การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นร่วมกับการใช้ฮีตปั๊มในการผลิตน้ำร้อน

วิศิษฏ์ ชูประเสริฐ[1] และจิตติน แตงเที่ยง[2]

[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ae.chup@hotmail.com, QED690@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาหลักที่ได้รับความสนใจจากทุกฝ่าย การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อาคารสำนักงานโดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในการปรับอากาศ ส่งผลให้เกิดความร้อนปล่อยทิ้งซึ่งสามารถนำเอาความร้อนที่ได้กลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อน

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศร่วมกับการใช้ระบบฮีตปั๊มในการผลิตน้ำร้อน ด้วยวิธีการทดลองเก็บข้อมูลจากชุดทดลอง ในการทดลองนั้นได้ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ส่งผลถึงปริมาณและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ และศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงานของระบบทำน้ำเย็นและฮีตปั๊ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและปรับปรุงระบบจริง และลดปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อนต่อไป

ผลจากการทดลอง เมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลง อุณหภูมิน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอในระบบฮีตปั๊มจะมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้าม เมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอในระบบฮีตปั๊มจะมีค่าลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำร้อน จึงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบฮีตปั๊มจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.01 เป็น 6.39, 6.77, 7.21, 7.56 และ 7.66 คิดเป็น 27.5%, 35.1%, 43.9%, 50.9% และ 52.9% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ โดยที่ระบบทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยอยู่ที่ 3.60

คำสืบค้น

เครื่องทำน้ำเย็น, ความร้อนเหลือทิ้ง, น้ำร้อน, ฮีตปั๊ม

Reclaiming heat from water chiller system with heat pump system to produce hot water

WISIT CHUPRASERT[1] and CHITTIN TANGTHIENG[2]
[1,2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Ae.chup@hotmail.com, QED690@yahoo.com

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 with heat pump 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.

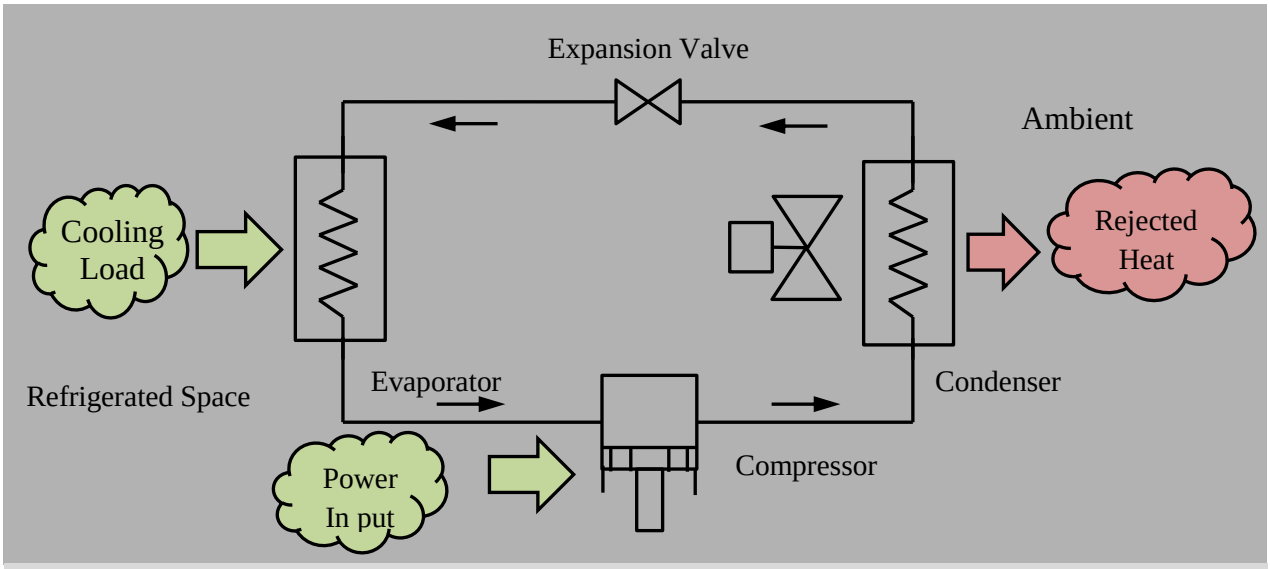
The results show that the temperature of produced hot water depends on the water flow rate. When the water flow rate decreases, temperature of hot water and power of heat pump compressor increase. On the other hand, the hot water temperature and power consumptions of heat pump compressor decrease, when the water flow rate is increased. The coefficient of performance (*COP*) of the chiller with the waste heat recovery system is approximately 3.60 and the coefficient of performance (*COP*) of the heat pump increased from 5.01 to 6.39, 6.77, 7.21, 7.56 and 7.66 (27.5%, 35.1%, 43.9%, 50.9% and 52.9%) at water flow rate of 4, 6, 8, 10, 10 and 15.5 liters per minute respectively.

KEYWORDS

chiller, heat pump, hot water, waste heat recovery

I. บทนำ

ระบบทำน้ำเย็นสำหรับใช้ในการปรับอากาศ (Chiller system) เป็นระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารธุรกิจ เช่น อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความต้องการทั้งการปรับอากาศ เพื่อรักษาสภาพอากาศภายในตัวอาคาร และต้องการพลังงานในการผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในการซักรีด หรืออุปโภคต่างๆ ไปพร้อมๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบทำความเย็นจะมีการระบายความร้อนทิ้งสู่บรรยากาศ ซึ่งความร้อนจำนวนดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนได้[1,3,6,7] แต่ความร้อนจำนวนดังกล่าวอาจไม่เพียงพอสำหรับการผลิตน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิสูงตามที่ต้องการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงการใช้ปริมาณความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นร่วมกับการใช้ฮีตปั๊มในการผลิตน้ำร้อนสำหรับใช้ในกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคารประเภทดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเป็นอีกแนวทางที่ช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อน รูปที่ 1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่รับมาจากภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดไอ ซึ่งจะปล่อยความร้อนที่รับมาทิ้งออกสู่บรรยากาศที่บริเวณเครื่องควบแน่น



รูปที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

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

สาธิต[4] ได้ศึกษาระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบฮีตปั๊มร่วมกับการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมาใช้ โดยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้นำเสนอสำหรับอาคารเชิงพาณิชย์ในเขตภูมิภาคอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย ซึ่งได้ทำการเลือกโรงแรมขนาด 115 ห้องซึ่งประกอบด้วย ระบบทำน้ำเย็นมีขนาด 257 kW ใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน และมีระบบฮีตปั๊มขนาด 25.7 kW ใช้สารทำความเย็น R-134a เช่นกัน พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิ เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 44.7°C ทั้งนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะขึ้นกับภาระการทำความเย็นของระบบทำน้ำเย็นและปริมาณการใช้น้ำร้อน

อาทิตย์ ไชยอรนันท์[5] ได้สร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับทำน้ำร้อนโดยใช้ฮีตปั๊ม สามารถใช้ในบ้านพักอาศัยขนาด 3 - 4 คน ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้มีขนาด 100 ลิตร ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็น เครื่องอัดไอมีขนาด 1.4 kW ขนาดการทำความเย็นเท่ากับ 3.5 kW และเครื่องควบแน่นมีขนาด 4.5 kW พบว่าน้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิเฉลี่ย 50.5°C สัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยของฮีตปั๊ม 3.3 แต่ราคาของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยฮีตปั๊มจะสูงกว่าเครื่อง

ทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าอยู่มาก จากการประเมินค่าใช้จ่ายพบว่า ต้นทุนรวมของน้ำร้อนต่อหน่วยความร้อนที่ผลิตได้อยู่ที่ 1.2 บาท/MJ (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.0 บาท)

ปราโมทย์ สายประดิษฐ์ [2] ศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยฮีตปั๊มแบบอัดไอ โดยใช้สารทำความเย็น R-134a ใช้เครื่องอัดไอขนาด 342 W สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดประมาณ 1.2 kW และทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นในเวลาประมาณ 1 นาที จากการจำลองสถานการณ์ของระบบ เพื่อต้องการความร้อนที่ได้สูงสุด 3.5 kW เทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า พบว่าต้องใช้เครื่องอัดขนาด 1.1 kW และเครื่องระเหยขนาด 2.6 kW โดยที่ระบบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ สูงสุดประมาณ 4 - 4.2 และสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 41.7°C ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ลิตรต่อนาทีและน้ำเข้าระบบที่อุณหภูมิ 25°C

วัตถุประสงค์ของบทความวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาถึงกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งจากระบบทำน้ำเย็นร่วมกับการใช้ระบบฮีตปั๊มในการผลิตน้ำร้อน ด้วยวิธีการทดลองเก็บข้อมูลจากชุดทดลองเพื่อประเมินถึงความสามารถของการผลิตน้ำร้อน และศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงานของระบบทำน้ำเย็นและฮีตปั๊ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและปรับปรุงระบบจริง

II. ชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบผลิตน้ำร้อนโดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งร่วมกับการใช้ฮีตปั๊มเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา ได้ดัดแปลงนำเฉพาะส่วนที่เป็นคอนเดนซิ่งยูนิตของระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน ซึ่งภายในประกอบด้วยเครื่องอัดไอ และเครื่องควบแน่น นำมาประกอบร่วมกับระบบฮีตปั๊ม รายละเอียดของอุปกรณ์ในชุดทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

อุปกรณ์ในชุดทดลอง	ข้อมูลทางเทคนิค
ระบบทำความเย็น	
- เครื่องอัดไอ ชนิดโรตารี่	5.396 kW
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดแผ่น พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	1.4 m²
- เครื่องควบแน่น ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาด กว้าง×ยาว×สูง	795×1018×360 mm
-อุปกรณ์ทำน้ำเย็นชนิดเปลือกและท่อขนาดพิกัดการทำความเย็น	10.266 kW
- พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	0.787 m²
- สารทำความเย็น	R-22
- เครื่องเป่าลมเย็น ขนาด กว้าง×ยาว×สูง	1570×620×250 mm
- อัตราการทำความเย็น	10.589 kW

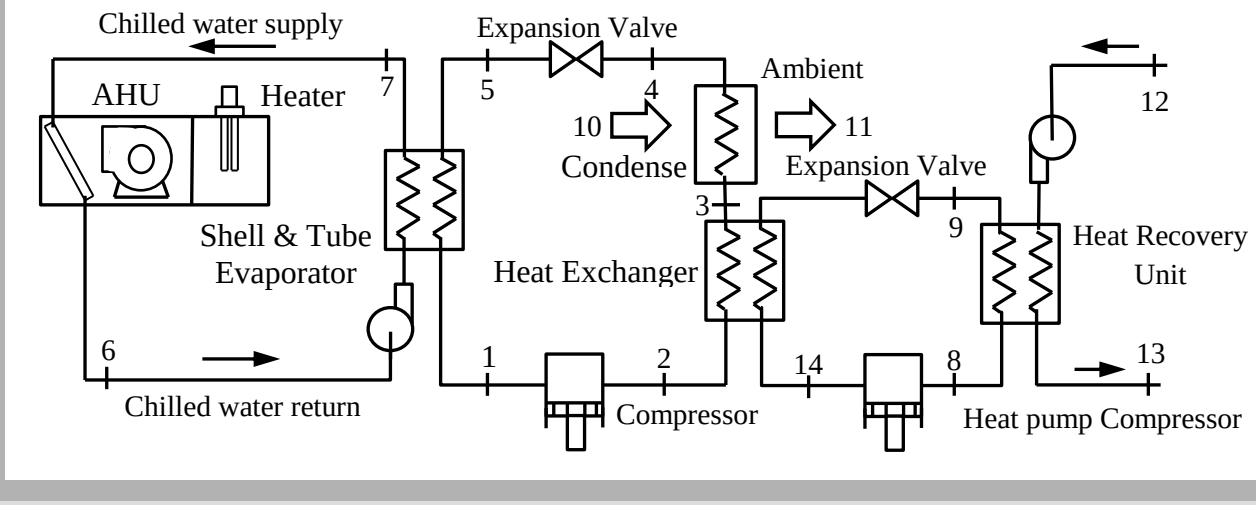
อุปกรณ์ในชุดทดลอง	ข้อมูลทางเทคนิค
ระบบฮีตปั๊ม	
- เครื่องอัดไอ ชนิดสโคล	2.1 kW
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดแผ่น พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	2.0 m²
- สารทำความเย็น	R-134A

อุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการทดลอง	
ขดลวดความร้อนจำนวน 2 ขด	2 kW ต่อขด

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพระบบของชุดทดลอง ภายในชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำน้ำเย็นและระบบฮีตปั๊มซึ่งทั้งสองระบบใช้สารทำความเย็นแยกออกจากกัน มีหลักการทำงานดังนี้

ระบบทำน้ำเย็นจะเริ่มทำงานจากสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดไอในสถานะไอร้อนยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิสูงไหลเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็นในระบบฮีตปั๊มโดยผ่านทางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 หลังจากนั้นสารทำความเย็นจึงไหลต่อไปยังเครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ เพื่อระบายความร้อนที่เหลือออกแล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวไหลต่อเข้าไปยังวาล์วลดความดัน เพื่อลดความดันและอุณหภูมิลง หลังจากนั้นจึงไหลเข้าไปดูดรับความร้อนจากน้ำเย็นที่กลับจากเครื่องเป่าลมเย็นภายในระบบทำน้ำเย็น และส่งน้ำเย็นออก เพื่อใช้ในการปรับอากาศต่อไป



รูปที่ 2 ระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนปล่อยทิ้งร่วมกับการใช้ฮีตปั๊ม

ส่วนการทำงานของระบบฮีตปั๊มนั้นจะเริ่มจาก สารทำความเย็นในสถานะไอร้อนยวดยิ่งที่ออกจากเครื่องอัดไอไหลออกไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ไหลเข้ามารับความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 แล้วสารทำความเย็นควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลต่อไปยังวาล์วลดความดัน เพื่อลดความดันและอุณหภูมิลงก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลเข้าไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 เพื่อดูดรับความร้อนจากระบบเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนต่อไป

การควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็น จะควบคุมการทำงานโดยการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงด้านท่อสารทำความเย็นกลับเข้าเครื่องอัดไอ ถ้าอุณหภูมิที่ผิวท่อต่ำกว่า 0°C จะตัดการทำงาน และจะต่อการทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิที่ผิวท่อมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 10°C ส่วนการควบคุมการทำงานของระบบฮีตปั๊มนั้น จะใช้วิธีการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อเช่นเดียวกับระบบทำความเย็น แต่อุณหภูมิที่ผิวท่อทางด้านกลับจะต้องมีค่ามากกว่า 15°C จึงจะต่อให้ระบบฮีตปั๊มทำงาน และนอกจากนี้ในระบบฮีตปั๊มยังได้ใช้สวิทช์ควบคุมความดันทั้งทางด้านความดันสูงและความดันต่ำ โดยทางด้านความดันสูงจะควบคุมความดันไม่ให้เกิน 20 bar(g) และทางด้านความดันต่ำจะควบคุมความดันไม่ให้ต่ำกว่า 3 bar(g) โดยในการทดลองจะทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลในขณะที่ระบบทำงานอยู่ในสภาวะคงที่

จะสังเกตได้ว่าในกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำร้อนนั้น ระบบทำความเย็นจะไม่สามารถทำงานได้ถ้าไม่มีเครื่องควบแน่นเดิมของระบบอยู่ เนื่องจากระบบทำความเย็นไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากระบบได้ ดังนั้นจึงยังคงเครื่องควบแน่นเดิมของระบบทำความเย็นเอาไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้ต่อไป

ภายในชุดทดลองได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกบันทึกลงในเครื่องบันทึกข้อมูล

III.วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองนั้นจะทำการทดลองโดยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตั้งแต่ 4, 6, 8, 10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ และเปิดให้ระบบทำน้ำเย็นและระบบฮีตปั๊มทำงานพร้อมกันเพื่อประเมินหาอุณหภูมิน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ อัตราการทำความเย็น และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ นอกจากการควบคุมอัตราการไหลของน้ำแล้วยังได้ทำการจำลองการเพิ่มขึ้นของภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศด้วยการเปิดขดลวดความร้อนจำนวน 1 และ 2 ขด ตามลำดับ

ภาระการทำความเย็นของชุดทดลองนั้น ได้มาจากการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น แล้วนำมาคำนวณดังสมการที่ (1)

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

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

c_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 4.2 $\frac{kJ}{kg\ K}$

V คืออัตราการไหลของน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัดมีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที

ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าออกจากเครื่องทำน้ำเย็น

ตำแหน่ง	ตัวแปรที่ตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	ตำแหน่ง	ตัวแปรที่ตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด
1-5, 8-9	อุณหภูมิของสารทำความเย็น	Thermocouple type K	1, 5, 14	ความดันสารทำความเย็น	Low pressure transducers
6,7	อุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกเครื่องทำน้ำเย็น	RTD type PT100	2, 4, 8	ความดันสารทำความเย็น	High pressure transducers
12, 13	อุณหภูมิน้ำเข้าและออกเครื่องทำน้ำร้อน	RTD type PT100	6, 12	อัตราการไหลน้ำเย็นและน้ำร้อน	Water flow meter
10,11	อุณหภูมิอากาศเข้าและออกเครื่องควบแน่น	RTD type PT100	11	ความเร็วลม	Anemometer
-	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอ	Power meter			

ตารางที่ 2 ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูล

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	ค่าความเที่ยงตรง
1	Thermocouple type K	±1.5°C
2	RTD type PT100	±(0.2% + 0.15)°C
3	Low pressure transducers	±1% of full scale
4	High pressure transducers	±1% of full scale
5	Water flow meter	± (2% down to 0.28)
6	Anemometer	±(2% + 0.2 m/s)
7	Power meter	±0.2%

ตารางที่ 3 ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$COP_R = \frac{Q_e}{W_R} \tag{2}$$

$$COP_H = \frac{Q_h}{W_h} \tag{3}$$

เมื่อ COP_R คือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

COP_H คือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบฮีตปั๊ม

Q_e คือภาระการทำความเย็น, มีหน่วยเป็น kW

Q_h คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำมีหน่วยเป็น kW

W_R คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของระบบทำความเย็นได้จากการตรวจวัดมีหน่วยเป็น kW

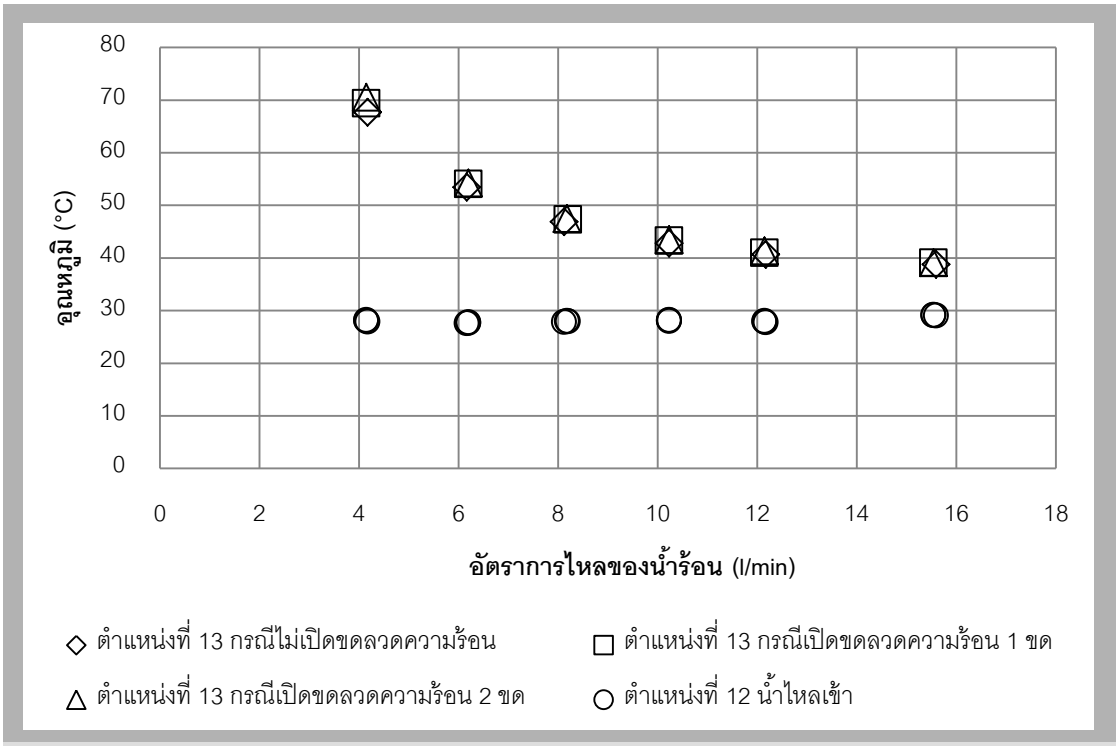
W_h คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอของระบบฮีตปั๊มได้จากการตรวจวัดมีหน่วยเป็น kW

IV. ผลการทดลอง

ผลการตรวจวัดและประเมินความสามารถของระบบทำความเย็นก่อนการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าไปในระบบนั้นพบว่า ระบบทำความเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดไอเท่ากับ 3.02 kW และค่ามีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นเป็น 2.43 โดยที่ระบบทำความเย็นทำงานที่ความดัน 17.34 bar และผลิตน้ำเย็นจ่ายได้ที่อุณหภูมิ 7.49°C และหลังจากติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วนั้นผลที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4 – 7

จากรูปที่ 4 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงจาก 67.7°C เป็น 53.5°C, 46.9°C, 42.8°C, 40.7°C และ 38.8°C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ15.5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศ โดยที่อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่า 28°C

จากรูปจะสังเกตได้ว่าหากทำการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อนมากขึ้นถึงจุดจุดหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำร้อน และเมื่อทำการเพิ่มภาระความร้อนให้กับระบบทำความเย็นนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



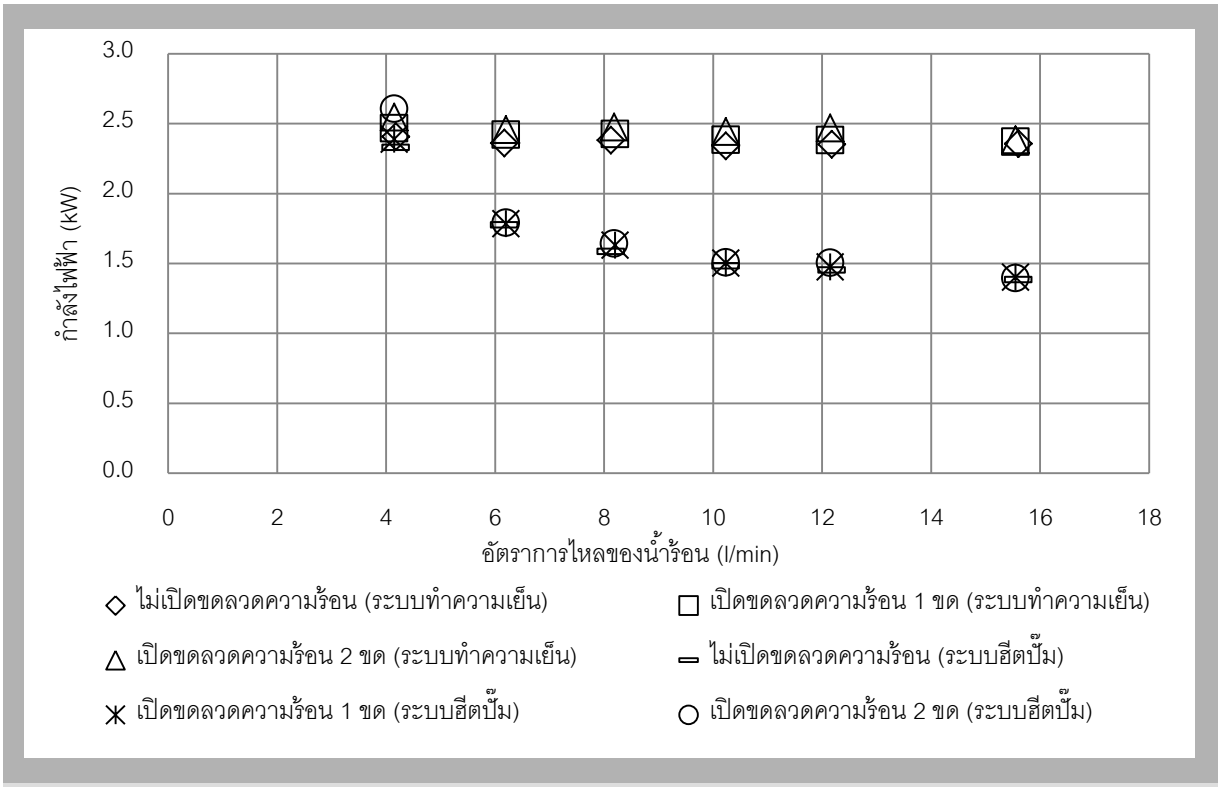
รูปที่ 4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้แปรตามอัตราการไหลของน้ำร้อน

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอในระบบฮีตปั๊มจะมีแนวโน้มเดียวกับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ คือเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอในระบบฮีตปั๊มจะมีค่าลดลงจาก 2.4 kW เป็น 1.8 kW, 1.6 kW, 1.5 kW, 1.5 kW และ 1.4 kW คิดเป็น 25%, 32%, 37%, 38% และ 41% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ เนื่องมาจากความดันทางด้านความดันสูงของระบบฮีตปั๊มที่ค่อยๆ ลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศนั้น กำลังไฟฟ้าในระบบฮีตปั๊มจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และกำลังไฟฟ้าในระบบทำความเย็นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 kW ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 44.5 ของขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอในระบบทำความเย็น (อ้างอิงจากตารางที่ 1) เนื่องมาจากภาระความร้อนของระบบทำความเย็นส่วนหนึ่งได้ถูกถ่ายเทให้กับระบบฮีตปั๊มอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ความดันในระบบทำความเย็นมีค่าคงที่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นพฤติกรรมการแบ่งภาระการทำงานระหว่างระบบทำความเย็นและระบบฮีตปั๊ม และผลจากการเพิ่มภาระความร้อนภายในห้องปรับอากาศนั้นไม่มีนัยสำคัญกับกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอของระบบทำความเย็นมากนัก

รูปที่ 6 แสดงภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นที่ทำได้เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง จากรูปเห็นได้ว่า ภาระการทำความเย็นมีค่าเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เป็นผลเนื่องมาจากระบบทำความเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับระบบฮีตปั๊มและเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศได้หมด ดังนั้นการผลิตน้ำร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนปล่อยทิ้งร่วมกับการใช้ฮีตปั๊ม จึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบทำความเย็น ผลจากการเปิดขดลวดความร้อนอาจจะไม่ส่งผลกระทบกับระบบทำความเย็นมากนักเนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศในบริเวณที่อยู่ใกล้กับขดลวดความร้อน ซึ่งขดลวดความร้อนถูกติดตั้งอยู่บริเวณปลายท่อลมด้านลมกลับเข้าเครื่องเป่าลมเย็นและห่างจากคอยล์เย็นพอสมควร จึงส่งผลให้ความร้อนที่แผ่ออกจากขดลวดความร้อน สูญเสียให้กับอากาศบริเวณปลายท่อลมกลับ มากกว่าที่คอยล์เย็นจะได้รับความร้อนนั้น

รูปที่ 7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นและระบบฮีตปั๊มเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 7 เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ค่า COP_H ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 6.4, 6.8, 7.2, 7.6 และ 7.7 คิดเป็น 27.5%, 35.7%, 43.9%, 51% และ 52.9% ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8,

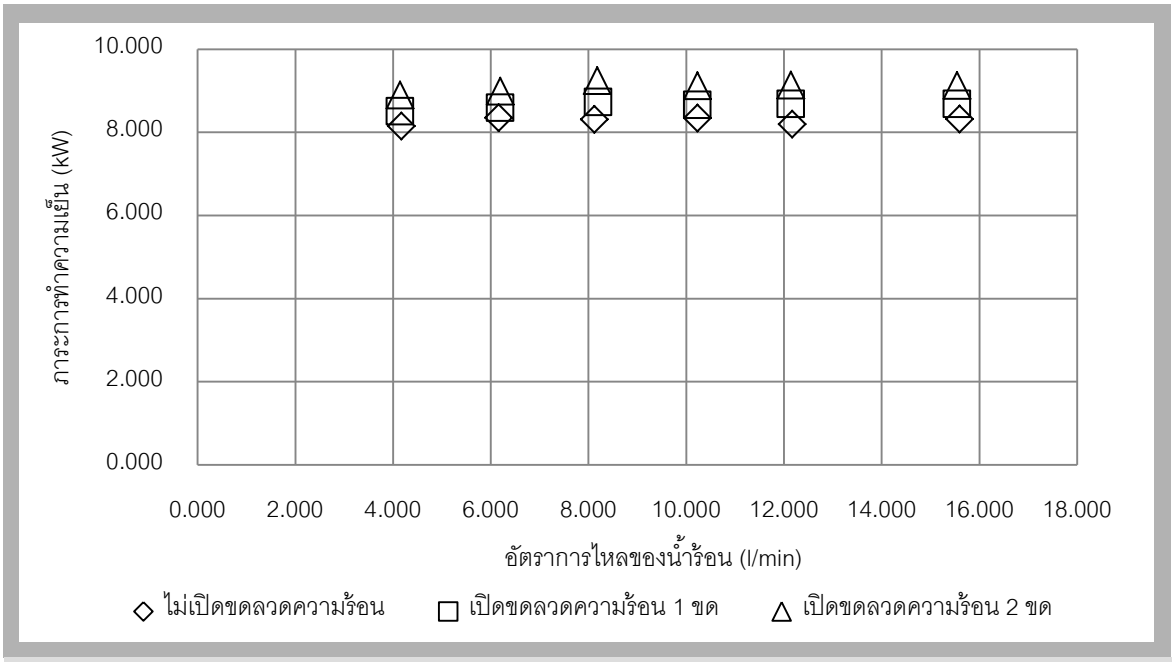
10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ค่า COP_H ที่เพิ่มขึ้นมานั้นเป็นผลเนื่องมาจาก ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำร้อนนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอก็มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่า COP_H ของระบบฮีตปั๊มมีค่าสูงขึ้น ทั้งในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มและมีการเพิ่มภาระความร้อน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นนั้นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 เป็นผลเนื่องมาจากภาระการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงส่งผลให้ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นมีค่าคงที่



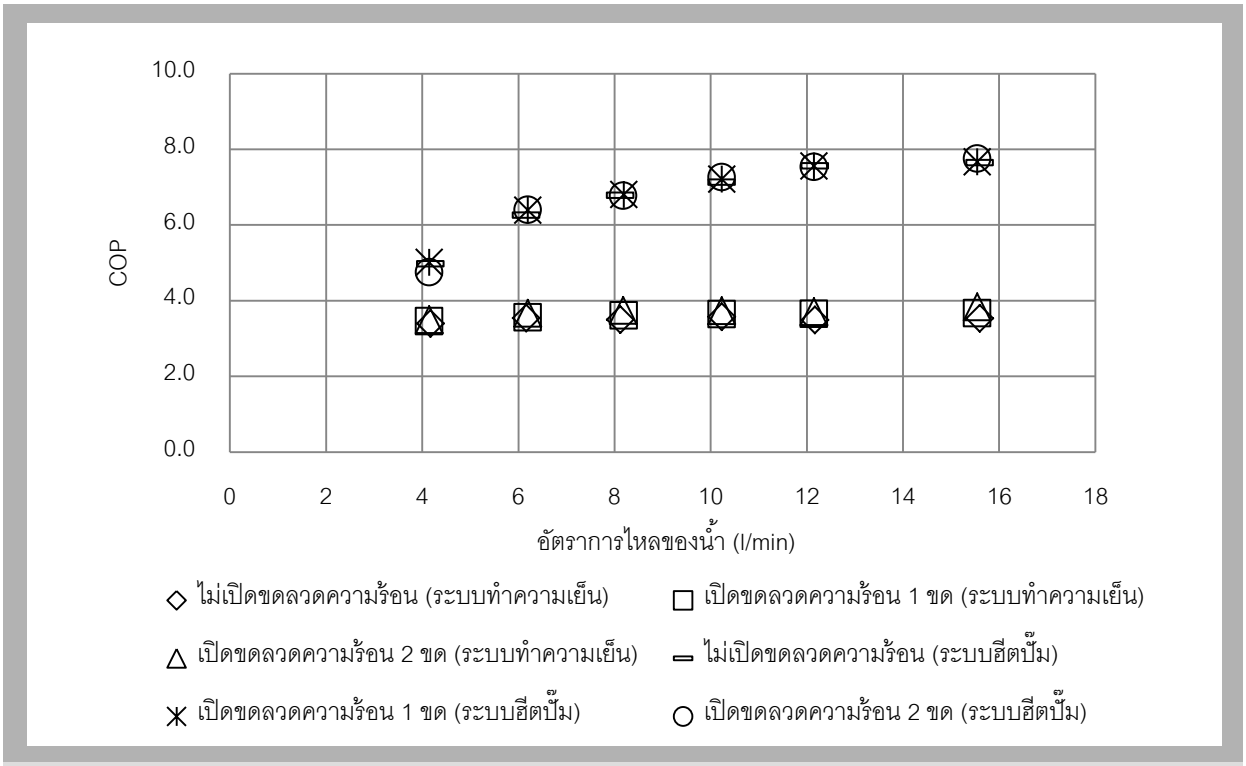
รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอแปรตามอัตราการไหลของน้ำร้อน

V. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นั้น จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิน้ำร้อนและกำลังไฟฟ้าในเครื่องอัดไอในระบบฮีตปั๊มมีค่าลดลง และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบฮีตปั๊มจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.01 เป็น 6.39, 6.77, 7.21, 7.56 และ 7.66 ที่อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 4, 6, 8, 10, 12 และ 15.5 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ส่วนในระบบการทำความเย็นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบสามารถทำความเย็นได้ปกติ เนื่องมาจากระบบทำความเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนที่รับเข้ามาให้กับระบบฮีตปั๊มได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความดันในระบบทำความเย็นมีค่าคงที่ ทำให้ระบบทำความเย็นสามารถทำความเย็นได้ปกติและในขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็มีค่าคงที่เช่นกัน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นมีค่าคงที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 6 ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแปรตามอัตราการไหลของน้ำร้อน



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบแปรตามอัตราการไหลของน้ำร้อน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำร้อนในลักษณะแปรผกผัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำร้อนถึงค่าค่าหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของน้ำร้อนก็จะมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าค่าหนึ่ง และในทิศทางเดียวกันกำลังไฟฟ้าของระบบฮีตปั๊มก็จะแปรผกผันตามอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับอุณหภูมิของน้ำร้อน

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับความสามารถของระบบทำความเย็นเดิมก่อนการปรับปรุงพบว่า ระบบทำความเย็นใช้กำลังไฟฟ้าในการอัดไอลดลงร้อยละ 20.53 และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 48.15 ซึ่งหลังจากปรับปรุงระบบทำความเย็นนั้น ความดันด้านสูงในระบบจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.8 bar และระบบสามารถผลิตน้ำเย็นจ่ายให้กับเครื่องเป่าลมเย็นที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 7.5°C

มีข้อเสนอแนะว่า ในทางปฏิบัติควรมีระบบถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำร้อน เพราะเนื่องจากการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แทรกเข้าไประหว่างเครื่องอัดไอและเครื่องควบแน่นในระบบทำความเย็นนั้น จะส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นลดลง และสร้างความดันตกคร่อมในท่อทางด้านอัดของระบบทำความเย็น ส่งผลให้ระบบมีความดันสูงขึ้น และใช้กำลังในการอัดไอเพิ่มมากขึ้น

VI. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนสถานที่ ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติและสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนงบประมาณและอุปกรณ์ ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยนี้

บรรณานุกรม

[1] ฐิติพร ถมยาพิทักษ์. 2545. การทำน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและพัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] ปราโมทย์ สายประดิษฐ์. 2545. การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มในบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและพัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, ต่อศักดิ์ จันทร์ทัน, ฑณวรรธน์ โชติวงษ์, สมิต เจริญเวทย์วุฒิ. 2550. ระบบการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กมาทดแทนการใช้ไฟฟ้าในการทำน้ำอุ่นในบ้านพักอาศัย. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 2550 : 355-360

[4] สาธิต ทูลไธสง, เด่นพงษ์ สุดภักดี. 2550. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยฮีตปั๊มโดยผสมผสานการนำความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาใช้ของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษา. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 2550 : 75-82.

[5] อาทิตย์ ไชยอรนันท์. 2543. การทำน้ำร้อนด้วยฮีตปั๊ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและพัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] 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) : 1789-1803.

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