การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นกลับมาใช้ ในการผลิตน้ำร้อน

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY BY RECLAIMING HEAT FROM A WATER CHILLER SYSTEM

วิศิษฏ์ ชูประเสริฐ[1*], จิตติน แตงเที่ยง

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ 10330
* ผู้ติดต่อ: โทรศัพท์: 081 8430743
E-mail: ae.chup@hotmail.com, (02-218-6590 E-mail: QED690@yahoo.com)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหลักที่ได้รับความสนใจจากทุกฝ่าย การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อาคารสำนักงานโดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในการปรับอากาศ ส่งผลให้เกิดความร้อนปล่อยทิ้งซึ่งสามารถนำเอาความร้อนที่ได้กลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อน

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศกลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อน ด้วยวิธีการทดลองเก็บข้อมูลจากชุดทดลองที่ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ส่งผลถึงปริมาณและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและปรับปรุงระบบจริง เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อนต่อไป

ผลจากการทดลอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลง อุณหภูมิน้ำร้อนและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอจะมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอจะมีค่าลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำร้อนจึงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำ เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (*COP*) กับระบบทำน้ำเย็น ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 2.69 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นเป็น 3.09 และ 3.42 ที่อัตราการไหลของน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศ, การผลิตน้ำร้อน, ความร้อนเหลือทิ้ง

Abstract

Nowadays energy and environmental crisis are a major concern for all parts of society. One of the solutions to solve this crisis is to use energy efficiently, especially by using a waste heat recovery

system. Most office buildings use chillers for cooling whereas the waste heat is obtained as a by-product which can be used in the recovery system to generate hot water.

This paper is the study of the improvement of energy efficient usage by using the waste heat recovery system on the chiller used for an air-conditioning unit to generate hot water. This will be performed by collecting data from the experiment conducted by varying the water flow rate as the effect on hot water production. In addition, these results can be applied to other office buildings as a guideline for a preliminary study and design before introducing an actual implementation to reduce energy consumption of the hot water generating system.

The results show that the temperature of produced hot water depends on the water flow rate. When the water flow rate is decreased, temperature of hot water and power of compressor increase. On the other hand, the hot water temperature and power consumptions of compressor decrease, when the water flow rate is increased. Comparatively, the coefficient of performance (*COP*) of the chiller with the waste heat recovery system is approximately 3.09 and 3.42 higher than that of the chiller without hot water flow (*COP* = 2.69) at water flow rate of 4 and 12 liters per minute respectively.

Keywords: air conditions; domestic hot water supply; waste heat recovery

1. บทนำ

ระบบทำน้ำเย็นสำหรับใช้ในการปรับอากาศ (Chiller system) เป็นระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารธุรกิจ เช่น อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความต้องการทั้งการปรับอากาศ เพื่อรักษาสภาพอากาศภายในตัวอาคาร และต้องการพลังงานในการผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในการซักรีด หรืออุปโภคต่างๆ ไปพร้อมๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบทำความเย็นจะมีการระบายความร้อนทิ้งสู่บรรยากาศ ดังนั้นถ้าสามารถนำปริมาณความร้อนจากระบบปรับอากาศที่ปล่อยทิ้งนั้น กลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนได้ จะทำให้ลดการใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อนได้บางส่วน

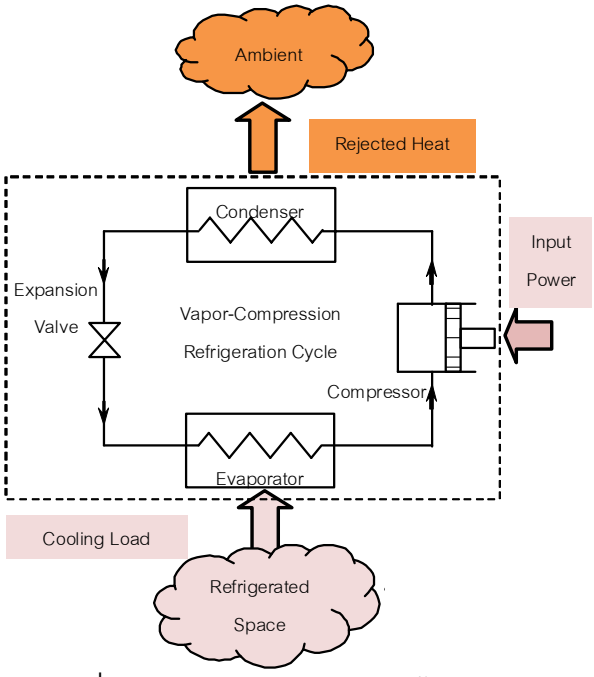
โดยทั่วไปแล้วระบบทำความเย็นสำหรับการปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานนั้น จะมีการระบายความร้อนปล่อยทิ้งที่เครื่องควบแน่น ซึ่งความร้อนที่ปล่อยทิ้งออกไปนั้นจะได้มาจาก ภาระความร้อนที่รับมาจากบริเวณภายในห้องปรับอากาศ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดไอสารทำความเย็นภายในเครื่องอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 1

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นกลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อน โดยวิธีการตรวจวัดข้อมูลจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ซึ่งดัดแปลงมาจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และเพิ่มอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate heat exchanger) แทรกอยู่ระหว่างเครื่องอัดไอ (Compressor) และเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำร้อนที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

จากรายงานการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบนำความร้อนปล่อยทิ้งของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์กลับมาใช้ ของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่งในประเทศอิตาลีเป็นเวลา 1 ปี Luigi[1] พบว่า สามารถใช้ความร้อนปล่อยทิ้งในการผลิตน้ำร้อนได้ 100% ในเดือนที่มีอากาศร้อน และ 70% ในเดือนอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิ 40°C โดยมีอุณหภูมิน้ำเย็น 7°C และอุณหภูมิบรรยากาศ 35°C

ฐิติพร[2] ได้ทดลองทำน้ำร้อนโดยใช้ความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศขนาด

18,000 Btu/hr แบบอัดไอชนิดแยกส่วน สามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 36°C, อุณหภูมิน้ำเข้าประมาณ 31°C ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15 ลิตร/นาที



รูปที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

Huimin และคณะ[3] ได้ทำการสร้างชุดทดลองการผลิตน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้งของระบบปรับอากาศ ซึ่งในการทดลองนั้นได้ทำการทดลอง ภายในห้องที่ควบคุมสภาพอากาศทั้งภายในและภายนอก ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการผลิตน้ำร้อนจากระบบดังกล่าวนั้น ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ภาวิณีและคณะ[4] ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบการนำความร้อนที่ระบายทิ้งที่เครื่องควบแน่นของระบบปรับอากาศขนาดเล็กมาใช้ทำน้ำอุ่น พบว่าสามารถทำให้น้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิน้ำป้อน 8°C

Yi Xiaowen และคณะ[5] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำระบายความร้อน โดยได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดก้นหอย เพื่อใช้ในการอุ่นน้ำจากอุณหภูมิบรรยากาศ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระบบทำงานทั้งปรับอากาศและทำน้ำร้อนนั้น จะทำให้ค่า *COP* ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น 12.3% อย่างน้อยที่สุด และเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มค่า *COP* ก็จะมีค่าเพิ่มถึง 20.6%

2.ชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบทำน้ำเย็นเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา โดยได้ดัดแปลงนำเฉพาะส่วนที่เป็นคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing unit) ของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split type) ซึ่งภายในประกอบด้วยเครื่องอัดไอ และเครื่องควบแน่น นำมาประกอบร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นสำหรับทำน้ำร้อน และอุปกรณ์ทำน้ำเย็นชนิดเปลือกและท่อ (Shell and tube evaporator) น้ำเย็นที่ผลิตได้ก็จะถูกส่งไปใช้กับเครื่องเป่าลมเย็นต่อไป รายละเอียดของอุปกรณ์ในชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

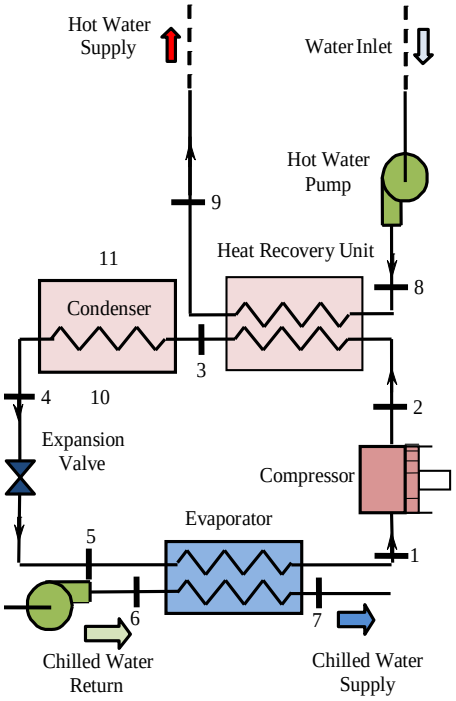
ตารางที่ 1 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของชุดทดลอง

อุปกรณ์ในชุดทดลอง	ข้อมูลทางเทคนิค
เครื่องอัดไอ ชนิดโรตารี่	
ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า	5.396 kW
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate heat)	
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	1.4 m²
เครื่องควบแน่น ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ	
ขนาด กว้าง×ยาว×สูง	795×1018×360 mm
อุปกรณ์ทำน้ำเย็น ชนิดเปลือกและท่อ	
ขนาดพิกัดการทำความเย็น	10.266 kW
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	0.787 m²
สารทำความเย็น	R-22
เครื่องเป่าลมเย็น	
ขนาด กว้าง×ยาว×สูง	1570×620×250 mm
อัตราการทำความเย็น	10.589 kW
ขดลวดไฟฟ้า	2 ขด

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพระบบของชุดทดลอง ซึ่งได้ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแทรกอยู่ระหว่างเครื่องอัดไอและเครื่องควบแน่น หลักการทำงานจะเริ่มจากสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดไอในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง(Superheat vapor) ที่มีอุณหภูมิสูงไหลเข้าไปถ่ายเทความร้อนบางส่วนให้กับน้ำภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนการ

ควบแน่น ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นสารทำความเย็นจึงไหลต่อไปยังเครื่องควบแน่นเพื่อระบายความร้อนที่เหลือออกแล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวไหลต่อเข้าไปยังวาล์วลดความดันเพื่อลดความดันและอุณหภูมิลง หลังจากนั้นจึงไหลเข้าไปดูดรับความร้อนจากน้ำเย็นที่กลับจากเครื่องเป่าลมภายในเครื่องทำน้ำเย็น และส่งน้ำเย็นออก เพื่อใช้ในการปรับอากาศต่อไป

จะสังเกตได้ว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แทรกเข้าไปนั้นจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนเครื่องควบแน่นอีกเครื่องหนึ่ง ถ้าในกรณีที่ไม่มีการทำน้ำร้อนก็ยังมีเครื่องควบแน่นเดิม ที่ยังคงระบายความร้อนด้วยอากาศออกจากระบบทำความเย็น เพื่อให้ระบบทำงานได้ต่อไป



รูปที่ 2 ระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้ง

ภายในชุดทดลองได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกบันทึกลงในเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

3.วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองนั้นแบ่งออกได้เป็นสองการทดลอง คือ การทดลองระบบทำน้ำเย็นเพื่อใช้ในการปรับอากาศ (น้ำร้อนไม่ไหล) และการทดลองทำน้ำร้อนโดยนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นกลับมาใช้ รายละเอียดของการทดลองแต่ละกรณีมีดังต่อไปนี้

3.1 การทดลองทำน้ำเย็นเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศ

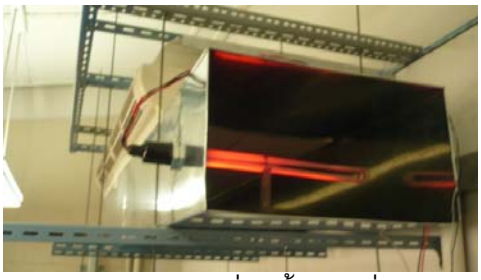
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินหาอุณหภูมิน้ำร้อนในสภาวะหยุดนิ่ง,อัตราการทำความเย็น,กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับการทดลองในกรณีเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อน ซึ่งในการทดลองระบบทำน้ำเย็นนี้ ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงอุณหภูมิน้ำร้อนในสภาวะหยุดนิ่งภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อภาระความร้อนภายในห้องเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองจะทำการเปิดขดลวดความร้อน(Heater) จำนวน 1 ขดและ 2 ขด ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองแต่ละเงื่อนไขเป็นเวลาโดยประมาณ 1 ชั่วโมงต่อเนื่องจากการทดลองเดิมที่ไม่มีการเพิ่มภาระความร้อนเพื่อจำลองสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศ รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งขดลวดความร้อนกับเครื่องเป่าลมเย็น

ตารางที่ 2 ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูล

ตำแหน่ง	ตัวแปรที่ตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
1-5	อุณหภูมิของสารทำความเย็น	Thermocouple type K
6,7	อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกเครื่องทำน้ำเย็น	RTD type PT100
8,9	อุณหภูมิน้ำเข้าและออกเครื่องทำน้ำร้อน	RTD type PT100
10,11	อุณหภูมิอากาศเข้าและออกเครื่องควบแน่น	RTD type PT100
1,5	ความดันสารทำความเย็น	Low pressure gauge
2,4	ความดันสารทำความเย็น	High pressure gauge
6,8	อัตราการไหลน้ำเย็นและน้ำร้อน	Flow meter
11	ความเร็วลม	Anemometer
-	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอ	Power meter

3.2 การทดลองทำน้ำร้อนโดยนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นกลับมาใช้

ในการทดลองนี้จะทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat recovery unit) จาก 4, 8 และ 12 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ซึ่งในแต่ละการทดลองที่ควบคุมอัตราการไหลนั้น จะทำการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 3.1 และแต่ละการทดลองทั้งสองวิธีนั้น ได้ใช้ข้อมูลในสภาวะคงที่มาใช้ในการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3 ขดลวดความร้อนที่ติดตั้งกับเครื่องเป่าลมเย็น

4. ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองระบบทำน้ำเย็นนั้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในสภาวะหยุดนิ่งจะมีค่าอยู่ที่ 70.14°C เนื่องมาจากระบบทำความเย็นไม่สามารถระบายความร้อนออกได้เพียงพอและจากการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแทรกเข้าไปในระบบนั้นส่งผลให้เกิดความดันตกคร่อมในท่อทางด้านอัด ทำให้ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลออกไปถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นภายนอกไหลได้น้อยลง จึงส่งผลให้ความดันในระบบทั้งทางด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำมีค่าสูงขึ้น และผลกระทบที่ตามมาทำให้เครื่องอัดไอต้องการกำลังไฟฟ้ามากขึ้น อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

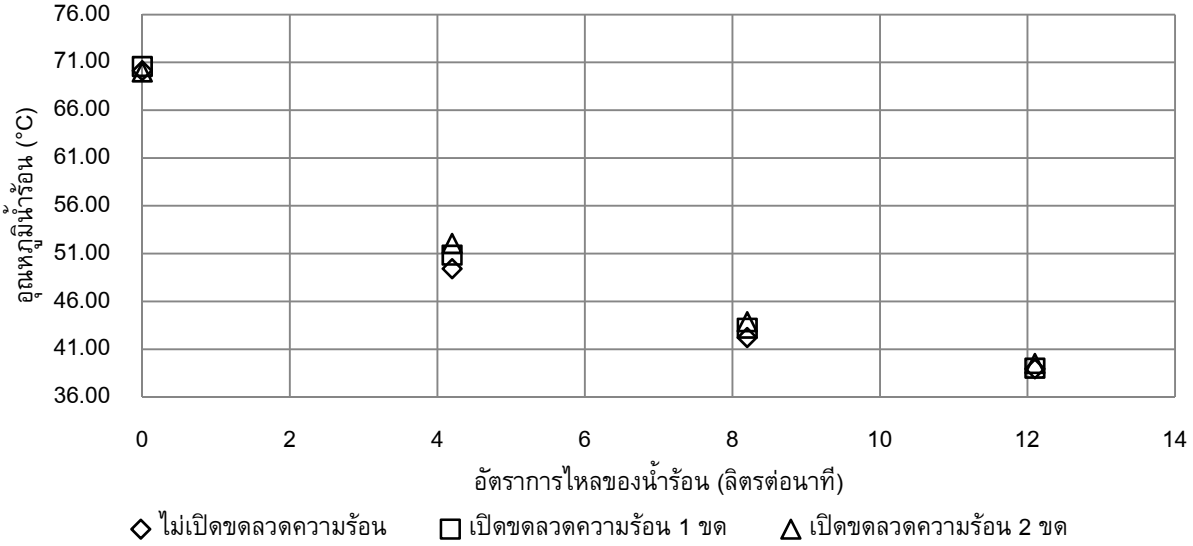
เมื่อทำการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศโดยการเปิดขดลวดความร้อนจำนวน 1 ขดและ 2 ขดตามลำดับ เห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่หยุดนิ่งอยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มเข้ามานั้นจะถูกถ่ายเทออกที่บริเวณเครื่องควบแน่นแทน และนอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

จากการทดลองนี้เปรียบเสมือนว่าระบบไม่มีการใช้น้ำร้อน จึงส่งผลเสียต่อระบบทำความเย็น ดังนั้นในทางปฏิบัติควรจะมีการหมุนเวียนน้ำจากภายนอกเพื่อให้ระบบทำความเย็นทำงานได้ตามปกติ

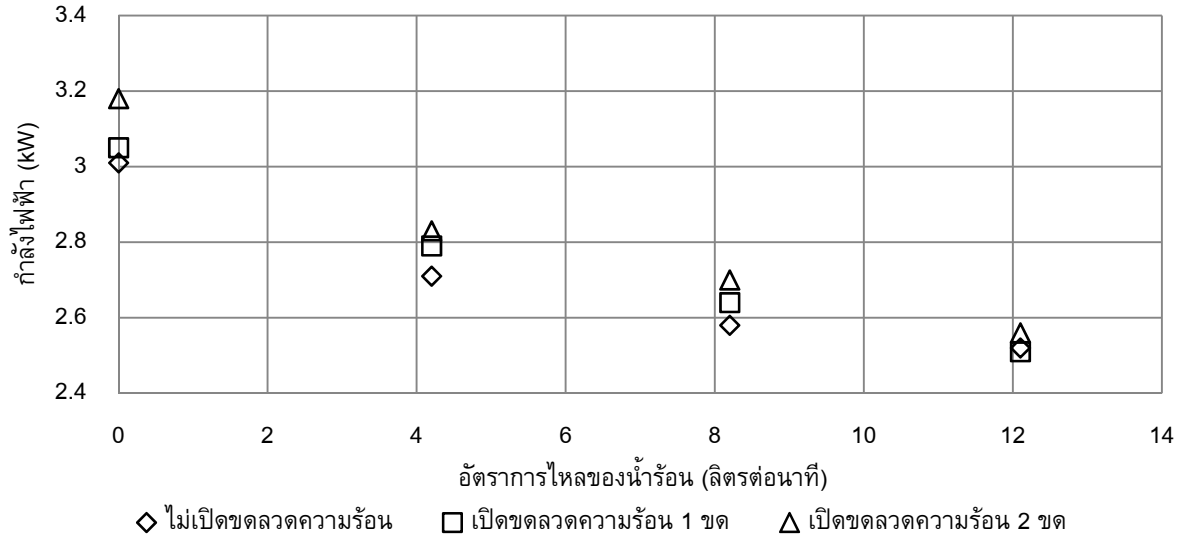
รูปที่ 4 - 7 แสดงผลจากการทดลองในระบบทำน้ำร้อนโดยใช้ความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็น ซึ่งในการทดลองได้ทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจาก 4, 8 และ 12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ

จากรูปที่ 4 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงจาก 70.14°C เป็น 49.42°C, 42.22°C และ 38.95°C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 8 และ 12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากระบบทำความเย็นสามารถระบายความร้อนส่วนหนึ่งให้กับน้ำที่เข้ามารับความร้อน ทำให้มีปริมาณความร้อนที่เหลือในสารทำความเย็นเพียงเล็กน้อยนั้นออกไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นภายนอกได้หมด นอกจากนี้หากทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อนมากขึ้นถึงจุดหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำร้อน และเมื่อทำการเพิ่มภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็นนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4 ลิตรต่อนาทีจะเห็นได้ชัดว่าการเพิ่มภาระความร้อนนั้นส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอนั้นจะมีแนวโน้มเดียวกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ คือเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอจะมีค่าลดลง เนื่องมากจากความดันทางด้านความดันสูงของระบบทำความเย็นที่ค่อยๆลดลง และเมื่อทำการเพิ่มภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็นนั้น กำลังไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาที่อัตรา



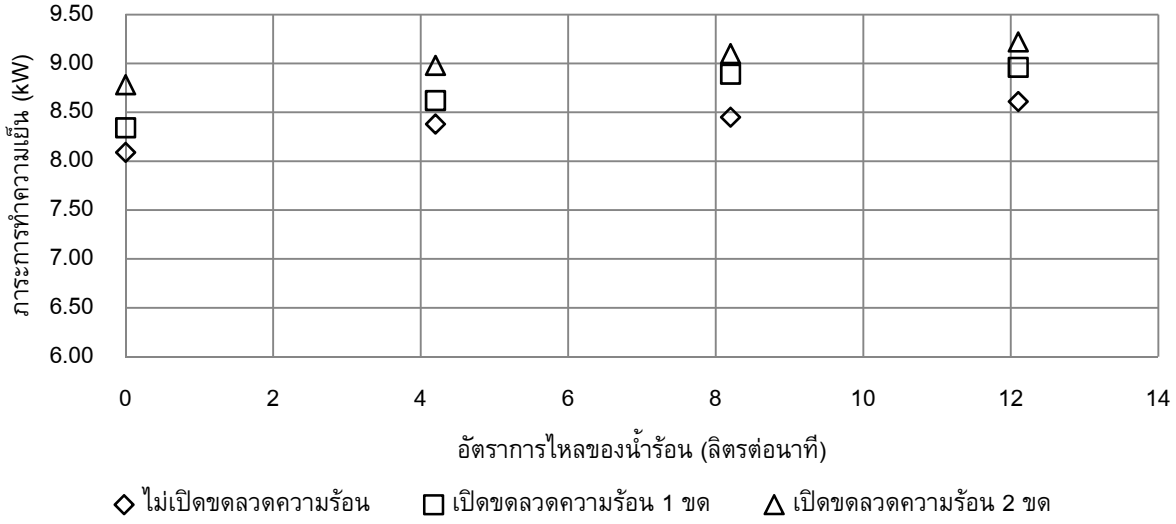
รูปที่ 4 กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำร้อน (อุณหภูมิบรรยากาศอยู่ในช่วง 30 – 32°C)



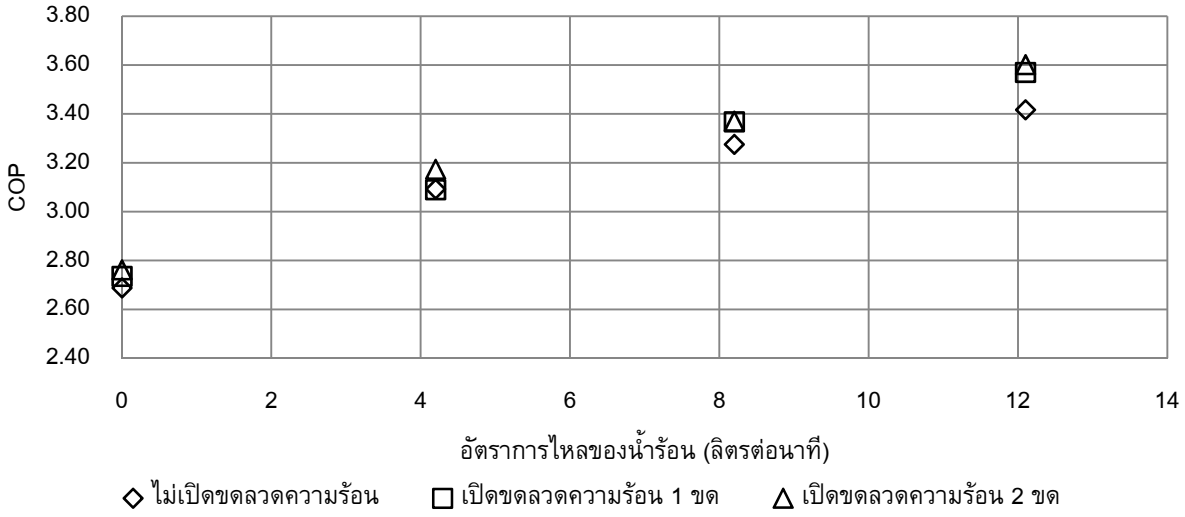
รูปที่ 5 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำร้อน (อุณหภูมิบรรยากาศอยู่ในช่วง 30 – 32°C)

การไหลของน้ำร้อนคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 5 และเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำน้ำเย็นในขณะที่น้ำร้อนหยุดนิ่งกับน้ำร้อนไหลนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลน้ำร้อนเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงจาก 3.01 kW เป็น 2.71 kW, 2.58 kW และ 2.52 kW คิดเป็น 9.97%, 14.29% และ 16.28% ที่อัตราการไหลเท่ากับ 4, 8 และ12 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ เมื่อไม่มีการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้อง

รูปที่ 6 แสดงภาระการทำความเย็นของระบบที่ทำได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง จากรูปเห็นได้ว่า ภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากระบบทำความเย็นสามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระบบทำน้ำเย็นในขณะที่น้ำร้อนหยุดนิ่งกับน้ำร้อนไหลนั้น ค่าภาระการทำความเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8.09 kW เป็น 8.38 kW, 8.45 kW และ 8.61 kW คิดเป็น 3.58%, 4.45% และ 6.43% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 8 และ



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็น เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง (อุณหภูมิบรรยากาศอยู่ในช่วง 30 - 32°C)



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น (*COP*) เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง (อุณหภูมิบรรยากาศอยู่ในช่วง 30 - 32°C)

12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ได้เพิ่มภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็น

ภาระการทำความเย็นของชุดทดลองนั้นได้มาจากการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้า, ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น แล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ (1)

$$Q_e = \rho V c_p \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือค่าความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1,000 $\frac{kg}{m^3}$

c_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 4.18 $\frac{kJ}{kg\ K}$

V คืออัตราการไหลของน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัด มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที

ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าออกจากเครื่องทำน้ำเย็น

รูปที่ 7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (*COP*) ของระบบทำความเย็น

กับอัตราการไหลของน้ำร้อน โดยค่า *COP* ของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$COP = \frac{Q_e}{w} \quad (2)$$

เมื่อ Q_e คือภาระการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น kW

w คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอได้จากการตรวจวัด, มีหน่วยเป็น kW

จากรูปที่ 7 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ค่า *COP* ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.69 เป็น 3.09, 3.28 และ 3.42 คิดเป็น 14.87%, 21.93% และ 27.14% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 8 และ 12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ได้เพิ่มภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็น ค่า *COP* ที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นผลเนื่องมาจาก ภาระการทำความเย็นที่ระบบทำได้มากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอก็มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่า *COP* ของระบบทำความเย็นมีค่าสูงขึ้น ทั้งในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มและมีการเพิ่มภาระความร้อน

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นั้น จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าในเครื่องอัดไอมีค่าลดลง ค่าภาระการทำความเย็นและค่า *COP* ของระบบทำความเย็นนั้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ค่า *COP* โดยเฉลี่ยรวมของระบบทำความเย็นที่ได้จากทุกการทดลองนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.73 เป็น 3.12, 3.34 และ 3.53 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นจาก 4, 8 และ 12 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นมีข้อเสนอแนะว่า ในทางปฏิบัติควรมีระบบถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำร้อน เพื่อให้ระบบทำความเย็นทำงานได้ตามปกติ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนสถานที่, งบประมาณ และอุปกรณ์ ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Luigi Schibuola (1998). Experimental analysis of a condenser heat recovery in an air conditioning plant, *Energy*, vol.24, May 1998, pp.273-283.

[2] ฐิติพร ถมยาพิทักษ์ (2545). การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต*, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545

[3] Huimin Jiang, Yang Wang, Zuiliang Ma, Yang Yao (2005). An experimental study on a modified air conditioner with a domestic hot water supply (ACDHWS), *Energy*, vol.31, May 2005, pp.1789-1803.

[4] ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, ต่อศักดิ์ จันทร์ทัน, ฑณวรรธน์ โชติวงษ์, สมิต เจริญเวทย์วุฒิ (2550). ระบบการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กมาทดแทนการใช้ไฟฟ้าในการทำน้ำอุ่นในบ้านพักอาศัย, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21,* มหาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

[5] Yi Xiaowen, W.L. Lee (2009). The use of helical heat exchanger for heat recovery domestic water-cooled air-conditioners, *Energy Conversion and Management*, vol.50, 2009, pp.240-246.