



การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนด้วยชุด พรีคูลลิ่งคอนเดนเซอร์จากน้ำเย็นที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ Performance Enhancement of a Split-Type Air- Conditioner by Pre-Cooling Condenser Unit with Evaporator Condensate

วรสิษฐ์ ตรูทัศนวินท์ และ รุ่ง กิตติพิชัย

Worrasid Trutassanawin and Rung Kittipichai

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.พุทธมณฑล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์: 02-889-2138 ต่อ 6416 โทรสาร: 02-889-2138 ต่อ 6429

Email: egsts@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยติดตั้งระบบพรีคูลลิ่งคอนเดนเซอร์แบบแผ่นดูดซับ และใช้น้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ ช่วยในการลดอุณหภูมิของอากาศ ก่อนที่จะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศขนาด 2 ตันความเย็น พบว่า เครื่องปรับอากาศที่มีระบบพรีคูลลิ่งคอนเดนเซอร์มีความสามารถในการทำความเย็น (Cooling capacity) เพิ่มขึ้น 11.2 – 13.9 % และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER, Energy Efficiency Ratio) เพิ่มขึ้น 22.6 – 30.2 % โดยมีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 9 – 10 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิระหว่าง 1,149 – 1,990 บาท และอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายระหว่าง 1.20 – 1.35 สำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C – 36°C

ABSTRACT

In this research, performance enhancement of a split-type air conditioner was studied by using an absorbed condenser pre-cooling system. The ambient air was drawn to exchange heat with the evaporative condensate at the absorbed pre-cooling pad installed before a condenser. Then, the lower temperature air flew to exchange heat with refrigerant at the condenser. The air conditioning unit used in this study had a cooling capacity of 24,000 Btu/hr. The air conditioning unit with evaporative condensate pre-cooling condenser was tested by varying the ambient air temperature from 30°C – 36°C. The tested results showed that the cooling capacity and energy efficiency ratio were increased approximately 11.2 – 13.9% and 22.6 – 30.2%, respectively. The payback period was ranged from 9 – 10 months, while the net present value was varied from 1,149 – 1,990 baht, and the benefit cost ratio was between 1.20 – 1.35.

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้แนวโน้มความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี โดยจากรายงานสรุปสถานการณ์ความต้องการไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [1] พบว่าในปีพ.ศ.2551 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 22,586 เมกะวัตต์ โดยเพิ่มขึ้น 7.23 % จากปีที่แล้ว โดยเหตุผลหลักของการเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 146,879.07 kWh คิดเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.43 %

ในปี พ.ศ. 2541 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ คิดเป็น 24 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในที่อยู่อาศัย และคิดเป็น 68 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม [2] และตั้งแต่กันยายน ปีพ.ศ.2538 เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เริ่มเป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยมีเครื่องปรับอากาศขนาดตั้งแต่ 6,000 ถึง 32,000 Btu/hr ที่ได้รับการติดฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพกว่า 120 เครื่องหมายการค้าเป็นจำนวนมากกว่า 700 รุ่น ซึ่งช่วยลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ [3]

โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากชนิดหนึ่งคือ เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับภาวะอากาศภายในอาคารบ้านเรือน ที่พักอาศัย สำนักงาน ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะพัฒนาและปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้น้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ ช่วยในการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้นและช่วยให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ (Condensing Temperature) มีค่าลดลง ทำให้คอมเพรสเซอร์สิ้นเปลือง

พลังงานไฟฟ้าลดลง และทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และยังทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของสภาวะอากาศที่มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็นกับอากาศที่คอนเดนเซอร์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Suri, Al-Marafie และ Maheswari [4] ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้น้ำในการระบายความร้อน (Water-Cooled Air Conditioning System for Energy and Power Saving) โดยทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำ และอากาศในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ โดยระบบปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบทำความเย็นแบบซิลเลอร์ (Chiller) ทำการวัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอด 24 ชั่วโมง ในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ.1988 พบว่าระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่า 40 % และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า 25 % เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ

Mathur และ Kaushik [5] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบการระเหยของน้ำ (Pre-cooling system) ในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศของระบบปรับอากาศชนิดอัดไอ เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถของอากาศ ในการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ และเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในเมือง New Delhi โดยในการศึกษาได้ใช้เครื่องปรับอากาศแบบเป็นชุด ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air – cooled package unit) ขนาด 62.2 ตัน ความเย็น หรือ 314,000 บีทียู/ชั่วโมง โดยทำการทดสอบระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ปี ค.ศ.1991 โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของเมือง New Delhi ในการ

คำนวณหาความสามารถในการทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ และค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้ใช้ระบบการระเหยของน้ำพบว่า ในเดือนพฤษภาคมสามารถประหยัดพลังงานเฉลี่ยต่อวันได้ 56.58 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เดือนกรกฎาคมสามารถประหยัดได้ถึง 57.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 32 ลิตรต่อวันต่อตันความเย็น

Watt และ Lincoln [6] ได้ทำการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนของภูมิอากาศ และการเพิ่มขึ้นของอีแวปอเรเตอร์ในการทำความเย็น (Climatic changes and rising markets for evaporator cooling) จากการศึกษาพบว่าการใช้ระบบการระเหยของน้ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยในการศึกษาได้ใช้การระเหยของน้ำในการผสมกับอากาศ (Make up air) ก่อนนำไปใช้ในห้องเพื่อใช้ในการระบายอากาศ และใช้ในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นการลดการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศได้ 5-30 % ตามลำดับ

Munters Corporation [7] ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ตั้งแต่ 40 ตันขึ้นไป โดยการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ซึ่งทำให้คอนเดนเซอร์สามารถระบายความร้อนได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการลดลงของความดันของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ และการลดลงของอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ของระบบ ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ในขณะที่ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ยังเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน ปลอดภัย น่าเชื่อถือ ต้องการการดูแลรักษาน้อย สามารถตรวจวัดและทำนายผลได้อย่างถูกต้อง โดยระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ทั้งด้านพาณิชย์ อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ซึ่งประกอบด้วยอีแวปอเรทีฟคูลเลอร์ (Evaporative cooler) จะถูกติดตั้งก่อน

คอนเดนเซอร์ โดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ น้ำจะไหลในแนวตั้งจากด้านบนสู่ด้านล่าง ผ่านตัวกลางชนิดพิเศษที่มีโครงสร้างเป็นชั้นลูกฟูก (Cross-corrugated layers) ที่มีลักษณะกระตวัดและแข็งแรง ในขณะที่อากาศจะถูกดูดโดยพัดลมของคอนเดนเซอร์ให้ไหลแบบตั้งฉาก (Cross flow) กับทิศทางการไหลของน้ำ โดยน้ำจะทำหน้าที่รับความร้อนจากอากาศและทำให้น้ำระเหยตัวเป็นไอ ทำให้อากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิลดลง โดยน้ำที่ระเหยเป็นไอจะไม่ไปเกาะและสะสมตัวที่ผิวของกริบของคอนเดนเซอร์และมีผลทำให้คอนเดนเซอร์มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง

Colorado Spring Utilities [8] ได้ทำการศึกษาและพบว่าประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม โดยทั่วไปพบว่าการทำงานของอีแวปอเรทีฟฟริคูลิ่ง (Evaporative cooling system) มาใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ จะช่วยให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณ 1.0-1.5% สำหรับการลดลงของอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทุกๆ 1°F และสำหรับอากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 95°F ระบบฟริคูลเลอร์ (Pre-cooler) จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงเหลือเท่ากับ 70°F ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ไม่น้อยกว่า 25% โดยความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้ระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ (Pre-cooling condenser system) จะเหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ 50 ton ขึ้นไป

Shah [9] ได้ทำการศึกษาและประเมินผลของการใช้ระบบคอนเดนเซอร์ฟริคูลิ่งที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยในการทดสอบใช้คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (Hermetic compressor) ขนาด 3 ton และเปรียบเทียบผลระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่า สำหรับระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเท่ากับ 45°C ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะจะลดลงน้อยกว่า 8.0 ในขณะที่ระบบคอนเดนเซอร์ฟริคูลิ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์

สมรรถนะมากกว่า 13.0 เนื่องมาจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศมีค่าเท่ากับ 26°C ทำให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ลดลง โดยที่ระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะลดลงมากกว่า 65% และมีความสามารถในการทำความเย็นลดลงมากกว่า 43% ข้อดีของระบบคอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำโดยใช้หอทำความเย็น (Cooling tower) คือ ระบบคอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่งจะมีปริมาณการใช้น้ำน้อยกว่า 40 ลิตรต่อตันต่อวัน ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำโดยใช้หอทำความเย็นที่มีปริมาณการใช้น้ำประมาณ 200 ลิตรต่อตันต่อวัน นอกจากนี้ระบบคอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่งยังมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ เนื่องจากระบบคอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่งไม่จำเป็นต้องมีหอทำความเย็น ปั๊มน้ำขนาดใหญ่ และระบบท่อเพิ่มเติม แต่ข้อเสียของระบบคอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่งคือน้ำที่ระเหยจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจะไปจับตัวที่ผิวครีปของคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำให้คอนเดนเซอร์สกปรก และมีประสิทธิภาพในการถ่ายความร้อนลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์กั้นจัดละอองน้ำชนิด Wood wool pad ระหว่างอุปกรณ์คอนเดนเซอร์ฟรีคูลลิ่งกับคอนเดนเซอร์ เพื่อช่วยลดการดูแลรักษา ทำความสะอาด และเป็นการยืดอายุการใช้งานของคอนเดนเซอร์

วีระวุฒิ อรุณวรรณ [10] ได้ศึกษาการปรับปรุงการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ ชนิดแยกส่วนขนาด 12,000 Btu/hr โดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ดัดแปลงมาจากระบบแบบหยดน้ำมาช่วยในการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์ โดยในการทดสอบเครื่องปรับอากาศมีการเปรียบเทียบกับค่าต่างๆ ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน พบว่า ในช่วงเวลากลางวันโดยเฉลี่ยมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่า 8.5% กำลังไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 8.2% และ

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 11.7% ส่วนในช่วงเวลากลางคืนโดยเฉลี่ยมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่า 2.9% กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงเท่ากับ 9.9% และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 32.9% และจากการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 2,709.5 บาท อัตราผลตอบแทนมีค่าเท่ากับ 34.11% และมีระยะเวลาคืนทุนมีค่าเท่ากับ 2.85 ปี

สุกิจ ช่วยเนื่อง [11] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ด้วยอากาศเปียกของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนขนาด 12,000 Btu/hr โดยทำการดัดแปลงคอนเดนเซอร์ชนิดและนำระบบการระเหยของน้ำมาช่วยในการลดอุณหภูมิอากาศก่อนไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ และทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุง การประเมินค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ และหาสภาวะที่เหมาะสมของชุดทำความเย็นแบบระเหย โดยเลือกใช้เส้นเชือกไนลอนเป็นอุปกรณ์เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8 mm ระยะห่างระหว่างเส้นเชือกในแนวตั้งฉากกับการไหลเท่ากับ 2 cm และระยะห่างระหว่างเส้นเชือกในแนวเดียวกับการไหลเท่ากับ 1 cm โดยจัดวางแนวเส้นเชือกแบบทแยงจำนวน 4 แถวเท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด พบว่าเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุง ในช่วงเวลากลางวันโดยเฉลี่ยมีค่าประสิทธิภาพสมรรถนะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.5% กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงเท่ากับ 26.4% และจากการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 2,311.75 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 29.63% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.34 ปี

มนัญ สุขตลอดกาล [12] ได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ด้วยน้ำและอากาศ เพื่อต้องการที่จะลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยพบว่าการติดตั้งเทอร์โมสตัทไว้ที่ตำแหน่งอุณหภูมิเท่ากับ 25°C หลังการปรับปรุงมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เท่ากับ 26.72% กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยลดลงเท่ากับ 14.17% อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.92% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 2,104.39 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 29.14% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.27 ปี กรณีตั้งเทอร์โมสตัทไว้ที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 26°C หลังการปรับปรุงมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 20.77% กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยลดลงเท่ากับ 13.45% อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.04% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1,643.42 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 26.20% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.58 ปี และกรณีตั้งเทอร์โมสตัทไว้ที่ตำแหน่งอุณหภูมิ 27°C หลังการปรับปรุงมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18.79% กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยลดลงเท่ากับ 12.93% อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.01% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1,628.57 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 26.10% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.59 ปี

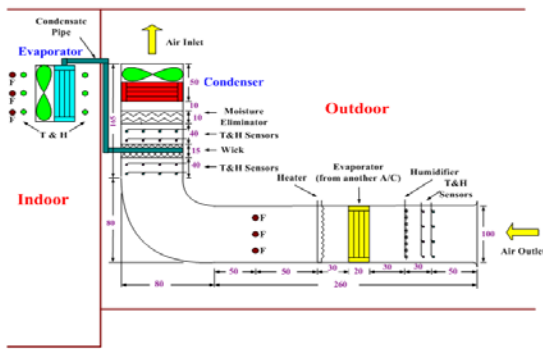
ชนวรา ทองล้วน [13] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยการฉีดย่น้ำ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการฉีดย่น้ำมีค่ามากกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบเท่ากับ 15% และสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18% ส่วนเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบเท่ากับ 16% และสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 20% ส่วนผลการทดสอบจากห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐาน ได้ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบเท่ากับ 9% ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6% และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 16%

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา และทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดอัดไอ (Vapor Compression Split-Type Air Conditioner) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ในงานวิจัยนี้เลือกที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ โดยการติดตั้งระบบพริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมก่อนที่จะผ่านไประบายความร้อนให้สารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ ในการทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมระหว่าง 30-36°C และ 45±5% RH ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศระหว่าง 23-27°C และคำนวณเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Power Consumption) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Energy Consumption) ของคอมเพรสเซอร์และระบบ

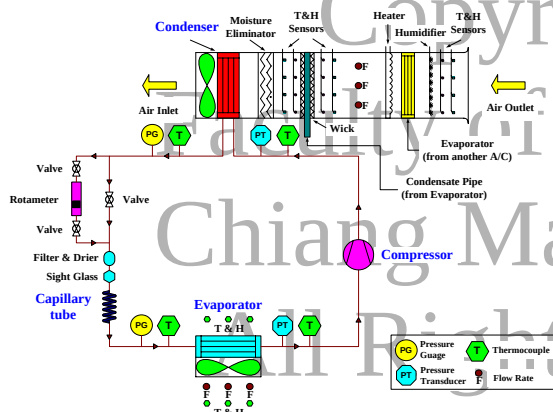
3.1 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิดอัดไอที่ใช้ในการทดสอบ มีขนาดทำความเย็น 24,000 Btu/hr ซึ่งประกอบด้วยอีแวปอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์แบบครีบบและท่อ (Fin and Tube Heat Exchanger) คอมเพรสเซอร์แบบปิด (Hermetic Compressor) และอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็นแบบออริฟิส โดยใช้สารทำความเย็น R-22 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงคอนเดนเซอร์ โดยการติดตั้งระบบพริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดูดซับน้ำ (Water Absorbed Pad) ที่รับน้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ ซึ่งได้จากการลดความชื้นของอากาศในห้องปรับอากาศ มาหยดลงบนแผ่นดูดซับน้ำที่ติดตั้งที่ด้านหน้าของคอนเดนเซอร์ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของอากาศก่อนที่จะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ โดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งระบบพริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ระบบพรีคูลิ่งคอนเดนเซอร์

ระบบพรีคูลิ่งคอนเดนเซอร์ถูกติดตั้งภายในอุโมงค์ลม เพื่อที่จะสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้เครื่องปรับอากาศอีกชุดและขดลวดความร้อน อุปกรณ์เพิ่มความชื้น และทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ โดยตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์วัดสำหรับด้านอากาศและสารทำความเย็นมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนเข้าและหลังจากจากแผ่นดูดซับน้ำ อุณหภูมิและความชื้นก่อนเข้าและหลังจากจากคอนเดนเซอร์ อัตราการไหลของอากาศ รวมทั้งการวัดค่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ด้านเข้าและออกของแต่ละอุปกรณ์ อัตราการไหลของสารทำความเย็น กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์และระบบ พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองของคอมเพรสเซอร์และระบบ



รูปที่ 2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ระบบพรีคูลิ่งคอนเดนเซอร์และอุปกรณ์วัดต่างๆ

3.2 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ระบบพรีคูลิ่งคอนเดนเซอร์จะควบคุมอากาศแวดล้อมที่ภายนอกห้องปรับอากาศเท่ากับ 30, 32, 34, และ 35°C ตามลำดับ และอากาศภายในห้องปรับอากาศเท่ากับ 25±2°C ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50±5 % โดยทำการทดสอบระหว่าง 9:00-15:00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยใช้เครื่องเก็บและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ในการทดสอบที่แต่ละสภาวะเงื่อนไขจะทำการซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบ

3.3 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ระบบพรีคูลิ่งคอนเดนเซอร์จะต้องคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

ความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity) ด้านสารทำความเย็นและด้านอากาศ สามารถคำนวณโดย

$$\dot{Q}_{evap,r} = \dot{m}_r (h_{evap,o} - h_{evap,i}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{evap,a} = \dot{m}_{a,e} (h_{e,a,o} - h_{e,a,i}) \quad (2)$$

อัตราการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ (Condenser heat rejection rate) ของสารทำความเย็นและอากาศ สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3) และ (4)

$$\dot{Q}_{cond,r} = \dot{m}_r (h_{cond,i} - h_{cond,o}) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{cond,a} = \dot{m}_{a,c} (h_{c,a,i} - h_{c,a,o}) \quad (4)$$

กำลังงานที่สารทำความเย็น ได้รับจากคอมเพรสเซอร์มีค่าเท่ากับ

$$\dot{W}_{comp,r} = \dot{m}_r (h_{comp,o} - h_{comp,i}) \quad (5)$$

กำลังไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองทั้งหมดของระบบ (Total power consumption) สามารถคำนวณดังนี้ โดยที่เวลาที่ใช้ทดสอบ คือ

$$\Delta t_{tot} = \Delta t_{comp,run} + \Delta t_{comp,stop} \quad (12)$$

$$\dot{W}_{tot} = \dot{W}_{comp,elec} + \dot{W}_{cond,fan} + \dot{W}_{evap,fan} \quad (6)$$

ประสิทธิภาพโดยรวมของคอมเพรสเซอร์ซึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่สารทำความเย็นได้รับจากคอมเพรสเซอร์กับกำลังงานไฟฟ้าที่ให้คอมเพรสเซอร์ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PB) คือ ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุน เพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไป โดยที่

$$\eta_{comp,o} = \frac{\dot{W}_{comp,r}}{\dot{W}_{comp,elec}} \quad (7)$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{พลังงานที่ประหยัดได้}} \quad (13)$$

สัมประสิทธิ์สมรรถนะทางทฤษฎี (Theoretical Coefficient of Performance, COP_{th}) และ สัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวม (Overall Coefficient of Performance, $COP_{overall}$) สามารถคำนวณโดย ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดพลังงานในรูปของเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน

$$COP_{th} = \frac{\dot{Q}_{evap,r}}{\dot{W}_{comp,r}} = \frac{(h_{evap,o} - h_{evap,i})}{(h_{comp,o} - h_{comp,i})} \quad (8)$$

$$NPV = \text{Benefit at Present worth} - \text{Cost at Present worth} \quad (14)$$

$$COP_{overall} = \frac{\dot{Q}_{evap,r}}{\dot{W}_{tot}} = \frac{(h_{evap,o} - h_{evap,i})}{\dot{W}_{tot}} \quad (9)$$

โดย Benefit at Present Worth เป็นตัวเลขที่แสดงถึงตัวเลขทางการเงินที่แสดงถึงผลประโยชน์ของโครงการในทางเศรษฐศาสตร์ที่เวลาปัจจุบัน และ Cost at Present Worth เป็นตัวเลขที่แสดงถึงตัวเลขทางการเงินที่แสดงถึงรายจ่ายหรือเงินลงทุนของโครงการในทางเศรษฐศาสตร์ที่เวลาปัจจุบัน

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) สามารถคำนวณดังนี้

$$EER = \frac{\dot{Q}_{evap} \text{ (Btu/hr)}}{\dot{W}_{tot} \text{ (W)}}$$

$$P = F / (1+i)^n \quad (15)$$

$$EER = \frac{\dot{Q}_{evap} \text{ (W)}}{\dot{W}_{tot} \text{ (W)}} \times \left| \frac{3,412 \text{ Btu/hr}}{\text{W}} \right| \quad (10)$$

โดยที่ P คือ ค่าเงินปัจจุบัน หรือเงินต้น (Present Worth)

F คือ จำนวนเงินในอนาคต (Future Worth)

i คือ อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate)

โดยที่ i = 6.875%

n คือ จำนวนครั้งที่คิดดอกเบี้ย (Number of

Interest Periods) ซึ่งมักนิยมคิดเป็น

จำนวนปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบ (Total energy consumption) สามารถคำนวณดังนี้

$$kWh_{tot} = (\dot{W}_{comp,elec} \cdot \Delta t_{comp,run}) + [(\dot{W}_{cond,fan} + \dot{W}_{evap,fan}) \cdot \Delta t_{tot}] \quad (11)$$

อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย (Benefit Cost Ratio, B/C ratio) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์พลังงาน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน}} \quad (16)$$

โดยถ้าอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ใช้ระบบฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ โดยใช้ น้ำเย็นที่กลั่นตัวจากอีแวปโปเรเตอร์ในการลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมก่อนที่จะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ โดยจากการวัดค่าอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าและออกของแต่ละอุปกรณ์ ทำให้ทราบค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นที่แต่ละจุด และสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุปกรณ์และประสิทธิภาพของระบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีระบบที่มีฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์กับเครื่องปรับอากาศระบบที่มีฟริคูลิ่งคอนเดนเซอร์ ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 1 และ 2 ที่แสดงสภาวะของอากาศที่ด้านเข้าและออกของคอนเดนเซอร์และอีแวปโปเรเตอร์ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สภาวะของอากาศที่คอนเดนเซอร์

ลำดับ	$T_{ai,pc}$ (°C)		$RH_{ai,pc}$ (%)		$T_{ai,cond}$ (°C)		$T_{ao,cond}$ (°C)	
	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC
1	36.3	36.3	45.1	41.4	36.3	29.7	56.6	53.1
2	34.2	34.2	44.4	42.5	34.2	29.2	54.3	53.0
3	32.2	32.2	43.2	45.2	32.2	28.4	52.2	52.7
4	30.3	30.3	48.6	47.7	30.3	28.0	53.1	52.3

ตารางที่ 2 สภาวะของอากาศที่อีแวปโปเรเตอร์

ลำดับ	$T_{ai,evap}$ (°C)		$T_{ao,evap}$ (°C)		$T_{cw,evap}$ (°C)	
	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC
1	25.4	25.2	9.7	9.1	-	14
2	25.3	25.1	9.5	8.8	-	15
3	25.3	25.2	9.4	8.7	-	15
4	25.4	25.2	9.1	8.5	-	14

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็น โดยการควบคุมอากาศภายในห้องปรับอากาศเท่ากับ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ $50 \pm 5\% \text{RH}$ อุณหภูมิของน้ำที่กลั่นตัวที่อีแวปโปเรเตอร์ที่ใช้หยดลงบนแผ่นดูดซับน้ำมีค่าระหว่าง $10\text{--}15^\circ\text{C}$ และอัตราการไหลของสารทำความเย็นมีค่าเท่ากับ 27 g/s ตามลำดับ

ตารางที่ 3 อุณหภูมิของสารทำความเย็น

ลำดับ	$T_{ro,evap}$ (°C)		$T_{ri,cond}$ (°C)		$T_{ro,cond}$ (°C)	
	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC
1	11.7	18.1	101.0	99.6	53.6	47.1
2	11.8	16.9	100.8	98.5	53.5	45.7
3	11.8	16.0	99.1	97.2	51.8	45.7
4	11.9	15.0	95.5	96.9	50.2	44.2

จากข้อมูลการทดสอบโดยการแปรเปลี่ยนค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเท่ากับ 30, 32, 34, และ 35°C ตามลำดับ และใช้สมการที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็น กำลังไฟฟ้ารวม ซูเปอร์ฮีทและซับคูลิ่งของสารทำความเย็น สัมประสิทธิ์สมรรถนะ และอัตราส่วนพลังงานดังแสดงในตารางที่ 4 ถึง ตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ความสามารถในการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้า บาทต่อปี และอายุใช้งานของแผ่นดูดซับและเครื่องปรับอากาศโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3 และ 8 ปี ตามลำดับ

ลำดับ	$\dot{Q}_{cooling}$ (kW)		$\Delta\dot{Q}_{cooling}$ (%)	$\dot{W}_{tot}$ (kW)		$\Delta\dot{W}_{tot}$ (%)
	ไม่มี PC	มี PC		ไม่มี PC	มี PC	
1	12,867	14,652	13.9	1.34	1.21	-9.6
2	12,891	14,756	14.5	1.34	1.21	-9.6
3	13,157	14,744	12.1	1.34	1.21	-10.3
4	13,403	14,90	11.2	1.34	1.20	-10.4

ตารางที่ 7 ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย

T_a (°C)	PB (ปี)	NPV (บาท)	B/C Ratio (-)
36	0.832	1,149	1.20
34	0.832	1,149	1.20
32	0.759	1,812	1.32
30	0.741	1,990	1.35

ตารางที่ 5 ชุมเปอร์สัทและสัมประสิทธิ์ของสารทำความเย็น

ลำดับ	ΔT_{sup} (°C)		ΔT_{sup} (%)	ΔT_{sub} (°C)		ΔT_{sub} (%)
	ไม่มี PC	มี PC		ไม่มี PC	มี PC	
1	11.4	18.3	6.9	0.2	6.6	6.3
2	11.7	17.4	5.6	0.2	7.9	7.6
3	13.6	18.3	4.7	1.7	7.7	6.0
4	15.2	19.0	3.7	3.0	8.6	5.6

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนที่ใช้ระบบฟริคูตลิ่งคอนเดนเซอร์ร่วมโดยใช้น้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมก่อนที่จะผ่านไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์พบว่า ระบบฟริคูตลิ่งคอนเดนเซอร์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น 6 – 9°C และค่าชุมเปอร์สัทของสารทำความเย็นที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์เพิ่มขึ้น 4 – 7°C ซึ่งทำให้ความดันของสารทำความเย็นทั้งที่อีแวปอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ลดลง และมีผล

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์สมรรถนะและอัตราส่วนพลังงาน

ลำดับ	COP_{refrig} (-)		COP_{sys} (-)		EER_{sys} (Btu/W-hr)		ΔEER (%)
	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	ไม่มี PC	มี PC	
1	2.75	3.95	2.28	3.27	7.79	11.17	30.2
2	2.90	4.04	2.40	3.34	8.18	11.4	28.3
3	3.23	4.21	2.56	3.43	8.75	11.7	25.2
4	3.69	4.27	2.72	3.51	9.27	11.97	22.6

ผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย แสดงในตารางที่ 7 โดยมีสมมติฐานว่าเงินลงทุนที่ใช้สำหรับระบบฟริคูตลิ่งคอนเดนเซอร์มีค่าเท่ากับ 1,200 บาท ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 300

ทำให้ความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity) เพิ่มขึ้น 11.2 – 13.9% โดยที่ กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ลดลง 9.6 – 10.4% และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER, Energy Efficiency Ratio) เพิ่มขึ้น 22.6 – 30.2% สำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C ถึง 36°C

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ระบบฟริคูตลิ่งคอนเดนเซอร์ร่วม ค่าความสามารถในการทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมจาก 30°C ถึง 36°C ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะมีค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษา พัฒนา และทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนที่ใช้ระบบฟรีกูลิ่งคอนเดนเซอร์ โดยใช้น้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม ก่อนที่จะผ่านไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 24,000 Btu/hr เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่และมีระบบฟรีกูลิ่งคอนเดนเซอร์ พบว่า ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 11.2 – 13.9% กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ลดลง 9.6 – 10.4% และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น 22.6 – 30.2% ในการทดสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมระหว่าง 30-36°C และ 45 ± 5% RH ตามลำดับ และควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศระหว่าง 25 ± 2°C และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50 ± 5%

ในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วนที่ใช้ระบบ ฟรีกูลิ่งคอนเดนเซอร์ พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 9 – 10 เดือน โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิระหว่าง 1,149 – 1,990 บาท และอัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายระหว่าง 1.20 – 1.35 สำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C – 36°C ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศที่ใช้ระบบฟรีกูลิ่งคอนเดนเซอร์ที่ใช้น้ำที่กลั่นตัวจากอีแวปอเรเตอร์ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมก่อนที่จะระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์มีผลทำให้เครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการทำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงได้

6. รายการสัญลักษณ์

COP_{th} สัมประสิทธิ์สมรรถนะทางทฤษฎี, –
 COP_{over} สัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวม, –
 EER อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน, –
 F จำนวนเงินในอนาคต (Future Worth)

h เอนทัลปี, kJ/kg
 i อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) โดยที่ $i = 6.875\%$
 $\dot{m}_r$ อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s
 n จำนวนครั้งที่คิดดอกเบี้ย (Number of Interest Periods) ซึ่งมักนิยมคิดเป็นจำนวนปี
 P ค่าเงินปัจจุบัน หรือเงินต้น (Present Worth)
 Q_{evap} ความสามารถในการทำความเย็น, W
 $\dot{Q}_{cond}$ อัตราการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์, W
 $T_{ai,pre}$ อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าฟรีกูลเลอร์, °C
 $T_{ao,pre}$ อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากฟรีกูลเลอร์, °C
 $T_{ao,cond}$ อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากคอนเดนเซอร์, °C
 $W_{comp,r}$ กำลังที่สารทำความเย็นได้รับจากคอมเพรสเซอร์, W
 $W_{comp,elec}$ กำลังไฟฟ้าเส้นเปลี่ยนของคอมเพรสเซอร์, W
 $W_{cond,fan}$ กำลังไฟฟ้าเส้นเปลี่ยนของพัดลมคอนเดนเซอร์, W
 $W_{evap,fan}$ กำลังไฟฟ้าเส้นเปลี่ยนของพัดลมอีแวปอเรเตอร์, W
 W_{tot} กำลังไฟฟ้าเส้นเปลี่ยนทั้งหมดของระบบ, W

7. สัญลักษณ์กำกับล่าง

a อากาศ
 $comp$ คอมเพรสเซอร์
 $c,cond$ คอนเดนเซอร์
 $e,evap$ อีแวปอเรเตอร์
 $elec$ พลังงานไฟฟ้า
 fan พัดลม
 i ด้านเข้า
 o ด้านออก
 r สารทำความเย็น
 th ทางทฤษฎี
 $tot,over$ รวม หรือทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้เงินทุนสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับสถานที่ทดสอบและบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนร่วมให้งานสำเร็จ ในโครงการวิจัยนี้ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานประจำปี 2550 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
http://pr.egat.co.th/all_work/annual2007/eng/index_eng.htm
- [2] ERM Siam, Energy Efficiency Standard Regime Study, National Energy Policy Office, November, Reference C304198, 1999, p. I-XI.
- [3] โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)
<http://www2.egat.co.th/labelNo5/>
- [4] Suri, K.A., Al-Marafie, A.M.R. and Maheshwari, G.P., "Water-cooled air-conditioning system for energy and power saving", International Journal of Ambient Energy, Vol.10, No.3, 1989, pp. 123-128.
- [5] Mathur, A.C. and Kaushik, S.C., "Energy saving through evaporatively cooled condenser air in convention air-conditioning units", International Journal of Ambient Energy, Vol.15, No.2, 1994, pp. 78-86.
- [6] Watt, J.R. และ Lincoln, A.A., "Climatic changes and rising markets for evaporative cooling", ASHRAE Transactions, 1989, Vol.94, pp. 709-732
- [7] Munters Corporation, "Condenser Pre-cooler," 2003.
[http://www.munters.com/www/Help.nsf/0/043D66282F6A854785256ED10043384C/\\$file/mb-pcb0310.pdf](http://www.munters.com/www/Help.nsf/0/043D66282F6A854785256ED10043384C/$file/mb-pcb0310.pdf).
- [8] Colorado Spring Utilities, "Evaporative Pre-Cooling of Large Air-Cooled HVAC Equipment," 2005. http://www.csu.org/environment/conservation_bus/energy/library/11421.pdf.
- [9] S.H. Shah, "Evaporative Pre-cooling for Air Cooled Condensers," Journal of Air Conditioning and Refrigeration, October-December, ISHRAE, 1998.
<http://www.hvacindia.org.in/journals/1998oct/article06.html>.
- [10] วีระวุฒิ อรุณวรรณ, การปรับปรุงการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์โดยใช้การระเหยของน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหพลศาสตร์ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [11] สุกิจ ช่วยเนื่อง, การหาสถานะที่เหมาะสมเพื่อระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ด้วยอากาศเปียก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหพลศาสตร์ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- [12] มนูญ สุขตลอดกาล, "การระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยใช้น้ำและอากาศเป็นตัวระบาย," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- [13] ธนวรา ทองล้วน, การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.