

ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยความร้อนทิ้งจากการปรับอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊ม ความร้อน : กรณีศึกษา

Hot Water Generation System with Waste Heat Recovery of Air conditioning Combination with Solar Energy and Heat Pump: Case Study

สาธิต ทูลไชย¹ สัญชัย ไร่เพยพัต²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง
จ.นครราชสีมา 30000

โทร 0-4424-2978-9 ต่อ 3400, 089-4884144 โทรสาร 0-4424-2217 อีเมลล์ muspicture@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
โทร 0-4322,2959 โทรสาร 0-4322-6823

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนโดยการใช้ความร้อนทิ้งของการปรับอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อน (HWSH) สำหรับโรงแรมในประเทศไทยโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้เลือกโรงแรมที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และมีการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มเป็นกรณีศึกษา ความร้อนทิ้งจากสารทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกนำมาใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ถ้าอุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าต่ำกว่าที่ต้องการ ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานจนกว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนจะมีค่าตามที่ต้องการจึงจะหยุดการทำงาน จากการจำลองการทำงานของระบบพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 79.6% เมื่อเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้ม การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนพบว่าสามารถให้ผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 105.7% เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนที่นำเสนอแทนการใช้หม้อต้ม

Abstract

This research study hot water generation system with waste heat recovery of air-conditioning combination with solar thermal energy and heat pump (HWSH) for hotel in Thailand with mathematical modeling. The selected hotel requires central air-conditioning system and generate hot water with boiler for study case. Waste heat from refrigerant of water chiller is recovered for generated hot water combined with solar thermal energy. If hot water temperature low than as required heat pump well operated until hot water temperature as required. The simulation results show that the energy consumption is decreases 79.6% where compared generated hot water with boiler. The economic capital

analysis presented rate of return (IRR) is 105.7% if the existing boiler facility was replaced by the presented system.

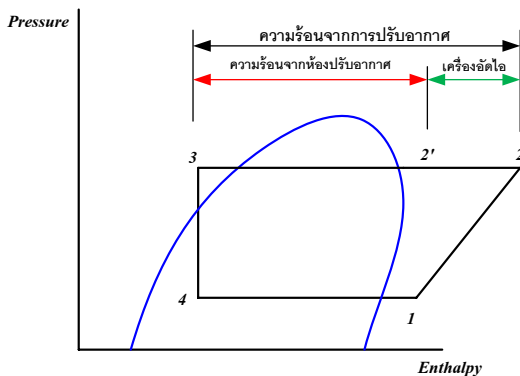
1. บทนำ

การใช้พลังงานในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและสังคม ขณะเดียวกันน้ำมันดิบซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกนั้นนับวันก็มีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้หลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการวิจัยพัฒนาการใช้พลังงานทดแทน นอกจากการพัฒนาพลังงานทดแทนแล้วการพัฒนาหรือปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็เป็นสิ่งสำคัญไม่แพ้กัน เพราะหมายถึงการใช้พลังงานให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด การนำความร้อนทิ้งจากการปรับอากาศมาทำการผลิตน้ำร้อนเป็นการนำเอาพลังงานที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ การใช้แสงอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อนเป็นการใช้พลังงานที่มีอยู่มากมายตามธรรมชาติมาใช้ และ การใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อนเป็นอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับหม้อไอน้ำ และ ฮีทเตอร์ไฟฟ้า การผลิตน้ำร้อนทั้งสามรูปแบบมีผู้สนใจได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้ Techarungpaisan et al. [1] ได้ทำการทดสอบแบบจำลองของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการนำความร้อนทิ้งมาผลิตน้ำร้อนเพื่อ แบบจำลองจะถูกนำไปใช้สำหรับการออกแบบระบบหรือทำนายสมรรถนะของระบบในอนาคต ในการศึกษาได้สร้างชุดทดลองขึ้นมาโดยประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,000 Btu/h และถังน้ำร้อนขนาด 102 liter ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่าจากการทดลองและแบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดที่สามารถทำได้เท่ากับ 47 °C Chaurasia [2] ได้มีการศึกษาการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นคอนกรีตของหลังคาอาคารเป็นตัวรับแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งท่อลูมิเนียมไว้ใน

แผ่นคอนกรีต ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าในช่วงกลางวันของฤดูหนาวสามารถผลิตน้ำร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิ 36 -58 °C Robert et al. [3] ได้ศึกษาการนำระบบปั๊มความร้อนมาใช้สู่น้ำเพื่อทำน้ำร้อนในร้านซักรีด ปั๊มความร้อนจะทำการอุ่นน้ำจากอุณหภูมิปกติไปถึงประมาณ 49 °C หลังจากนั้นจึงใช้หม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้ได้ประมาณ 54-57 °C แล้วจึงนำน้ำร้อนดังกล่าวไปใช้กับเครื่องซักผ้า ปั๊มความร้อนนี้สามารถทำงานในสภาวะอากาศต่าง ๆ ได้ 3 รูปแบบ คือ 1) ช่วงสภาวะอากาศร้อนจะมีการทำน้ำร้อนและการปรับอากาศ 2) ช่วงสภาวะอากาศหนาวจะมีการทำน้ำร้อนเพียงอย่างเดียว และ 3) ช่วงสภาวะอากาศร้อนมากจะมีการปรับอากาศเพียงอย่างเดียว จากการศึกษพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนเพียง 1/3 ถึง 1/2 เท่าของการทำน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ระบบปั๊มความร้อนนี้ใช้เงินลงทุน 429,000 บาท แต่สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติได้ถึง 132,000 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.3 ปี ซึ่งจะเห็นว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนมาก

2. ความร้อนทิ้งจากการปรับอากาศ

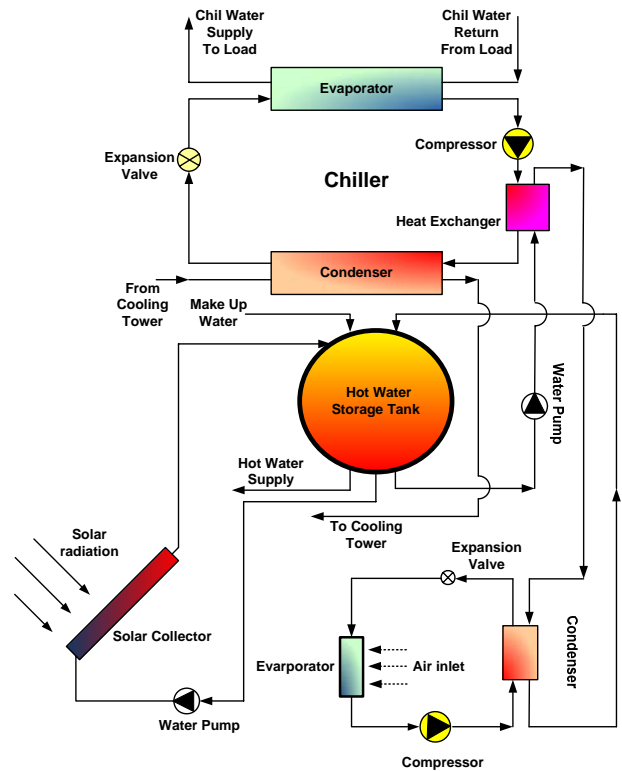
โดยทั่วไปแล้วโรงแรมจะมีการปรับอากาศภายในอาคารเพื่อความสบายของผู้อยู่อาศัย ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการปรับอากาศโดยทั่วไปแล้วจะมีสองชนิดใหญ่ ๆ คือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และ เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งในกระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั้งสองประเภทจะมีความร้อนที่ต้องระบายทิ้ง โดยมาจากสองแหล่งความร้อน คือ ความร้อนที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากภายในห้องที่ทำกรปรับอากาศและความร้อนที่เกิดจากการอัดไอสารทำความเย็นของเครื่องอัดไอดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพ Pressure – Enthalpy ของระบบทำความเย็น

ในรูปที่ 1 ตำแหน่ง 2-2' เป็นช่วงก่อนการควบแน่นซึ่งสารทำงานมีสถานะเป็นไอตรงอุณหภูมิสูง ความร้อนช่วงนี้สามารถนำกลับมาใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนได้แทนที่จะนำไปทิ้งที่เครื่องควบแน่น การศึกษานี้กำหนดให้การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบสารทำงานและน้ำร้อนไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

3. ลักษณะและข้อมูลทางเทคนิคของระบบ



Heat Pump and Solar Energy

รูปที่ 2 ลักษณะของ HWSH

ตารางที่ 1. ข้อมูลด้านเทคนิคของระบบ

1. เครื่องทำน้ำเย็น	
ขนาดพิกัด	257 kW
เครื่องอัดไอ	ชนิดสกูรู
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ชนิดเปลือกและท่อขนาด 6 m ²
สารทำความเย็น	R-134a
2. ปั๊มความร้อน	
ขนาดพิกัด	25.36 kW
เครื่องอัดไอ	ชนิดลูกสูบ อัตราการดูด 0.0104 m ³ /s
เครื่องระเหย	แบบท่อและครีบน้ำขนาด 137.5 m ²
เครื่องควบแน่น	แบบเปลือกและท่อขนาด 1.44 m ²
สารทำความเย็น	R-134a
3. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	
ขนาดพื้นที่รับแสงอาทิตย์	65 m ²
ชนิดแผงรับแสงอาทิตย์	แบบแผ่นเรียบ (τ _α) = 0.89
4. ถังเก็บน้ำร้อน	
ความจุ	6 m ³ ฟูมฉนวน

ลักษณะของระบบ HWSH แสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยระบบผลิตน้ำร้อนสามระบบหลัก คือ 1) ระบบทำน้ำเย็น (Chiller) 2) ระบบ

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) และ 3) ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) การทำงานของระบบเริ่มจากน้ำร้อนจากถังน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank) ไหลเข้าไปยังระบบทำน้ำเย็นผ่านทางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) สารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอ (Compressor) ที่มีสถานะเป็นไอตรงอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนบางส่วนให้กับน้ำร้อนซึ่งทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและไหลวนกลับเข้าถังน้ำร้อน ในขณะที่เดียวกันถ้าเป็นช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์น้ำร้อนจากถังน้ำร้อนจะไหลเข้าไปยังแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและไหลวนกลับเข้ายังถังน้ำร้อน ถ้าหากว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังน้ำร้อนมีค่าต่ำกว่า 42 °C ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานและจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนในถังน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 44 °C ข้อมูลขนาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ HWSH แสดงในตารางที่ 1

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณผลเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงระบบจริงมากที่สุด การวิจัยนี้จึงได้มีการกำหนดค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์เข้าไปด้วย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำได้โดยการสมมูลพลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

4.1) เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องระเหยเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอที่ความดันต่ำ โดยได้รับความร้อนที่อยู่รอบ ๆ เช่น อากาศ และ น้ำเป็นต้น การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยของปั๊มความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_a C_{pa} (T_{ai} - T_{ao}) \quad (2)$$

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{Q}_e = A_e U_e \frac{(T_{ai} - T_e) - (T_{ao} - T_e)}{\ln \left(\frac{T_{ai} - T_e}{T_{ao} - T_e} \right)} \quad (3)$$

4.2) เครื่องควบแน่น (Condenser) น้ำจะถูกทำให้ร้อนที่เครื่องควบแน่นของปั๊มความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานที่การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานจากไอเป็นของเหลวที่ความดันคงที่ การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นของปั๊มความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_w C_{pw} (T_{hwo} - T_{hwi}) \quad (5)$$

กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\dot{Q}_c = A_c U_c \frac{(T_c - T_{hwi}) - (T_c - T_{hwo})}{\ln \left(\frac{T_c - T_{hwo}}{T_c - T_{hwi}} \right)} \quad (6)$$

สำหรับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องควบแน่นสามารถหาได้ดังนี้

$$T_{hwo} = T_{hwi} + (T_c - T_{hwi}) (1 - e^{-\frac{U_c A_c}{\dot{m}_w C_{pw}}}) \quad (7)$$

4.3) เครื่องอัดไอ (Compressor) สารทำงานถูกอัดจากความดันต่ำเป็นความดันสูงด้วยเครื่องอัดไอ

อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงานสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{m}_r = \frac{V_d \eta_v}{v_1} \quad (8)$$

งานของเครื่องอัดไอสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{W}_{co} = \frac{\dot{m}_r (h_2 - h_1)}{\eta_m \eta_{co}} \quad (9)$$

สำหรับงานเครื่องอัดไอของเครื่องทำน้ำเย็นได้มาจากการวัดขณะกำลังทำงาน

4.4) วาล์วขยายตัว (Expansion Valve) สารทำงานเมื่อไหลผ่านวาล์วขยายตัวความดันจะลดลงแบบไม่มีการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม สามารถแสดงได้ดังนี้

$$h_3 = h_4 \quad (10)$$

4.5) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกเพิ่มเข้าไปในเครื่องทำน้ำเย็น โดยติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องอัดไอกับเครื่องควบแน่น น้ำร้อนที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยความร้อนจากสารทำงานที่มีสถานะเป็นไอตรง การถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงได้ดังนี้

$$\dot{m}_r (h_2 - h_2') = A_h U_h \frac{(T_2 - T_{hwo}) - (T_2' - T_{hwi})}{\ln \left(\frac{T_2 - T_{hwo}}{T_2' - T_{hwi}} \right)} \quad (11)$$

สำหรับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$T_{hwo} = T_{hwi} - (T_{hwi} - T_2) \left(\frac{1 - e^{-D}}{\frac{\dot{m}_w C_{pw}}{\dot{m}_r C_{pr}}} \right) \quad (12)$$

เมื่อ

$$D = U_h A_h \left(\frac{1}{\dot{m}_w C_{pw}} - \frac{1}{\dot{m}_r C_{pr}} \right) \quad (13)$$

4.6) แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ทำหน้าที่รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จากนั้นจึงถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำร้อนที่ไหล

ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำร้อนที่ไหลผ่านเข้าออกแผงรับแสงอาทิตย์สามารถหาได้ดังนี้ [8]

$$\dot{Q}_u = A_{cl} F_R [I(\tau\alpha) - U_{cl}(T_{wi} - T_a)] \quad (14)$$

4.7) ถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank) น้ำร้อนที่ถูกผลิตจะนำมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อจ่ายไปยังห้องพักต่าง ๆ ในโรงแรมและไหลวนกลับไปยังอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน งานวิจัยนี้กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำร้อนในถังมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันตลอดถึง การทำสมดุลพลังงานของถังน้ำร้อนสามารถทำได้ดังนี้

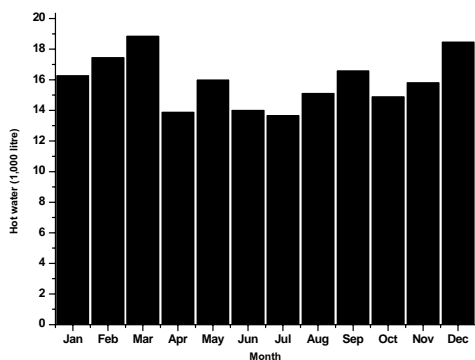
$$\begin{aligned} & \dot{m}_w C_{pw} (T_{mw} - T_{hwu}) + \dot{m}_{hwc} C_{pw} (T_{hwu} - T_{hwc}) \\ & + \dot{m}_{hws} C_{pw} (T_{hwu} - T_{hws}) + \dot{m}_{hwh} C_{pw} (T_{hwu} - T_{hwh}) \\ & = M_{hwT} C_{pw} \frac{dT_{hwT}}{dt} \end{aligned} \quad (15)$$

4.8) ประสิทธิภาพของระบบ (Efficiency of System) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบแสดงในรูปแบบของการใช้พลังงานจำเพาะของระบบ คือ พลังงานที่ป้อนเข้าระบบต่อปริมาณการผลิตน้ำร้อน

$$SEC = \frac{15 \times 60 \times (\dot{W}_{co} + \dot{W}_p)}{3,600 \times \dot{m}_{hw}} \quad (16)$$

5. ข้อมูลการอุปโภคน้ำร้อน

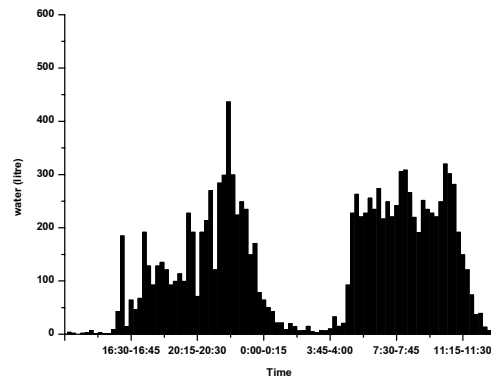
สถานที่สำหรับการทำวิจัยเป็นโรงแรมขนาด 115 ห้อง ตั้งอยู่ในเมืองอุดรธานี มีการจำหน่ายห้องพักเฉลี่ยต่อเดือน 64% นอกจากนี้โรงแรมจะให้บริการห้อง ห้องพักแล้วยังมีบริการอื่น ๆ อีก เช่น นวดแผนโบราณ คาราโอเกะ คาเฟ่ ร้านอาหาร และการจัดประชุมสัมมนาต่าง ๆ เป็นต้น โรงแรมมีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์พร้อมกับการนำความร้อนทิ้งบางส่วนมาใช้ผลิตน้ำร้อนแต่ก็ยังคงมีการใช้หม้อต้มในการผลิตน้ำร้อนทุกวันเพราะความร้อนทิ้งเพียงอย่างเดียวไม่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนให้พอเพียงได้



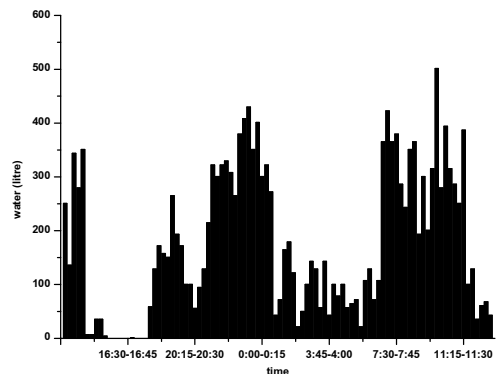
รูปที่ 3 ปริมาณการใช้ความร้อนรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน

ปริมาณและลักษณะการใช้ความร้อนของโรงแรมทำการจัดเก็บตัวอย่างข้อมูล 3 ครั้ง เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการคำนวณ โดยแบ่งตามฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และ ฤดูหนาว โดยทำการจดบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทำให้ทราบพฤติกรรมการใช้

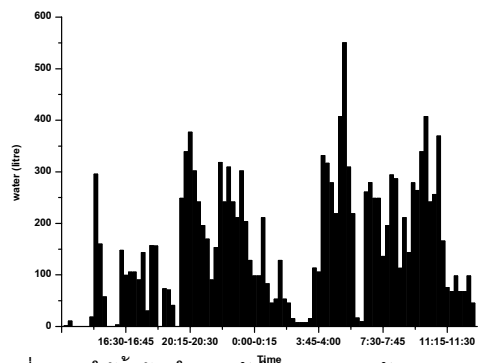
น้ำร้อนของแต่ละฤดูกาล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเทียบเป็นปริมาณการใช้ความร้อนเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนโดยใช้ข้อมูลของสถิติการใช้ความร้อน รูปที่ 3 แสดงปริมาณการใช้ความร้อนรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน ซึ่งการใช้ความร้อนเฉลี่ยทั้ง 12 เดือน เท่ากับ 15,900 ลิตร/วัน รูปแบบการใช้ความร้อนของช่วงวันในร้อน, ฤดูฝนและฤดูหนาวแสดงในรูปที่ 4 รูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ตามลำดับ ปริมาณการใช้ความร้อนเฉลี่ยในฤดูร้อนเท่ากับ 16,226 ลิตร/วัน ฤดูฝนเท่ากับ 14,838 ลิตร/วัน และ 16,985 ลิตร/วัน ในฤดูหนาว



รูปที่ 4 การใช้ความร้อนในช่วงวันในฤดูร้อน (มีนาคม 2550)



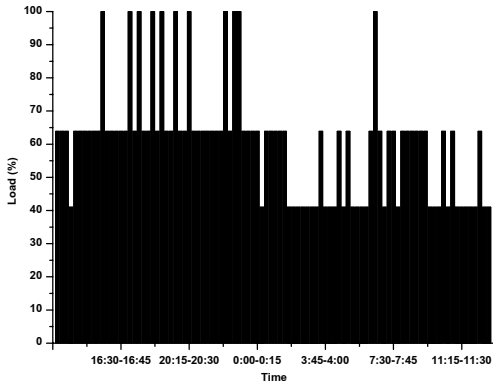
รูปที่ 5 รูปแบบของการใช้ความร้อนในช่วงวันในฤดูฝน (ตุลาคม 2549)



รูปที่ 6 การใช้ความร้อนในช่วงวันในฤดูหนาว (ธันวาคม 2549)

6. ข้อมูลการตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

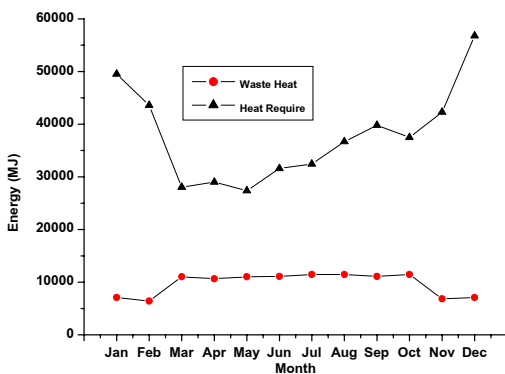
ข้อมูลการทำงานของเครื่องอัดไอเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เพื่อประกอบการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนทิ้งของเครื่องทำน้ำเย็น การทำงานของเครื่องอัดไอทำการตรวจวัดทุก ๆ 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง โดยทำการตรวจวัดข้อมูลสามครั้งพร้อมกับการตรวจวัดการอุปโภคน้ำร้อนที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5 ซึ่งภาระการทำงานของเครื่องอัดไอในฤดูร้อนมีค่าคงที่คือ 100% ฤดูฝนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งเฉลี่ยเท่ากับ 98.5% ส่วนในฤดูหนาวภาระการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเฉลี่ยเท่ากับ 60.68%



รูปที่ 7 ภาระการทำงานของเครื่องอัดไอตลอด 24 ชั่วโมง ในฤดูหนาว (ธันวาคม 2549)

7. การประเมินความร้อนทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้

ปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้นั้นทำการประเมินโดยให้อุณหภูมิของสารทำงานที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอัดไอประมาณ 3°C จากการตรวจวัดอุณหภูมิของสารทำงานที่ออกจากเครื่องอัดไอสามารถประเมินปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้เท่ากับ 116,505 MJ/ปี ในขณะที่ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้สำหรับผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 454,593 MJ/ปี ดังแสดงในรูปที่ 8

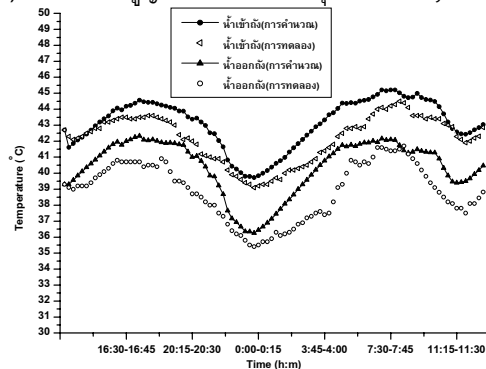


รูปที่ 8 ปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนและปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ผลิตน้ำร้อน

8. การจำลองสถานการณ์

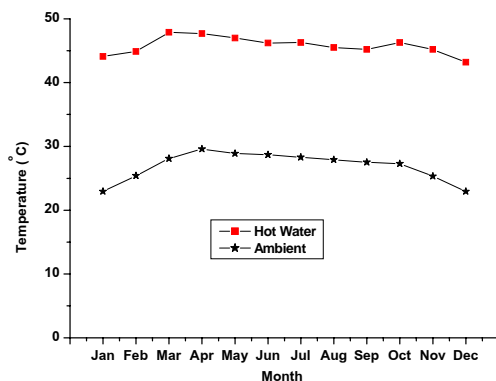
การจำลองการทำงานของระบบภายใต้สภาวะต่าง ๆ ของภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น สภาพบรรยากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ และ ปริมาณการใช้น้ำร้อน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งมีข้อสมมุติฐานในการคำนวณดังนี้

- 1) ใ้อร้อนยิ่งยวดที่ออกจากเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวในเครื่องทำระเหย 5°C [9]
- 2) อุณหภูมิของอากาศมีค่าคงที่ในคาบเวลาของการคำนวณ
- 3) ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ในคาบเวลาของการคำนวณ
- 4) อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิอากาศขณะนั้น
- 5) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์มีค่าคงที่ตลอดการคำนวณ
- 6) ไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานการไหล
- 7) ไม่คิดการสูญเสียความร้อนของอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณกับการตรวจวัดของอุณหภูมิน้ำร้อนในฤดูร้อน (มีนาคม 2550)

การเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานของระบบและการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 9 โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำร้อน พบว่าการจำลองและการตรวจวัดมีผลที่สอดคล้องเป็นไปตามกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดจากท่อน้ำร้อนที่ทำการทดลองไม่มีฉนวนหุ้มจึงเกิดการสูญเสียความร้อนสู่อากาศ

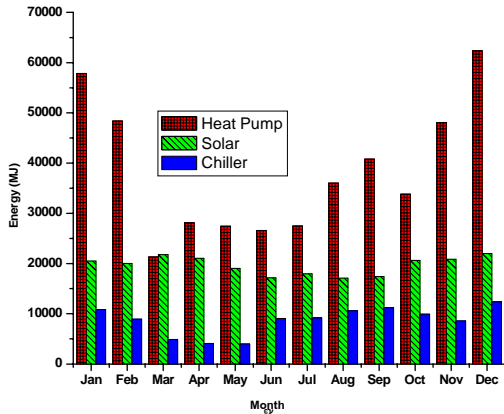


รูปที่ 10 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี

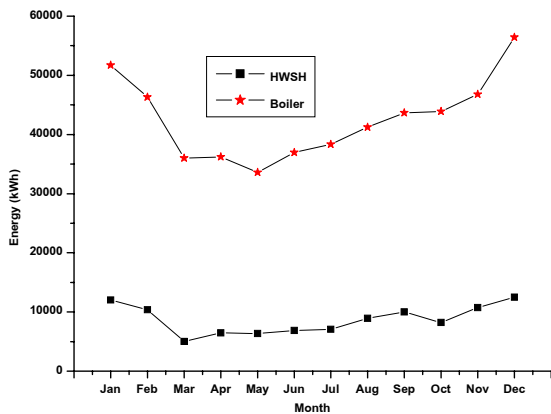
อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ระบบสามารถผลิตได้ในแต่ละเดือนแสดงในรูปที่ 10 โดยอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในเดือนธันวาคมและอุณหภูมิสูงสุดอยู่ใน

เดือนมิถุนายน ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ส่วนอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 45.8 °C

ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนได้รับจากเครื่องทำน้ำเย็น พลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อนแสดงในรูปที่ 11 ความร้อนรวมเท่ากับ 797,521 MJ/ปี โดยมาจากเครื่องทำน้ำเย็น 13.01% พลังงานแสงอาทิตย์ 29.52% และปั๊มความร้อน 57.47%

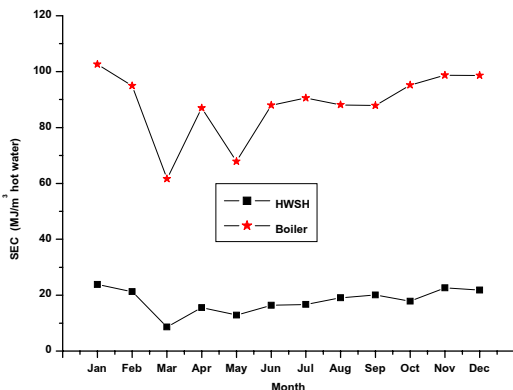


รูปที่ 11 ปริมาณความร้อนจากปั๊มความร้อนและเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 12 การใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อนของระบบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้ม

การใช้พลังงานของระบบ HWSH ตลอดทั้งปีเท่ากับ 104,645 MJ/ปี ซึ่งต่ำกว่าการใช้พลังงานของหม้อต้ม 79.53 % ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 13 การใช้พลังงานจำเพาะในการผลิตน้ำร้อนของระบบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้ม

การใช้พลังงานจำเพาะของระบบเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มแสดงในรูปที่ 13 การใช้พลังงานจำเพาะของระบบโดยเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 18.03 MJ/(m³ hot water) ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ 88.09 MJ/(m³ hot water) ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานจำเพาะของระบบมีค่าต่ำกว่าของหม้อต้ม 79.53% ในรูปที่ 13 จะเห็นว่าการใช้พลังงานจำเพาะของหม้อต้มของเดือน มีนาคม และ พฤษภาคม มีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากว่าทั้งสองเดือนมีการใช้น้ำร้อนในปริมาณมากและเป็นช่วงฤดูร้อน ซึ่งอุณหภูมิน้ำที่เข้าหม้อต้มมีค่าสูงกว่าฤดูอื่น ๆ จึงทำให้การใช้พลังงานต่อหน่วยน้ำร้อนมีค่าลดลงมาก

7. สรุปผล

จากการศึกษาการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบ HWSH โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงแรมขนาด 115 ห้อง ซึ่งพบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 45.8 °C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักแต่ก็พอเพียงกับการอุปโภค การใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 8.6 – 23.88 MJ/(m³ hot water) ซึ่งขึ้นอยู่กับภาระการทำความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น ในขณะที่การผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มมีการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 61.67 – 102.59 MJ/(m³ hot water) ซึ่งสูงกว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสาน 79.53%

เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ข้อมูลราคาพลังงานและราคาอุปกรณ์ช่วงปี พ.ศ. 2550 พบว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานสามารถลดการใช้พลังงานได้ 406,519 MJ/ปี เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 9.62 ตันน้ำมันดิบ/ปี เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนหม้อต้มพบว่ามีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 105.68%

8. ความหมายของสัญลักษณ์

- A พื้นผิวการถ่ายเทความร้อน (m²)
- COP สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน
- C_p ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)
- E พลังงานไฟฟ้าที่ใส่เข้าระบบ (kWh)
- F_R ตัวประกอบการดึงความร้อน
- h เอนทัลปีจำเพาะ (kJ/kg)
- H เหนือของน้ำ (m)
- I ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)
- \dot{m} อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
- M มวล (kg)
- P ความดัน (kPa)
- \dot{Q} อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)
- SEC พลังงานจำเพาะ (MJ/m³ hot water)
- T อุณหภูมิ (°C)
- U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (kW/m²°C)

v	ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)
V_d	อัตราการดูด (m^3/s)
\dot{W}	งาน (kW)

สัญลักษณ์กรีก

η	ประสิทธิภาพ
γ	น้ำหนักจำเพาะ (kN/kg)
α	ผลคูณของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและการดูดกลืน

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
hwc	น้ำร้อนออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
hwh	น้ำร้อนออกปั๊มความร้อน
hwi	น้ำร้อนเข้า
hwo	น้ำร้อนออก
hws	น้ำร้อนออกแผงรับแสงอาทิตย์
hwu	น้ำร้อนใช้งาน
hwT	น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน
H	ปั๊มความร้อน
m	เชิงกล
mw	น้ำที่ใช้ผลิตน้ำร้อน
p	ปั๊มน้ำ
r	สารทำงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Techarungpaisan P. Modeling of a split type air conditioner with integrated water heater. Journal of Energy Conservation & Management 2007; 48: 1222-1237
- [2] Chaurasia P.B.L. Solar water heater based on concrete collectors. Energy 2000; 25: 703-716
- [3] Robert P and Schowalter PE. Heat pump system for laundry. Journal of ASHARE 1997;39(7): 77-79.
- [4] Heat Exchanger design handbook 2. Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1983
- [5] Luigi Schibuola. Experimental analysis of condenser heat recovery in an air condition plant. Energy 1999;24(4):273-83.

[6] Schibuolar L. Experimental analysis of a condenser heat recovery in an air conditioning plant. Journal of Energy 1999; 24: 273-283

[7] W.F. Stoecker. Design of thermal system. New York: McGraw-Hill; 1985

[8] John A, Duffie, William A and Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: JOHN WILEY & SONS; 1980

[9] Xu Guoying, Zhang Xiaosong and Deng Shiming. A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater. Journal of Applied Thermal Engineering 2005.