



วารสารวิทยาศาสตร์ มข. KKU SCIENCE JOURNAL

❖ **วัตถุประสงค์และขอบเขต** วารสารวิทยาศาสตร์ มข. เป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิชาการในกลุ่มสาขา กลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และวิทยาการคอมพิวเตอร์ซึ่งไม่เคยถูกเผยแพร่ หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาให้เผยแพร่ในวารสาร หนังสืออื่นใด โดยแบ่งประเภทของงาน เป็น 2 ประเภท คือ บทความวิจัย (Research Articles) และ บทความวิชาการหรือบทความปริทัศน์ (Review Articles) วารสารวิทยาศาสตร์ มข. มีกำหนดออกปีละ 3 ฉบับ ในรูปแบบของวารสารอิเล็กทรอนิกส์

❖ **กำหนดการออก** ปีละ 3 ฉบับ: ฉบับที่ 1 (ม.ค.-เม.ย.) ฉบับที่ 2 (พ.ค.-ส.ค.) และ ฉบับที่ 3 (ก.ย.-ธ.ค.)

❖ **สถานที่ติดต่อ** วารสารวิทยาศาสตร์ มข. อาคาร SC.06 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์: 043-009700 ต่อ 44886 อีเมล: kku_scijournal@kku.ac.th เว็บไซต์: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ/index>

❖ **ที่ปรึกษา**

ผศ.ดร.อังคณา บุญยี่ต	(คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
รศ.ดร.รจนา บุระคำ	(รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.ประนอม จันทน์โหมทัย	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.เอกพรรณ สวัสดิ์ขิง	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.วิทยา เงินแท้	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.สาธิต แซ่จิ่ง	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

❖ **บรรณาธิการ** รศ.ดร.เมศยา ธิติศักดิ์สกุล (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

❖ **รองบรรณาธิการ**

รศ.ดร.โสภณ บุญสื่อ	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
รศ.ดร.พิมพ์ดี พรพงษ์รุ่งเรือง	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
รศ.ดร.นิมิต นิมาณะ	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
รศ.ดร.ธีระพงษ์ พวงมะลิ	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ผศ.ดร.วุฒิชัย ศรีโสคาพล	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ผศ.ดร.แพรวพรรณ กาสรุณ	(คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

❖ กองบรรณาธิการวิชาการ

ศ.ดร.เกียรติคุณสายสมร ลำยอง	(มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	รศ.ดร.ดวงกมล เป้าวัน	(มหาวิทยาลัยมหิดล)
ศ.ดร.เกียรติคุณดวงพร คันธโชติ	(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)	รศ.ดร.วิภู กุตะนันท์	(มหาวิทยาลัยนเรศวร)
ศ.ดร.สรศักดิ์ ลีรัตนาวลี	(มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)	รศ.ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)
ศ.ดร.สุภา หารทองบัว	(มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)	ผศ.ดร.ฐิตียา เทพารส	(มหาวิทยาลัยมหาสารคาม)
ศ.ดร.กฤษณะ เนียมมณี	(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	รศ.ดร.ธนเศรษฐ์ เสนาวงศ์	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.สันติ แม้นศิริ	(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)	รศ.ดร.เขมิกา ลมไธสง	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.วินิช พรหมอารักษ์	(สถาบันวิทยสิริเมธี)	รศ.ดร.นรากร คณาศรี	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ศ.ดร.รัตติกร ยัมน์ริญ	(สถาบันวิทยสิริเมธี)	ผศ.ดร.ชาคริต พงษ์กิตติวิชกุล	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
รศ.ดร.ศักดิ์ดา คุ้มหรั่ง	(มหาวิทยาลัยมหิดล)	ผศ.ดร.ธนพงศ์ อินทะระ	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ดร.พิณิจ กิจขุนทด	สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)	ผศ.ดร.ทศพล ไชยอนันต์พร	(มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

❖ คณะทำงานประจำกองบรรณาธิการ

นางกิตติยา ค้อชากุล	นางสาวจิราภรณ์ พิมพ์ภูมิ	นางสาวศิริประภา หงษ์ชัยภูมิ	นายสรายุทธ ชินหนองจอก
---------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ซึ่งไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ
และมิได้อยู่ในความรับผิดชอบของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



การศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศ มาเก็บในรูปแบบน้ำเย็น

Technical Study of Extracting Waste Cooling Energy from Air Conditioning System and Storage as Chilled Water

สิริสวัสดิ์ จึ่งเจริญนิรัช^{1*}Sirisawat Juengjaroennirachon^{1*}¹วิชาเอกเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี 15000¹Program in Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, 15000, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมาเก็บในรูปแบบน้ำเย็น ชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ถึงกักเก็บพลังงานความเย็นสร้างจากอุณหภูมิหนา 1 มิลลิเมตร ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 330 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร บรรจุน้ำ 23 ลิตร และหุ้มฉนวนกันความร้อน ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ 1 ชุด โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 260 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 45 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งระหว่างอิวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ ในการทดลองได้ปรับอุณหภูมิระบบปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส และปรับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า น้ำที่บรรจุอยู่ในถังกักเก็บพลังงานมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และน้ำภายในถังจะมีอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าคงที่ จึงรักษาระดับอุณหภูมิไว้ตลอดระยะเวลา ซึ่งน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 18.73 16.36 และ 13.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ยเท่ากับ 4.10 3.81 และ 3.65 กิโลวัตต์ ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1,062.42 1,092.04 และ 1,112.71 วัตต์ ตามลำดับ และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 3.22 และ 3.04 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยนี้ยังพบข้อดีของถังกักเก็บพลังงานความเย็นคือ อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย โดยที่ถังกักเก็บพลังงานความเย็นใช้หลักการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งออกจากสารทำความเย็น ซึ่งน้ำภายในถังจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความเย็นเหลือทิ้งออกจากสารทำความเย็น อีกทั้งจากผลการทดลองนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำเย็นจากถังกักเก็บพลังงานความเย็นมาประยุกต์ใช้งาน เช่น การนำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศก่อนที่จะเปิดระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยให้อากาศภายในห้องเย็นเร็วขึ้น โดยใช้งานร่วมกับระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ หรือนำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าไป

^{*}Corresponding Author, E-mail: sirisawat.j@lawasri.tru.ac.th

Received date: 27 March 2025 | Revised date: 22 May 2025 | Accepted date: 6 June 2025

doi: 10.14456/kkuscij.2025.19

ถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศ โดยวิธีนี้ต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

ABSTRACT

The aim of this research was to perform a technical study on extraction of waste cooling energy from air conditioning system and storage as chilled water. The experimental unit consisted of a vapor compression refrigeration system with a capacity of 3.52 kW (12,000 BTU/hr), and an air-cooled condenser. R-22 refrigerant was used in the system. The cold energy storage tank was made from a 1 mm thick aluminum board and had a diameter of 330 mm and a height of 450 mm. This tank was filled with 23 L of water and wrapped with thermal insulation material. The coiled copper tube with an internal diameter of 15.87 mm, was entwined to a diameter of 260 mm with a 39 mm pitch spacing. The cold energy storage tank was installed between the evaporator and the compressor. During testing, the usual designed room temperature of 25°C was used, and the air conditioning loads were adjusted to 900, 1,800 and 2,200 W, respectively. The results showed that when the initial water temperature at the beginning of the experiment was 25°C, it decreased steadily until it reached a constant value that was maintained throughout the rest of the time period. In the cold energy storage tank, the average cool water temperatures were 18.73, 16.36 and 13.25°C, respectively. The heat transfer rates of condenser were 4.10, 3.81 and 3.65 kW, respectively. The average power consumption of the air conditioning system was 1,062.42, 1,092.04 and 1,112.71 W, respectively. In terms of the coefficient of performance of the system, the values were 3.43, 3.22 and 3.04, respectively. Furthermore, this research has identified advantages of cold energy storage tank, including their uncomplicated equipment and minimal installation space requirements. These tanks operate on the principle of extracting waste cold energy from the refrigerant, with the water within the tank serving to absorb the waste cold energy from the refrigerant. Moreover, the findings from the experiments suggest potential applications for the chilled water stored in cold energy storage tank. For instance, this chilled water can be used to assist in reducing the indoor air temperature before the air conditioning system is turned on, thereby accelerating the cooling process, particularly when combined with evaporative cooling systems. Alternatively, the chilled water can be employed to lower the air temperature before it transfers heat to the condenser, aiming to enhance the efficiency of the air conditioning system. This approach requires the combination of a heat exchanger.

คำสำคัญ: การดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้ง การกักเก็บพลังงาน ระบบปรับอากาศ

Keywords: Extracting Waste Cooling Energy, Energy Storage, Air Conditioning System

บทนำ

เนื่องด้วยสภาวะอากาศในประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงขึ้นทุกขณะ ระบบปรับอากาศจึงถูกนำมาใช้ทั้งในอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัย ระบบปรับอากาศส่วนมากที่นิยมใช้จะเป็นแบบแยกส่วน (Split type) ระบบปรับอากาศมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในบริเวณที่ต้องการปรับอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของมนุษย์ (ไชยณรงค์, 2559) และเมื่อพิจารณาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วจะพบว่า ระบบปรับอากาศเป็นระบบหนึ่งที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูง

พลังงานที่ใช้กับระบบปรับอากาศนับได้ว่าเป็นพลังงานที่มีอัตราการสูญเสียที่มากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอื่น ๆ ภายในอาคารสำนักงาน และที่อยู่อาศัย สิ่งหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้คือการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า หรือนำพลังงานเหลือทิ้งหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System) เป็นอีกระบบหนึ่งที่จะเข้ามาช่วยให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด (Lamrani *et al.*, 2024) จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานในระบบปรับอากาศหลายรูปแบบ เช่น การกักเก็บความเย็นในรูปแบบน้ำแข็งแบบน้ำแข็งอยู่บนผิวรอบนอกของท่อ และการพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานในรูปแบบน้ำแข็งสำหรับการปรับอากาศในโรงเรือน (ธวัชชัยและตามร, 2556; Ezan *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2023) การลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงานและถังแลกเปลี่ยนความร้อน (สิริสวัสดิ์และทวีวัฒน์, 2563) การลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงานร่วมกับชุดท่อความร้อน (Juengjaroennirachon *et al.*, 2017) การใช้ถังกักเก็บพลังงานโดยใช้สารเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินในการกักเก็บความเย็น (นันทพรและคณะ, 2564; ศิริรัตน์และคณะ, 2565; Liang *et al.*, 2024) รวมถึงการใส่สารกันเยือกแข็งสำหรับกักเก็บพลังงานในรูปแบบน้ำเย็น ก็เป็นอีกแนวทางที่สามารถช่วยให้การกักเก็บความเย็นได้ยาวนานขึ้น (สมัญญา, 2560) อีกทั้งการนำความเย็นที่ได้จากการเปลี่ยนไนโตรเจนเหลวให้กลายเป็นไอมาเก็บในรูปแบบน้ำแข็งเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศของโรงงานผลิตนม (ชัยฤทธิ์และไชยณรงค์, 2564) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานนั้นถือเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการช่วยบริหารจัดการด้านพลังงานได้เป็นอย่างดี และเมื่อนำหลักการทางด้านวิศวกรรมมาเกี่ยวข้องจะพบว่า ระบบปรับอากาศมีการทำงานครบวงจร ท่อของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์จะมีความเย็น (ไชยณรงค์, 2559) ซึ่งเป็นพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศ และถ้าหากดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งส่วนนี้มากักเก็บในรูปแบบของน้ำเย็นได้ ก็จะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเชิงเทคนิคในการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็น โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างระบบปรับอากาศและสร้างถังกักเก็บพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศ และศึกษาความเป็นไปได้ในการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็น ซึ่งจากงานวิจัยนี้ หากสามารถดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมาใช้ได้ จะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยน้ำเย็นที่ได้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น นำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศก่อนที่จะเปิดระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยให้อากาศภายในห้องเย็นเร็วขึ้น หรือนำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งจากการประยุกต์ใช้งานน้ำเย็นที่ได้กล่าวมานั้น ส่งผลให้ระบบปรับอากาศใช้พลังงานลดลงและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์ และการออกแบบ

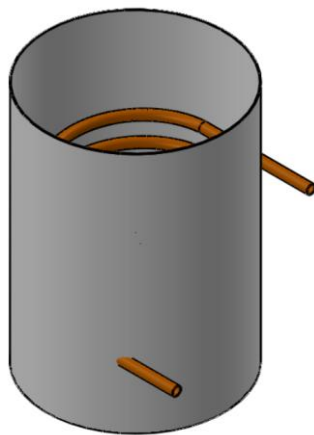
การศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็น ได้ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงดังรูปที่ 1

สร้างถังกักเก็บพลังงานความเย็นจากอลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 330 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร และหุ้มฉนวนกันความร้อน แสดงดังรูปที่ 2 ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 260 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 45 มิลลิเมตร ซึ่งถังกักเก็บ

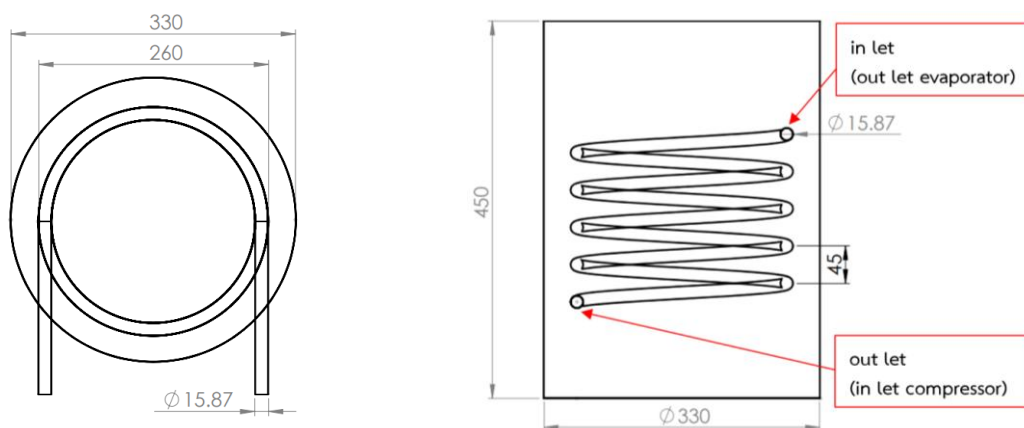
พลังงานความร้อนถูกติดตั้งระหว่างฮีวอเตอร์และคอมเพรสเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3 โดยภายในถังบรรจุน้ำ 23 ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับ (ธวัชชัยและตามร, 2556) ได้การออกแบบและพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานความร้อนในรูปน้ำแข็งสำหรับการปรับอากาศในโรงเรียน โดยได้ออกแบบถึงกักเก็บพลังงานน้ำแข็งบรรจุได้ 320 ลิตร ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.90 มิลลิเมตร และ (สิริสวัสดิ์และทวีวัฒน์, 2563) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน โดยได้ออกแบบถึงกักเก็บพลังงานน้ำแข็งบรรจุได้ 17 ลิตร ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร และ ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.52 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถึงกักเก็บพลังงานความร้อน



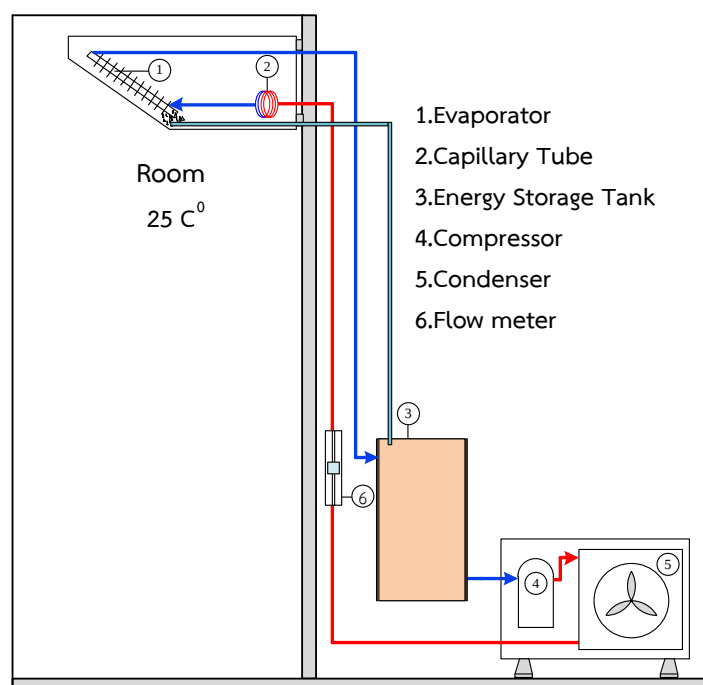
รูปที่ 2 ถึงกักเก็บพลังงานความร้อน



รูปที่ 3 รายละเอียดถึงกักเก็บพลังงานความเย็น

2. หลักการทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์เปลี่ยนความร้อน

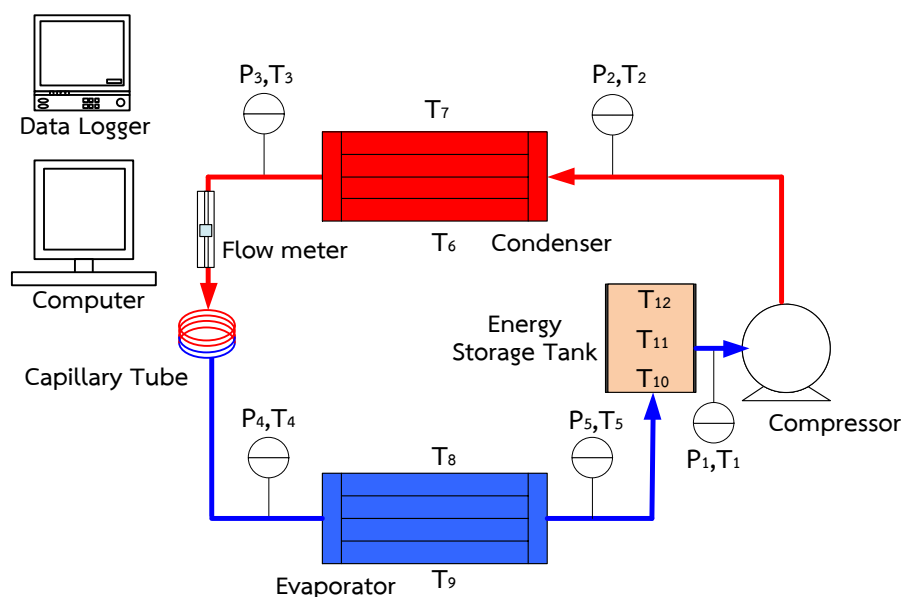
เมื่อเปิดระบบปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ แรงดันต่ำสถานะเป็นแก๊สจากอีวาพอเรเตอร์ แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูง แรงดันสูงสถานะเป็นแก๊สไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นก่อนที่จะไปลดแรงดันที่ท่อแคปิลลารี หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์เพื่อดูดซับปริมาณความร้อนของอากาศโดยรอบ ซึ่งส่งผลให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลง สารทำความเย็นภายในอีวาพอเรเตอร์จะระเหยตัวและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส และจะเกิดน้ำควบแน่นที่อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิที่ต่ำและไหลเข้าถึงกักเก็บพลังงานความเย็น ซึ่งมีน้ำบรรจุอยู่ภายในถึง น้ำจะทำหน้าที่ดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งออกจากสารทำความเย็น ก่อนที่สารทำความเย็นจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเป็นวัฏจักรต่อไป (ไชยณรงค์, 2559) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถึงกักเก็บพลังงานความเย็น

ในการทดลองนั้น เติมน้ำในถังกักเก็บพลังงานความเย็น 23 ลิตร อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส และปรับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ (Juengjaorenirachon *et al.*, 2017) สำหรับการจำลองภาระโหลดการปรับอากาศจะใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp) ซึ่งจะให้ความร้อนประมาณ 90% ของกำลังวัตต์หลอดไฟ เช่น โหลดความร้อน 900 วัตต์ จะใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ จำนวน 9 หลอด เป็นต้น (นิกรและคณะ, 2559)

วัดความดันของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้บูตองเกจ วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วย Flow meter วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็นบริเวณผิวท่อและวัดอุณหภูมิของอากาศด้วยสายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Brainchild รุ่น VR18 ความถูกต้อง $\pm 0.05\%$ และใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A.8210 ความถูกต้อง $\pm 0.3\%$ ในส่วนของการเก็บข้อมูลการทดลองนั้นได้ทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยบันทึกค่าทุก 30 นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 5 (สิริสวัสดิ์และทวีวัฒน์, 2563)



รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งการวัดอัตราการไหลวัดความดันของสารทำความเย็นและวัดอุณหภูมิของระบบปรับอากาศ

โดยที่ $P_1 - P_5$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_5$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_6 - T_9$ คืออุณหภูมิของอากาศ $T_{10} - T_{12}$ คืออุณหภูมิของน้ำ (สิริสวัสดิ์และทวีวัฒน์, 2563)

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็น จากการทดลองสามารถพิจารณาได้ดังนี้ (สิริสวัสดิ์และทวีวัฒน์, 2563)

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Q_{cond} = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Q_{evap} = \dot{m}_r((h_5 - h_4) + (h_1 - h_5)) \quad (2)$$

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_T} \quad (3)$$

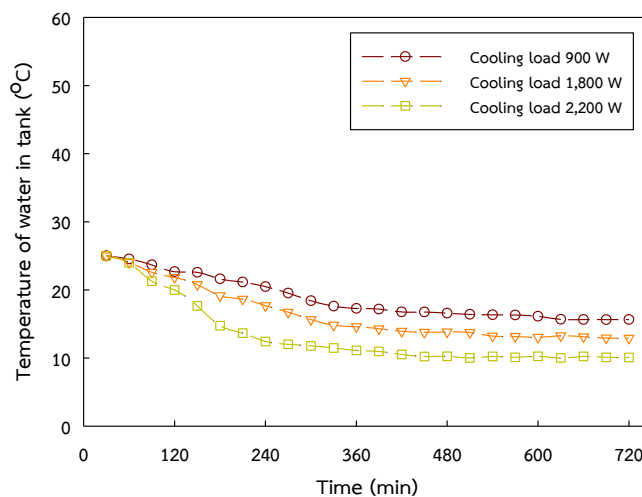
กำลังไฟฟ้าจากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$W_T = VI \cos \theta \quad (4)$$

เมื่อ	COP	คือ	สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศ
	$\cos \theta$	คือ	เพาเวอร์แฟคเตอร์
	h	คือ	เอนทาลปี (kJ/kg)
	I	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)
	$\dot{m}_r$	คือ	อัตราการไหลสารทำความเย็น (kg/s)
	P	คือ	ความดันของสารทำความเย็น (kPa)
	Q_{cond}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ (kW)
	Q_{evap}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์ (kW)
	T	คือ	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
	V	คือ	แรงดันไฟฟ้า (V)
	W_T	คือ	กำลังไฟฟ้า (W)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

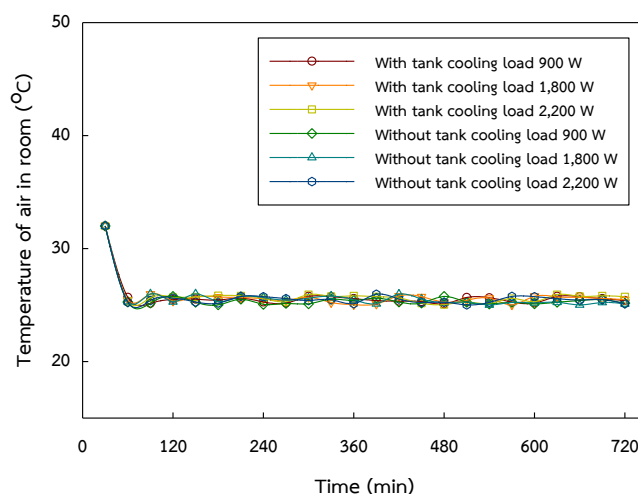
จากการศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ปรับอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส และปรับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ (Juengjaroennirachon *et al.*, 2017) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนเทียบกับเวลา

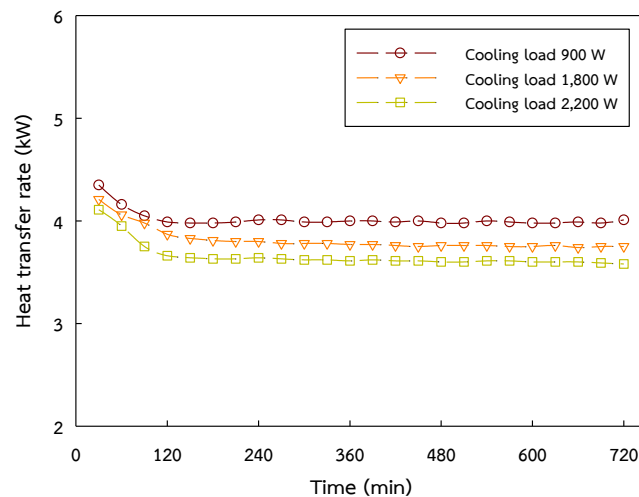
จากรูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบปรับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ พบว่าน้ำที่บรรจุอยู่ในถังกักเก็บพลังงานความร้อนมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำออกจากอีวาพอเรเตอร์ ไหลเข้าถังกักเก็บพลังงานความร้อน สารทำความเย็นจะถูกน้ำที่บรรจุอยู่ในถังดูดซับความเย็นไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่สารทำความเย็นจะไหล

เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ ส่งผลให้น้ำภายในถังมีอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าคงที่ จึงรักษาระดับอุณหภูมิไว้ตลอดระยะเวลา โดยที่น้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความเย็นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 18.73 16.36 และ 13.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ภาระโหลดการปรับอากาศ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ ที่ภาระโหลดการปรับอากาศ 2,200 วัตต์ น้ำในถังกักเก็บพลังงานความเย็นมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเนื่องจาก สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำ และระบบปรับอากาศทำงานอย่างต่อเนื่องนานกว่าระบบปรับอากาศที่ภาระโหลดการปรับอากาศ 900 และ 1,800 วัตต์ ส่งผลให้น้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความเย็นดูดซับความเย็นจากสารทำความเย็นได้อย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลาที่นานกว่า จึงส่งผลให้น้ำภายในถังกักเก็บพลังงานความเย็นที่ภาระโหลดการปรับอากาศ 2,200 วัตต์ มีอุณหภูมิต่ำกว่าภาระโหลดการปรับอากาศ 900 และ 1,800 วัตต์



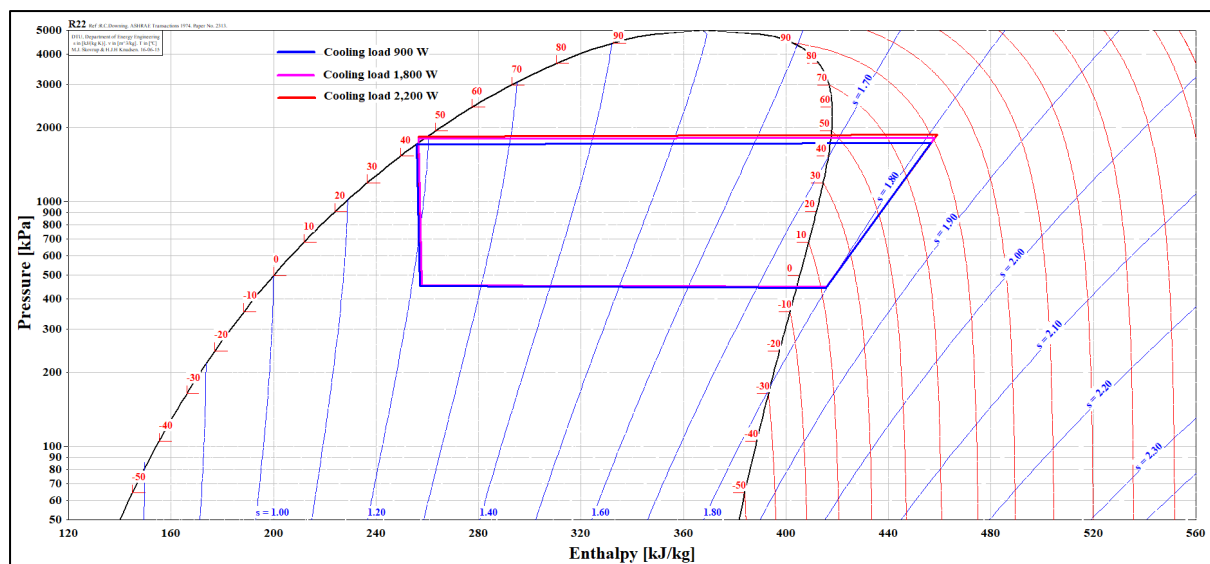
รูปที่ 7 อุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองเทียบกับเวลา ในระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็นและระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็น โดยพิจารณาเปรียบเทียบการปรับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ และปรับอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส ห้องทดสอบมีอุณหภูมิของอากาศก่อนเริ่มการทดลองเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิภายในห้องทดลองจะเริ่มลดลงมาเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามที่ได้ปรับอุณหภูมิไว้ในทุกภาระโหลดการปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์จะหยุดการทำงาน และจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิที่ปรับไว้ จากการทดลองพบว่า ระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็นมีอุณหภูมิภายในห้องทดลองเฉลี่ย 25.74 25.78 และ 25.86 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในส่วนระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็นมีอุณหภูมิภายในห้องทดลองเฉลี่ย 25.58 25.70 และ 25.71 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็นและระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังกักเก็บพลังงานความเย็น พบว่าระบบปรับอากาศสามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงกันในภาระโหลดการปรับอากาศนั้น ๆ

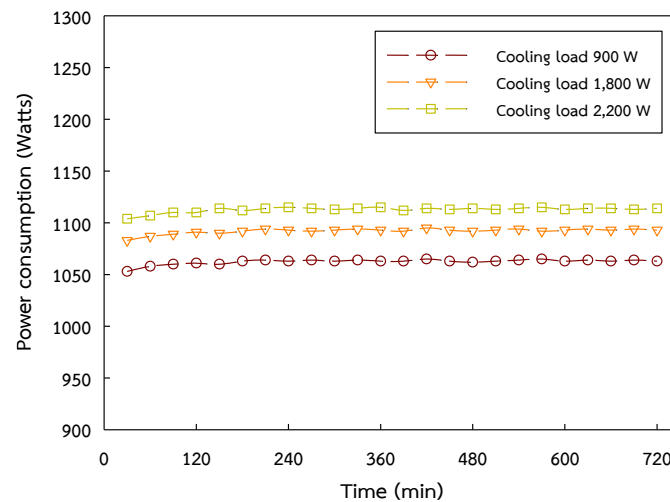


รูปที่ 8 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เทียบกับเวลา

รูปที่ 8 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 1 พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ยเท่ากับ 4.10 3.81 และ 3.65 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ปรับภาระการปรับอากาศปรับอากาศ 900 วัตต์ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากการไหลที่เกิดขึ้นในห้องปรับอากาศต่ำกว่า การดึงความร้อนออกจากห้องปรับอากาศไปถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์จึงทำได้ดีกว่า มีผลให้สารทำความเย็นโดยรวมในระบบปรับอากาศมีอุณหภูมิและแรงดันที่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ภาระการปรับอากาศที่ 900 วัตต์ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์สูงกว่า ภาระการปรับอากาศที่ 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งเหตุผลนี้สอดคล้องกับรูปที่ 9 ที่แสดง P-h diagram ของระบบปรับอากาศที่ปรับภาระการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์

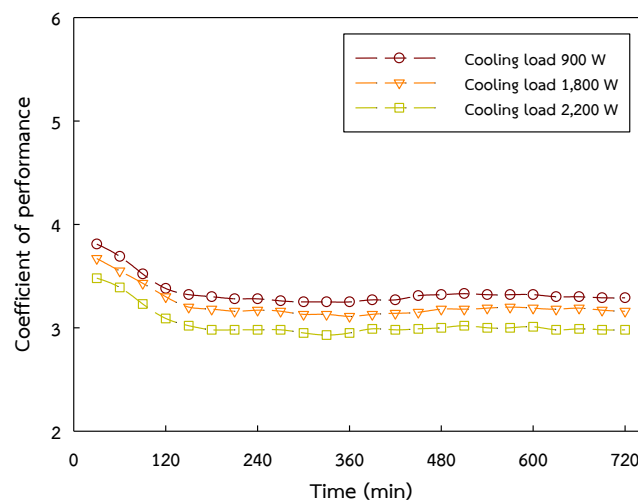


รูปที่ 9 P-h diagram ของระบบปรับอากาศที่ปรับภาระการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์



รูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา

รูปที่ 10 แสดงกำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4 พบว่ากำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1,062.42 1,092.04 และ 1,112.71 วัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ปรับภาระโหลดการปรับอากาศ 900 วัตต์ ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า เนื่องจากภาระโหลดที่เกิดขึ้นในห้องปรับอากาศต่ำกว่า มีผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้กำลังงานในการอัดสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศให้ครบวัฏจักรลดลง อีกทั้งสารทำความเย็นโดยรวมในระบบปรับอากาศมีอุณหภูมิและแรงดันที่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 วัตต์ มีการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศต่ำกว่า ภาระโหลดการปรับอากาศที่ 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ



รูปที่ 11 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา

รูปที่ 11 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2 3 และ 4 พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 3.22 และ 3.04 ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ปรับภาระโหลดการปรับอากาศ 900 วัตต์ มีสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสูงกว่า เนื่องจากภาระโหลดที่เกิดขึ้นในห้องปรับอากาศต่ำกว่า การดึงความร้อนออกจากห้องปรับอากาศไปถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์จึงทำได้ดีกว่า จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้กำลังงานในการอัดสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศให้ครบวัฏจักรลดลง อีกทั้งสารทำความเย็นโดยรวมในระบบปรับอากาศ

อากาศมีอุณหภูมิและแรงดันที่ต่ำกว่า ดังนั้นภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 วัตต์ จึงมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสูงกว่าภาระโหลดการปรับอากาศที่ 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 9 และ 10

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการศึกษาเชิงเทคนิคการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมากักเก็บในรูปแบบน้ำเย็นชุดทดลองประกอบไปด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ถึงกักเก็บพลังงานความเย็นสร้างจากอุณหภูมิเยือกแข็งของน้ำผ่านสายพานสายกลาง 330 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร และหุ้มฉนวนกันความร้อน ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 260 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 45 มิลลิเมตร ซึ่งถึงกักเก็บพลังงานความเย็นถูกติดตั้งระหว่างอีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ โดยภายในถังบรรจุน้ำ 23 ลิตร โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานเทียบกับเวลานั้น น้ำที่บรรจุอยู่ภายในถังกักเก็บพลังงานมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และเมื่อน้ำภายในถังกักเก็บพลังงานดูดซับความเย็นเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 18.73 16.36 และ 13.25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ยเท่ากับ 4.10 3.81 และ 3.65 กิโลวัตต์ ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ พบว่ากำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1,062.42 1,092.04 และ 1,112.71 วัตต์ ตามลำดับ และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับภาระโหลดการปรับอากาศที่ 900 1,800 และ 2,200 วัตต์ ตามลำดับ พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 3.22 และ 3.04 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยนี้ยังพบข้อดีของถังกักเก็บพลังงานความเย็นคือ อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย โดยที่ถังกักเก็บพลังงานความเย็นใช้หลักการดึงพลังงานความเย็นเหลือทิ้งออกจากสารทำความเย็น ซึ่งน้ำภายในถังจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความเย็นเหลือทิ้งออกจากสารทำความเย็น

อีกทั้งจากผลการทดลองนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำเย็นจากถังกักเก็บพลังงานความเย็นมาประยุกต์ใช้งาน เช่น การนำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศก่อนที่จะเปิดระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยให้อากาศภายในห้องเย็นเร็วขึ้น โดยใช้งานร่วมกับระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ หรือนำน้ำเย็นมาช่วยลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศ โดยวิธีนี้ต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่สนับสนุนทุนวิจัย ประเภทกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี สัญญาเลขที่ ก.124/2567 ขอขอบคุณแขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชัยฤทธิ์ สีเสมอ และไชยณรงค์ จักรธรานนท์. (2564). การประเมินการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตนม. วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ 9(2): 199 - 211.
- ไชยณรงค์ จักรธรานนท์. (2559). ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. หน้า 1 - 51.
- ธวัชชัย สุขะ และดามร บัณฑิตรัตน์. (2556). การออกแบบและพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานความร้อนในรูปน้ำแข็งสำหรับการปรับอากาศในโรงเรือน. ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีร่วมกับสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, พระนครศรีอยุธยา. หน้า 119 - 126.
- นันทพร วันเรียน, ฉันทนา พันธุ์เหล็ก และสมชาย มณีวรรณ. (2564). การศึกษาเชิงเทคนิคระบบกักเก็บความเย็นร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะสำหรับการปรับอากาศภายในอาคาร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 31(4): 758 - 769.
- นิกร เนื่องอุดม, ปิยากร จันทนะ, สมนึก เครือสอน และณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์. (2559). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ลมเย็นจากพัดลมระบายอากาศ. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 10(1): 15 - 23.
- ศิริรัตน์ สุลลา, สมชาย มณีวรรณ และ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก. (2565). ระบบกักเก็บความเย็นในอาคารแบบคอนกรีตมวลเบา ร่วมกับสารเปลี่ยนสถานะ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 32(3): 804 - 814.
- สมัญญา อ่วมงาม. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบสารกันเยือกแข็งสำหรับการกักเก็บพลังงานในรูปน้ำเย็น. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ: 64 หน้า
- สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิษฐ และทวีวัฒน์ สุภารส. (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 12(2): 312 - 322.
- Ezan, M.A., Erek, A. and Dincer, I. (2011). Energy and exergy analyses of an ice-on-coil thermal energy storage system. *Energy* 36(11): 6375 - 6386.
- Juengjaroennirachon, S., Pratinthong, N., Namprakai, P. and Suparos, T. (2017). Performance Enhancement of Air Conditioning using Thermosyphon System's Energy Storage Unit for Cooling Refrigerant before entering the Condenser. *Journal of Mechanical science and Technology* 31: 393 - 400.
- Lamrani, B., Marbet, S. E., Rehman, T. and Kousksou, T. (2024). Comprehensive analysis of waste heat recovery and thermal energy storage integration in air conditioning systems. *Energy Conversion and Management: X* 24: 100708. doi: 10.1016/j.ecmx.2024.100708.
- Liang, Y., Yang, H., Wang, H., Bao, X. and Cui, H. (2024). Enhancing energy efficiency of air conditioning system through optimization of PCM-based cold energy storage tank: A data center case study. *Energy* 286: 129641. doi: 10.1016/j.energy.2023.129641.
- Yan, W.M., Gao, K.E., Sajjad, U., Chien, L.H. and Amani, M. (2023). Experimental study of dynamic melting process in an ice-on-coil storage system. *Journal of Energy Storage* 73: 109177 doi: 10.1016/j.est.2023.

