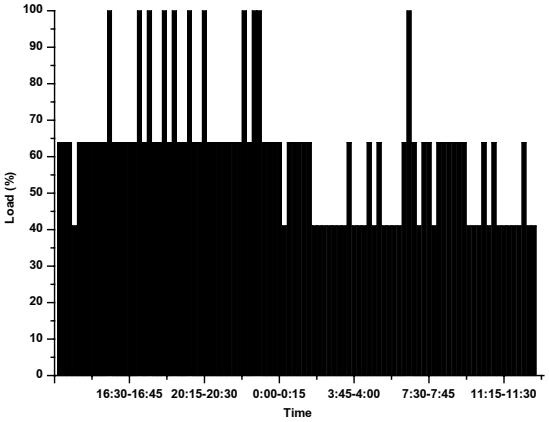
รูปที่ 5 การใช้น้ำร้อนในช่วงวันในฤดูร้อน



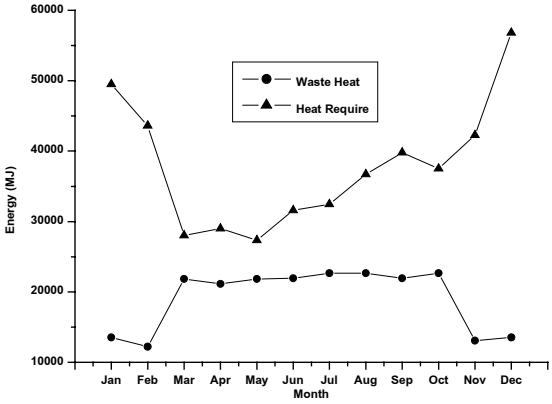
รูปที่ 6 รูปแบบของการใช้น้ำร้อนในช่วงวันในฤดูฝน



รูปที่ 7 การใช้น้ำร้อนในช่วงวันในฤดูหนาว



รูปที่ 8 ภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงวันในฤดูหนาว



รูปที่ 9 ปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนและปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ผลิตน้ำร้อน

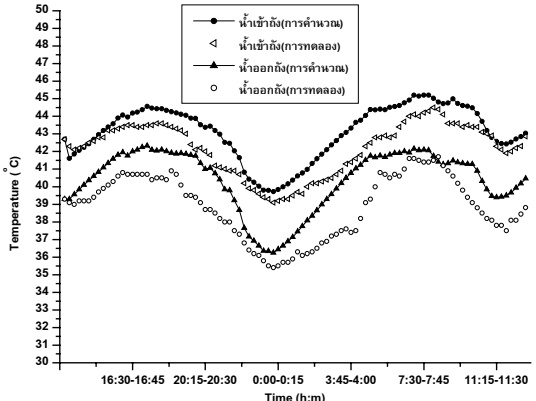
ปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้นั้นทำการประเมินโดยให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอัดไอประมาณ 5°C จากการประเมินในเบื้องต้นพบว่าปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้เท่ากับ 229,094 MJ/ปี ในขณะที่ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้สำหรับผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 454,593 MJ/ปี ดังแสดงในรูปที่ 9

6. การจำลองสถานการณ์

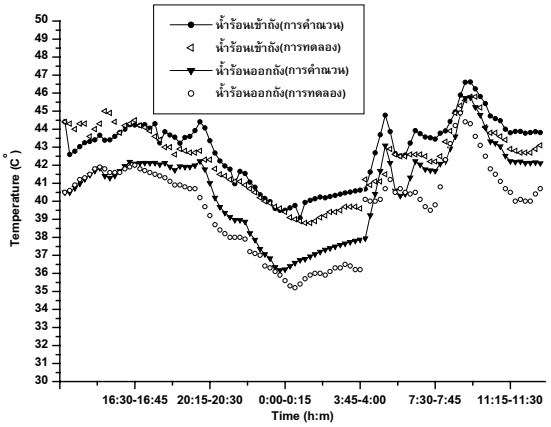
การจำลองการทำงานของระบบภายใต้สภาวะต่าง ๆ ของภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น สภาพบรรยากาศ และ ปริมาณการใช้น้ำร้อน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งกำหนดเงื่อนไขและค่าเริ่มต้นในการคำนวณดังนี้

1) ไอร้อนยิ่งยวดที่ออกจากเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวในเครื่องทำระเหย 5°C
2) อุณหภูมิของอากาศมีค่าคงที่ในคาบเวลาของการคำนวณ
3) อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิอากาศขณะนั้น

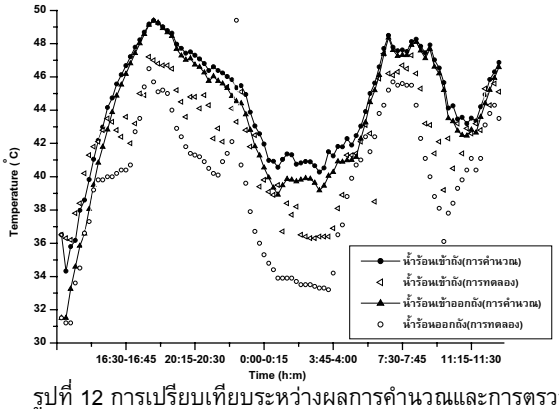
การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานของระบบและการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 10 ,11 และ 12 เป็นอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำร้อนในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ตามลำดับ พบว่าการจำลองและการตรวจวัดมีผลที่สอดคล้องเป็นไปตามกัน ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจากว่าท่อน้ำร้อนที่ทำการทดลองไม่มีฉนวนหุ้ม



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณและการตรวจวัดของอุณหภูมิน้ำร้อนในฤดูร้อน (เดือน มีนาคม)

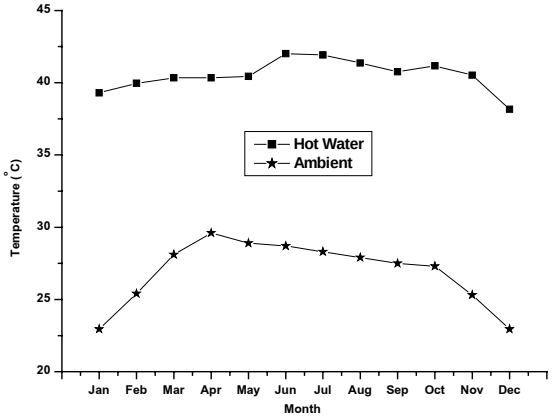


รูปที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณและการตรวจวัดของอุณหภูมิน้ำร้อนในฤดูฝน (เดือน ตุลาคม)

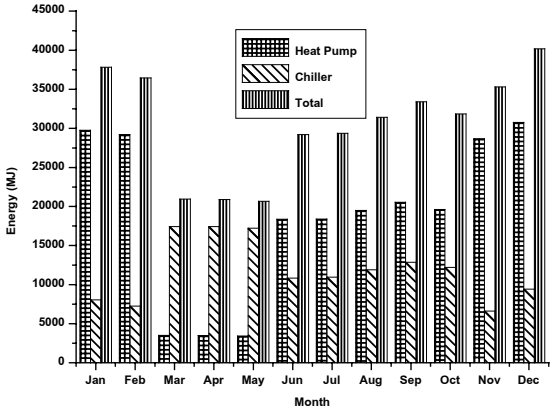


รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณและการตรวจวัดของอุณหภูมิน้ำร้อนในฤดูหนาว (เดือน ธันวาคม)

อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ในแต่ละเดือนแสดงในรูปที่ 13 โดยอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในเดือนธันวาคมและอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในเดือนมิถุนายน ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ส่วนอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 40.52°C



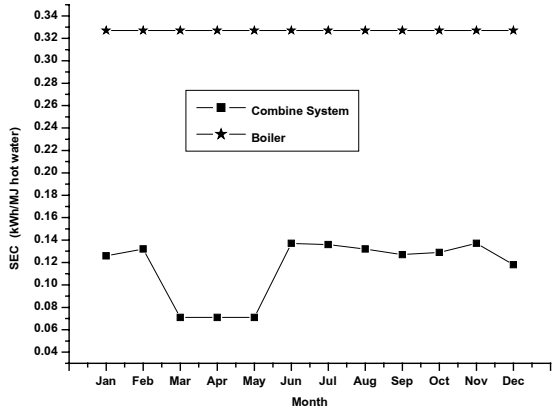
รูปที่ 13 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี



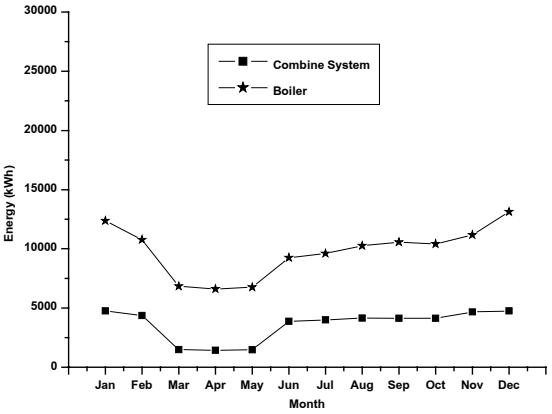
รูปที่ 14 ปริมาณความร้อนจากปั๊มความร้อนและเครื่องทำน้ำเย็น

ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนได้รับจากปั๊มความร้อนและเครื่องทำน้ำเย็นแสดงในรูปที่ 14 โดยความร้อนจากปั๊มความร้อนตลอดปีเท่ากับ 225,282 MJ คิดเป็น 61.31% ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทให้กับน้ำร้อน ในขณะที่ความร้อนทิ้งจากเครื่องทำน้ำเย็นตลอดทั้งปีที่ใช้ผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 142,190 MJ ซึ่งคิดเป็น 38.69% ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทให้กับน้ำร้อน

การใช้พลังงานจำเพาะของระบบโดยเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 0.116 kWh/MJ น้ำร้อน ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.326 kWh/MJ น้ำร้อน ซึ่งเห็นว่าการใช้พลังงานจำเพาะของระบบมีค่าต่ำกว่าของหม้อต้ม 64.65% การใช้พลังงานจำเพาะของระบบเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 การใช้พลังงานจำเพาะในการผลิตน้ำร้อนของระบบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้ม



รูปที่ 16 การใช้พลังงานระหว่างระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้ม

รูปที่ 16 แสดงการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของหม้อต้ม พบว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 3,597 kWh ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 9,769 kWh หรือ 35,167 MJ

7. สรุปผล

จากการศึกษาการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงแรมขนาด 115 ห้อง ซึ่งพบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 40.52°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักแต่ก็พอเพียงกับการอุปโภค ทั้งนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะขึ้นกับภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นและปริมาณการใช้น้ำร้อน การใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.071 – 0.137 kWh/MJ น้ำร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับภาระการทำความทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มมีการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 0.326 kWh/MJ น้ำร้อน ซึ่งสูงกว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสาน 64.5%

เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ข้อมูลราคาพลังงานและราคาอุปกรณ์ช่วงไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2550 พบว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานสามารถลดการใช้พลังงานได้ 74,053 kWh/ปี หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบ 6.31 ตันน้ำมันดิบ/ปี คิดเป็นเงิน 162,991 บาท/ปี เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนหม้อต้มพบว่าสามารถคืนทุนได้ภายใน 1.46 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 129%

8. ความหมายของสัญลักษณ์

A พื้นผิวการถ่ายเทความร้อน (m^2)

COP สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน

C_p ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

E พลังงานไฟฟ้าที่ใส่เข้าระบบ (kWh)

F_R ตัวประกอบการดึงความร้อน

h เอ็นทาลปี้จำเพาะ (kJ/kg)
H เฮดของน้ำ (m)
$\dot{m}$ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
M มวล (kg)
P ความดัน (kPa)
$\dot{Q}$ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)
SEC พลังงานจำเพาะ (kWh/MJ hot water)
T อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)
U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (kW/m^2 $^{\circ}$C)
v ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)
V_d อัตราการดูด (m^3/s)
$\dot{W}$ งาน (kW)

สัญลักษณ์กรีก
η ประสิทธิภาพ
γ น้ำหนักจำเพาะ (kN/kg)

ตัวห้อย
1 ทางเข้าเครื่องอัดไอ
2 ทางออกเครื่องอัดไอ
2′ ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3 ทางออกเครื่องควบแน่น
4 ทางเข้าเครื่องระเหย
a อากาศ
ai อากาศเข้าเครื่องระเหย
ao อากาศออกเครื่องระเหย
co เครื่องอัดไอ
c เครื่องควบแน่น
e เครื่องระเหย
hw น้ำร้อน
hwi น้ำร้อนเข้า
hwo น้ำร้อนออก
hws น้ำร้อนใช้งาน
hwT น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน
H ปั๊มความร้อน
m เชิงกล
mw น้ำที่ใช้ผลิตน้ำร้อน
p ปั๊มน้ำ
r สารทำความเย็น

เอกสารอ้างอิง

[1] อาทิตย์ ไชยอรนันท์, การทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543

[2] ฐิติพร ถมยาพิทักษ์, การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545

[3] Luigi Schibuola. Experimental analysis of condenser heat recovery in an air condition plant. Energy 1999;24(4):273–83.

[4] Heat Exchanger design handbook 2. Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1983