

การลดภาระการทำความเย็นแบบสามขั้นโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบระเหย

Triple Stage System Decreases the Cooling Load of an Evaporative Cooling System

วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ,^{1*} พนมกร อุตมะสุนย์,² อнуชา ระวาดชู³Weerawoot Arunwattana,^{1*} Panomkorn Audtamasoon,² Anucha Rawadchoo³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเอาระบบปรับอากาศแบบระเหยชนิดน้ำหยดมาเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ขนาดการทำความเย็น 13,500 บีทียูต่อชั่วโมง เพื่อการประหยัดพลังงาน โดยใช้ประโยชน์จากน้ำในระบบปรับอากาศแบบระเหยมาเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่ระบบปรับอากาศแบบอัดไอสามขั้นด้วยกัน คือ ขั้นแรกนำน้ำไปผ่านกระบวนการระเหยเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนนำไประบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ ขั้นที่สองนำน้ำที่ผ่านกระบวนการระเหยขึ้นไประบายความร้อนออกจากหลังคา และขั้นที่สามนำน้ำที่ผ่านจากหลังคาไปดึงความร้อนออกจากผนังโดยให้ไหลผ่านท่อทองแดงที่ฝังอยู่ในผนัง จากนั้นน้ำที่ไหลออกจากท่อทองแดงไหลผ่านแผ่นกระดาษที่ใช้เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ ในกระบวนการระเหยอีกครั้งหนึ่ง จากผลการทดลอง พบว่าระบบที่ปรับปรุงนี้สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอร้อยละ 33.6 และ 7 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการใช้พลังงาน พบว่า ระบบที่ปรับปรุงนี้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแบบอัดไอลงร้อยละ 31.8–72.8 เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทที่อุณหภูมิสมภาวะนำสบายแต่เมื่อคิดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในระบบนี้พบว่า มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอร้อยละ 13.2–45.6 ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่ปรับปรุงมีการติดตั้งปั๊มน้ำเพิ่ม

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศแบบระเหย, ค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะ, ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ว วิทย เทคโนโลยี มมส 2552;28(2):137–142

Abstract

In this research, an evaporative cooling system was used to decrease the cooling load of the 13,500 Btu/hr cooling capacity of a vapor compression system. It was designed for extracting heat gain in a building by three stages. The first stage was used to decrease air temperature before entering heat exchanger. In the second stage, the water, after leaving the evaporative cooling process, was pumped to the tank on the top of the roof and the water flows down through the top skin–roof for extracting heat gain. In the last step, the water after leaving the skin–roof, flows through a single copper pipe that was constructed in the wall for extracting heat gain in the wall by gravity force. The results from the experiment indicated that this improved system can increase the average coefficient of performance and energy efficiency ratio by 33.6% and 7% respectively when comparing to a

¹ อาจารย์, ^{2,3} นิสิตปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (พลังงาน) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, ^{2,3} Undergraduate student, Applied Physics in Energy, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Weerawoot Arunwattana, Applied Physics in Energy, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. Received: 29 April 2008; Accepted: 30 June 2008.

non-improved system. The energy consumption of the vapor compression system in the improved system was much less than the non-improved system by 31.8% to 72.8%, when setting the thermostat at thermal comfort levels, and the total energy consumption in the improved system was less than the non-improved system by 13.2% to 45.6% because it was additionally installed with a pump.

Keywords: evaporative cooling system, coefficient of performance, energy efficiency ratio

J Sci Technol MSU 2009;28(2):137-142

บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยยังอยู่ในขั้นนำเป็นห่วง ประกอบกับเกิดวิกฤติน้ำมันแพงขึ้นหลายครั้งจากการสำรวจอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531¹ พบว่า แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้า ในอนาคตข้างหน้ามีแนวโน้มสูงขึ้น² แต่ ณ ปัจจุบันรัฐบาลไม่สามารถจัดสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นในอนาคตได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการต่อต้านจากชุมชน และปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายเร่งด่วนที่จะลดการใช้พลังงานของประเทศลงเพื่อชะลอการนำเข้าเชื้อเพลิงเข้าจากต่างประเทศและเพื่อให้ประเทศมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างเพียงพอในอนาคต มาตรการหนึ่งที่ใช้ คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์และการนำเอาระบบที่มีการใช้พลังงานน้อยมาทดแทน เมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศ จำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ³ พบว่า การใช้พลังงานสำหรับภาคธุรกิจและที่อยู่อาศัยคิดเป็นอันดับที่สามของการใช้พลังงานทั้งหมด และพลังงานไฟฟ้ามีอัตราการใช้มากกว่าพลังงานชนิดอื่นและจากรายงาน⁴ ชี้ให้เห็นว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่อยู่อาศัย ร้อยละ 50-70 ของการใช้พลังงานทั้งหมดมาจากระบบปรับอากาศ ดังนั้นหากสามารถหาวิธีการลดการใช้พลังงาน ในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานภายในอาคารที่อยู่อาศัยเป็นอย่างมาก แต่การประหยัดพลังงานที่ดีจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัย ได้มีงานวิจัยที่ทำการปรับปรุงระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาดการทำคามเย็น 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง โดยทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนออกด้วยอากาศที่คอนเดนเซอร์ ด้วยการใส่ระบบปรับอากาศแบบระเหย มาช่วยในการลดอุณหภูมิอากาศลง

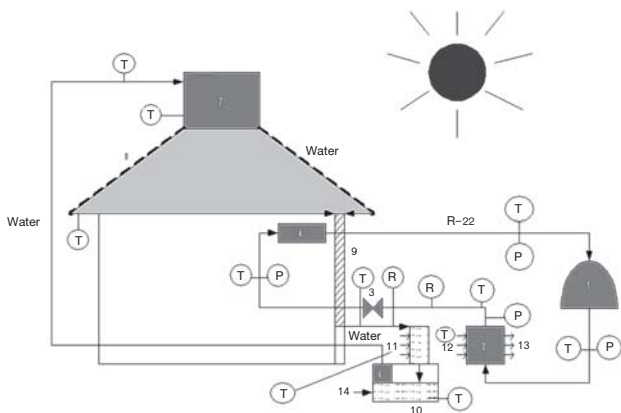
ก่อนนำไประบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ จากผลการทดลอง พบว่า เครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุง ในช่วงเวลากลางวันโดยเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะสูงกว่าระบบก่อนการปรับปรุง 8.5 เเปอร์เซ็นต์ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง 8.2 เเปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพิ่มขึ้น 11.7 เเปอร์เซ็นต์⁵ ต่อมาได้มีการปรับปรุงระบบดังกล่าว โดยนำเอาน้ำที่เหลือจากกระบวนการระเหยไประบายความร้อนออกจากผนังโดยผ่านท่อทองแดงที่ฝังอยู่ในผนัง พบว่า ระบบนี้มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะเฉลี่ยและมีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอ 41 เเปอร์เซ็นต์ และ 46 เเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ⁶ สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงเพิ่มเติมจากระบบที่กล่าวมาข้างต้น คือ นอกจากนำเอาระบบปรับอากาศแบบระเหย มาช่วยลดอุณหภูมิอากาศ ก่อนนำไประบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ และนำเอาน้ำที่ผ่านกระบวนการระเหยไประบายความร้อนออกจากผนังแล้ว ยังนำน้ำที่ผ่านกระบวนการระเหยไประบายความร้อนออกที่หลังคา โดยระบบปรับอากาศแบบระเหยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบอัดไอสามอย่างด้วยกัน คือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ ช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ห้องทางผนัง และช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ห้องทางหลังคา

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาดการทำคามเย็น 13,500 บีทียูต่อชั่วโมง ที่ใช้สำหรับปรับอากาศภายในอาคารขนาด 4m x 4m x 2.5m โดยใช้ประโยชน์สูงสุดจากระบบปรับอากาศแบบระเหยด้วยกัน

3 ส่วน คือ ส่วนแรก นำเอาระบบปรับอากาศแบบระเหย ไปลดอุณหภูมิของอากาศ ก่อนนำไประบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ ส่วนที่สอง นำน้ำที่ผ่านกระบวนการระเหยไปเก็บที่ถังเก็บบนหลังคาแล้วปล่อยน้ำไประบายความร้อนออกจากหลังคา และส่วนสุดท้าย คือ นำน้ำที่ผ่านการระบายความร้อนออกจากหลังคาไปดึงความร้อนออกจากผนัง โดยมีหลักการทำงานดัง Figure 1 ดังนั้น จะมีส่วนสำคัญที่จำเป็นในการออกแบบด้วยกัน 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นระบบปรับอากาศแบบระเหย ชนิดน้ำหยดโดยใช้แบบของ วีระวุฒิ อรุณ-วรรณ โดยได้ติดตั้งเข้ากับชุดคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบอัดไอ ขนาดการทำควมเย็น 13,500 บีทียูต่อชั่วโมงดัง Figure 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนการระบายความร้อนที่หลังคา ได้ออกแบบโดยปั้มน้ำไปพักบนหลังคาจากนั้นให้น้ำไหลผ่านท่อพีวีซีที่เจาะรู เพื่อให้ น้ำไหลกระจายอย่างทั่วถึง ดัง Figure 3 และส่วนที่สามเป็นส่วนระบายความร้อนออกจากผนัง ใช้ท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผนังกับน้ำ โดยใช้ท่อทองแดงทั้งหมด 20 เมตร วางเอียง 10 องศาในระดับพื้นดิน ดัง Figure 4



T = Temperature P = Pressure R = Mass flow rate

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Compressor | 8. Cooling roof |
| 2. Condenser | 9. Cooling wall |
| 3. Expansion valve | 10. Water storage tank |
| 4. Evaporator | 11. Air environment |
| 5. Evaporative cooling | 12. Pre-cooled Air |
| 6. Pump | 13. Hot air |
| 7. Water storage tank | 14. Water in |

Figure 1 Schematic of triple stages decreasing cooling load by the evaporative cooling system and the positions of measurement

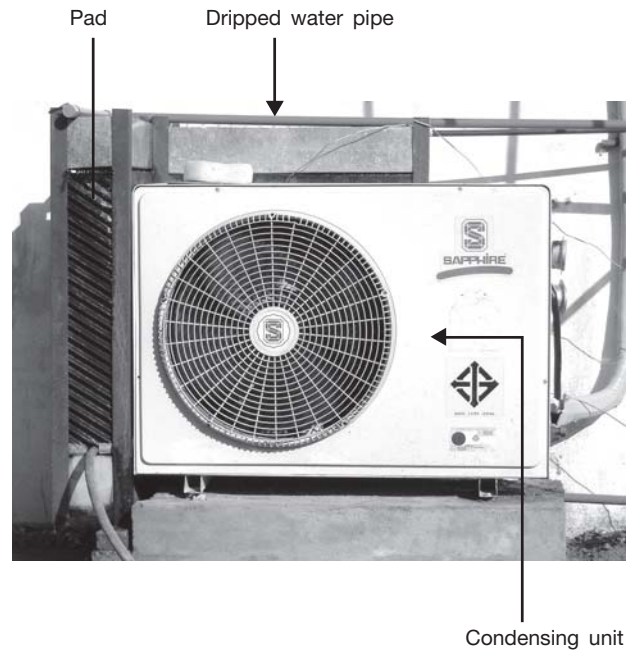


Figure 2 The improved condensing unit

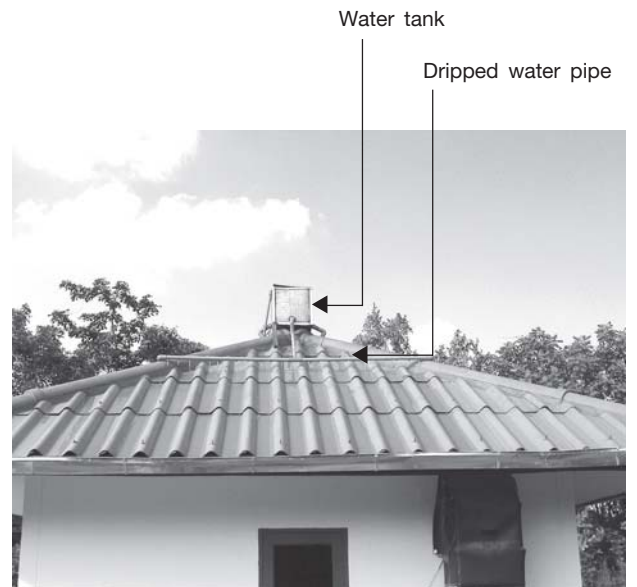


Figure 3 The part of extracted heat on the top-skin roof

ขั้นตอนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน ระหว่างระบบปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้ กับระบบปรับอากาศก่อนการปรับปรุง ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าอัตราส่วน



Copper tube coated with cement

Figure 4 The part of extracted heat in the wall

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสมการ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้หาได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$COP = \frac{Q_{wall} + Q_{roof} + Q_{evap}}{W_p + W_C} \quad (1)$$

$$EER = \frac{Q_{wall} + Q_{roof} + Q_{evap}}{P_p + P_C} \quad (2)$$

- เมื่อ COP = ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
 EER = ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, (BTU/h)/W
 Q_{evap} = อัตราดึงความร้อนเข้าที่อิวาโปรเตอร์, W
 Q_{wall} = อัตราดึงความร้อนออกจากผนัง, W
 Q_{roof} = อัตราดึงความร้อนออกที่หลังคา, W
 W_p = งานที่ใส่ให้แก่ปั๊ม, W
 W_C = งานที่ใส่ให้แก่คอมเพรสเซอร์, W
 P_p = กำลังไฟฟ้าที่ใส่ให้แก่ปั๊ม, W
 P_C = กำลังไฟฟ้าที่ใส่ให้แก่คอมเพรสเซอร์, W

ในการทดลองของระบบปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้ได้ทำการวัดค่าต่าง ๆ ดังแสดงใน Figure 1 และมีรายละเอียดของอุปกรณ์ในการวัดดัง Table 1

ผลการทดลอง และวิจารณ์

จากผลการทดลองระบบปรับอากาศก่อนการปรับปรุงกับระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยและค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย โดยได้แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการการวัดดัง Table 2 และได้ผลดังแสดงใน Table 3 พบว่า ระบบหลังการปรับปรุง มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนระบบก่อนการปรับปรุงโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.36 สำหรับค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ระบบหลังการปรับปรุงมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.3 ส่วนระบบก่อนการปรับปรุงโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 10.5 เมื่อเปรียบเทียบระบบก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า ระบบหลังการปรับปรุงมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงสมรรถนะเฉลี่ย และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย สูงขึ้นกว่าระบบก่อนการปรับปรุง 33.6 เปอร์เซ็นต์ และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดัง Table 4 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า เครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง 38.2 เปอร์เซ็นต์, 31.8 เปอร์เซ็นต์, 31.9 เปอร์เซ็นต์, 44.8 เปอร์เซ็นต์, และ 72.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทไว้ที่ 23 °C, 24 °C, 25 °C, 26 °C, และ 27 °C ตามลำดับ แต่เมื่อคิดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบหลังการปรับปรุง พบว่า ระบบหลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า น้อยกว่าเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง 25.2 เปอร์เซ็นต์, 15.9 เปอร์เซ็นต์, 13.2 เปอร์เซ็นต์, 21.4 เปอร์เซ็นต์, และ 45.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทไว้ที่ 23 °C, 24 °C, 25 °C, 26 °C, และ 27 °C ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุงสามารถลดอัตราการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแบบอัดไอลงได้อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากระบบปรับอากาศแบบระเหยจะช่วยในการดึงความร้อนออกจากห้องปรับอากาศสามชั้นด้วยกัน คือ ชั้นแรกช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ ชั้นที่สองช่วยในการลดภาระความร้อนเข้าสู่ห้องปรับอากาศผ่านทางผนังห้อง และชั้นที่สามช่วยในการลดภาระความร้อนเข้าสู่ห้องทาง

Table 1 Devices of measurement

Measurement	Devices	Ranges	Uncertainty
Temperature	Thermocouple type K	–50–100 °C	± 0.4 %
Pressure	Pressure gage R–22 Succo	0–2.5 kPa	± 2 %
Mass flow rate	Rota meter	0–3 kg/s	
Electrical power	Power kW–h meter Mitsubishi	–	–
Data record	Data logger DaqPRO 5300	–	–

Table 2 A sample of measured data at 12.00 am.

Measured data	Tested system	
	The conventional system	The improved system
Ambient temperature	31 °C	31 °C
Water temperature before flowing on the skin–roof	–	24 °C
Water temperature after leaving on the skin–roof	–	25 °C
Water temperature before flowing into the copper tube	–	25 °C
Water temperature after leaving the copper tube	–	27.5 °C
Air temperature before passing pad	–	31 °C
Air temperature after passing pad or before passing condenser	31 °C	25 °C
Air temperature after passing condenser	36 °C	30 °C
Water flow rate before flowing on the skin–roof	–	0.273 m ³ /h
Water flow rate before flowing into the copper tube	–	0.101 m ³ /h

Table 3 Coefficient of performance (COP) and energy efficiency ratio (EER)

	COP (average)	EER (average), (BTU/hr)/W
Conventional system	3.36	10.5
Improved system	4.49	11.3

Table 4 The consumption of electrical power Temperature

Re set in thermostat	The consumption of electrical power (kW–hr/day) (06.00 am.–06.00 pm.)			
	Conventional system		Improved system	
	The vapor compression system	The vapor compression system	Pump	Total
23 °C	13.1	8.1	1.7	9.8
24 °C	10.7	7.3	1.7	9.0
25 °C	9.1	6.2	1.7	7.9
26 °C	7.25	4.0	1.7	5.7
27 °C	6.25	1.7	1.7	3.4

หลังคา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอในระบบหลังการปรับปรุงมีความสามารถ ในการเข้าสู่สภาวะอุณหภูมิปรับอากาศที่ต้องการ (ที่ตั้งค่าในเทอร์โมสแตท) ได้เร็วกว่าระบบปรับอากาศก่อนการปรับปรุง ทำให้มีช่วงการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้บ่อยครั้งมากกว่าในระบบก่อนการปรับปรุง ทำให้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอหลังการปรับปรุง มีอัตราการใช้พลังงานน้อยกว่าในระบบก่อนการปรับปรุง ถึง 31.8–72.8 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อคิดอัตราการใช้พลังงานรวมในระบบ พบว่า สามารถประหยัดพลังงาน 13.2–45.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทอยู่ในช่วง 23°C–27°C ถึงแม้ว่าค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ในระบบหลังการปรับปรุงมีการติดตั้งปั๊มน้ำเพิ่มเติม ดังนั้นในการออกแบบระบบจะต้องเลือกขนาดของปั๊ม ให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ก็สามารถช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศมากตามไปด้วย

สรุป

ระบบปรับอากาศที่ปรับปรุงนี้ มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่ระบบปรับอากาศแบบอัดไอสูง เนื่องจากช่วยเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ ช่วยลดภาระความร้อนที่เข้าสู่ห้องทางหลังคาและผนัง ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแบบอัดไอลง 31.8–72.8 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อคิดพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้สามารถประหยัดพลังงานได้ 13.2–45.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตั้งค่าเทอร์โมสแตทอยู่ในช่วงอุณหภูมิสภาพน่าสบาย ดังนั้นในการออกแบบระบบหลังการปรับปรุง ควร

เลือกใช้ปั๊มน้ำให้มีขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มการประหยัดพลังงานให้มากขึ้นกิตติกรรมประกาศ ขอขอบคุณกองส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2547. <http://www.dede.go.th/dede/index.php?d=658>
2. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. ทิศทางการจัดหาไฟฟ้าไทย. 2545.
3. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การใช้พลังงานในภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ. เอกสารประกอบการสัมมนาแผนหลักอนุรักษ์พลังงาน 5 ปี (พ.ศ. 2545–2549). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ; 2545. หน้า 6–11.
4. สุทัศน์ เขียววัฒนา. อนุรักษ์พลังงานวิถีธรรมชาติและความสมดุล. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 2547;10(1).
5. วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ. การปรับปรุงการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์โดยใช้การระเหยของน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2543.
6. วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ, ปิยะศักดิ์ พรหมภักดี, และ ประมุข คำสมัย. ระบบปรับอากาศร่วมระหว่างแบบอัดไอกับแบบระเหย. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 2547;11(3):159–165.