

การศึกษาผลกระทบของวัสดุเปลี่ยนเฟสในตู้แช่เย็นเพื่อลดการใช้พลังงาน Study on Effect of the Phase Change Material in Beverage Cooler for Reducing Energy Consumption

อาทิตย์ คำต่าย^{1*} เลอศักดิ์ นาครินทร์² และ ณภัทร พันศิริ³

^{1,3} ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

² บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) อ.เมือง จังหวัดระยอง 21150

E-mail: artit.k@rbru.ac.th*

Artit Kamtai^{1*} Lursukd Nakharintr² and Naphat Phansiri³

^{1,3} Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Industrial Technology

Rambhai Barni Rajabhat University Aumpher Muang, Chanthaburi Province 22000

² PTT Global Chemical Public Company Limited, Aumpher Muang, Rayong Province, 21150

E-mail: artit.k@rbru.ac.th

Received 5 Jun 2019; Revised 24 Sep 2020

Accepted 6 Nov 2020; Available online 28 Dec 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) สำหรับลดการใช้พลังงานของตู้แช่เย็น โดยศึกษาไปที่การประยุกต์ใช้ร่วมกับฮีวโปเรเตอร์ในลักษณะท่อทำความเย็นแบบแช่ลงในวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) โดยวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ที่นำมาใช้ประกอบไปด้วยส่วนผสมของโพลีเอทิลีนไกลคอล 30% และน้ำ 70% ผลการทดลองพบว่า การใช้พลังงานของตู้แช่เย็นที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) จะลดลง 19.36% เมื่อเทียบกับตู้แช่เย็นที่ไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) โดยมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 7.50 ปี ที่ต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ประมาณ 100 บาท จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในตู้แช่เย็นเป็นวิธีที่คุ้มค่าประหยัดพลังงานและลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตราย

คำหลัก: ตู้แช่เย็น, วัสดุเปลี่ยนเฟส, การใช้พลังงาน

Abstract

This research study on the effect of the phase change material (PCM) in beverage cooler to reduce its energy consumption. This study has focused on the effect of its application with evaporator by submerging the cooling pipe in PCM. The PCM mixing include polyethylene glycol 30% and water 70%. The experimental results indicate that by using beverage cooler with the PCM, power consumption is reduced by 19.36% compared to the beverage cooler without the PCM. The payback period of the modified one was around 7.50 years at the PCM cost of around 100 Baht. Economic analyses show that using of PCM in beverage cooler is

clearly a cost effective method that saves energy and reduces harmful emissions.

Keywords: Beverage Cooler, Phase Change Material, Energy Consumption

1. บทนำ

ในสภาวะโลกร้อนอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีสาเหตุหลักของมาจากก๊าซเรือนกระจกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลก ส่งผลกระทบต่อสภาพชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์รุนแรงมากขึ้นทุกขณะ การใช้พลังงานจากถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ นั้นมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ถึงแม้ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานของประเทศทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 30% จนถึงปี ค.ศ. 2040 [5] โดยแหล่งพลังงานหลักนั้นก็ยังคงได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การแก้ไขปัญหาการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก มีอยู่ 2 แนวทางคือ การเพิ่มปริมาณการใช้พลังงานหมุนเวียน และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลกได้นำไปสู่การผลิตพลังงานทดแทนที่สะอาด และการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีการผลิตพลังงานทดแทนที่สะอาดเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังขาดว่าความต้องการเพื่อลดการปล่อยมลพิษ และความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น พลังงานทดแทนจึงไม่สามารถแทนที่พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ทั้งหมด [5] ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่ทำได้ง่าย และมีต้นทุนต่ำและเนื่องจากสภาพอากาศโลกที่ร้อนขึ้น อาหารและเครื่องดื่มแช่เย็นจึงเป็นตัวเลือก เพื่อดับกระหายคลายร้อนทำให้ความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องทำความเย็นภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปีตามสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น โดยมีการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นเกือบ 30% ของการใช้พลังงานทั่วโลก [9] ตู้แช่เย็น ก็เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องทำความเย็นชนิดหนึ่งที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยมีการประมาณการจำนวนตู้แช่เย็นภายในประเทศทั่วโลกมีประมาณหนึ่งพันล้านเครื่อง และเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมากที่สุดเพราะใช้งานอย่างต่อเนื่อง [7,11,13] ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาขึ้นการปรับปรุงระบบการทำความเย็นของตู้แช่เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ [3] การศึกษาค้นคว้าหาเทคโนโลยีในการลดใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นนั้น

จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเป็นการชะลอการจัดหาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ มาทดแทนที่หาได้ยาก เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [12] วิธีลดการใช้พลังงานของตู้แช่เย็นนั้น มีการวิเคราะห์สามประเด็นหลักคือ การใช้ฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุด การใช้คอมเพรสเซอร์ที่ประหยัดพลังงาน และการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยวิธีการสุดท้ายการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งฮีวโปรเตอร์ [1] [8] เป็นหัวข้อที่น่าสนใจมากที่สุดในการวิจัยเกี่ยวกับการลดการใช้พลังงาน และลดการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในของตู้แช่เย็น การใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ภายในตู้แช่เย็นนั้นสามารถลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และลดความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้ [7] และในงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดเก็บพลังงานความร้อน โดยใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) นั้นเป็นที่ได้รับความสนใจในการวิจัยอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว [5] ในทุกวันนี้การใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) จึงถือเป็นเรื่องการพัฒนาจัดการเก็บพลังงานและการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในตู้แช่เย็น จึงเป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ [1,8,10] โดยการเลือกอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ที่เหมาะสมนั้นสำคัญมาก เพราะจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของตู้แช่เย็น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ การใช้พลังงาน และคุณภาพของอาหาร [4,7] โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพตู้แช่เย็นนั้นส่วนใหญ่เป็นการลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และลดการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นในระหว่างการเปลี่ยนเฟสของวัสดุที่ใช้ [1,8]

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ร่วมกับตู้แช่เย็นนั้นก็มีเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นในเรื่องของการปรับปรุงฮีวโปรเตอร์ โดยนำวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ชนิดต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน ในการจัดเก็บพลังงานความร้อนภายในตู้แช่เย็นเพื่อลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และลดการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น โดยเป็นการใช้สำหรับตู้แช่แข็งและตู้แช่เย็นที่มีช่อง

ผลิตน้ำแข็งเท่านั้น ในส่วนของตู้แช่เย็นเครื่องดื่มทั่วไปที่มีอุณหภูมิ 5-12°C แบบไม่มีช่องสำหรับผลิตน้ำแข็ง และแนวคิดในการออกแบบในส่วนท่อทำความเย็นของฮีวโปรเตอร์มีลักษณะแหล่งในวัสดุเปลี่ยนเฟสยังมีการศึกษาวิจัยเป็นส่วนน้อย จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัย

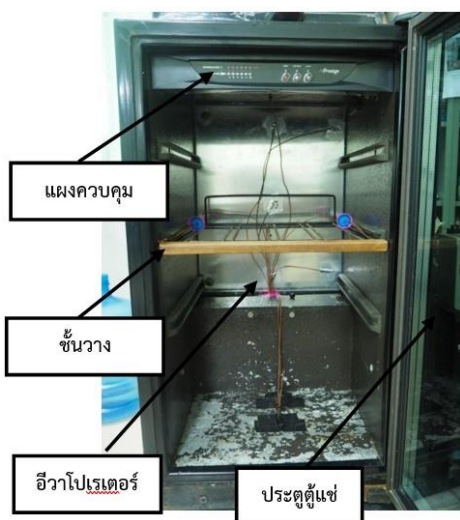
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในการจัดเก็บพลังงานความร้อนร่วมกับฮีวโปรเตอร์ภายในตู้แช่เย็น สำหรับลดการใช้พลังงานและความแปรปรวนของอุณหภูมิ

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ลักษณะของตู้แช่เย็นที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ตู้แช่เย็นสำหรับเครื่องดื่มโดยไม่มีช่องผลิตน้ำแข็ง เป็นแบบตู้ประตูเดียว วินเทมพ์รุ่นเพรสทิจ มีปริมาตรภายในห้องแช่เย็นขนาด 105L การไหลเวียนของอากาศภายในเป็นแบบ Natural Convection มีฮีวโปรเตอร์แบบแผ่นขนาด 380 x 480 mm ติดตั้งอยู่ด้านหลังตู้ ใช้สารทำความเย็น R-134a 0.090 kg แรงดันไฟฟ้า 220 V ความถี่ 50 Hz กระแสไฟฟ้า 0.82 A ขนาดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ 90 W น้ำหนักสุทธิ 40 kg สามารถทำความเย็นได้ 5-12°C



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของตู้แช่เย็น

3.2 วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)

การประยุกต์ใช้ PCM ในตู้แช่เย็นเป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ [1,8] การเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) นั้นจะใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นหลักโดยใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดี มีจุดหลอมเหลวที่ 0 °C ต้นทุนต่ำ ความร้อนจำเพาะสูงความหนาแน่นสูง มีค่าความร้อนแฝงสูง 335 kJ/kg และปลอดภัย [6,11] ผสมหลักร่วมกับ โพลีเอทิลีนไกลคอล เป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ และไม่เป็นพิษถือได้ว่าเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องผลิตจากธรรมชาติไม่กัดกร่อน และเป็นสารชีวภาพ [3,15]



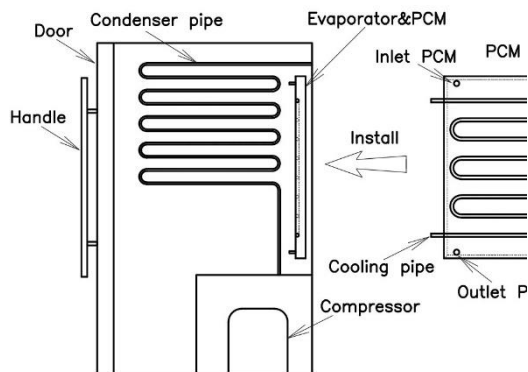
รูปที่ 2 แสดงส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)

โดยทำการออกแบบกล่องเพื่อกักเก็บวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในขณะที่เป็นของเหลวและของแข็ง ให้มีความกว้างและยาวต้องเท่ากับขนาดของฮีวโปรเตอร์ โดยทำจากอลูมิเนียมแผ่นความหนา 0.50 mm พับขึ้นรูปขนาด 380 x 480 x 30 mm การเลือกใช้ความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) นั้นจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบได้เป็นอย่างดี [2,11]



รูปที่ 3 แสดงลักษณะกล่องบรรจุวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)

นำไปติดตั้งแทนที่อ่าวโปรเตอร์แบบเดิม โดยให้ท่อทำความเย็นติดกับผนังของกล่องและเติมวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ลงจนเต็มในลักษณะแบบแซนวิชท่อมท่อทำความเย็นมีน้ำหนัก 4.50 kg ประกอบไปด้วยน้ำบริสุทธิ์และกับโพลีเอทิลีนไกลคอลในสัดส่วน 70% ต่อ 30% เนื่องจากต้องการให้วัสดุเปลี่ยนเฟสที่ -12°C

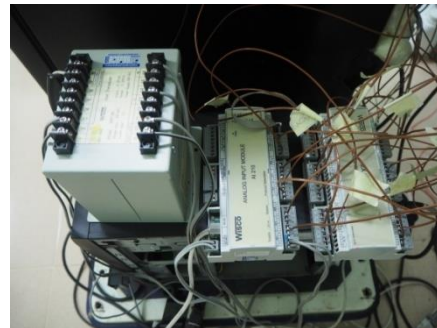


รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งติดตั้งกล่องวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)

3.3 อุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ มี Data Logger AI210 บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและการใช้พลังงาน ต่อรวมกันมีสายเทอร์โมคัปเปิล Type T ความคลาดเคลื่อน $\pm 0.2\%$ Watt Transducer 95 ความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$ และ

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศความคลาดเคลื่อน $\pm 0.5\%$ ในการวัดอุณหภูมิและการใช้พลังงาน



รูปที่ 5 แสดงลักษณะอุปกรณ์การทดลอง

โดยผลที่ได้ในการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบมีและไม่วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) นั้นสามารถนำมาคำนวณการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้จากสมการ

$$T^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2}{N - 1} \quad (1)$$

T^2 = ความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น ($^{\circ}\text{C}$)

C_i = ค่าของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น ($^{\circ}\text{C}$)

$\bar{C}$ = ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น ($^{\circ}\text{C}$)

N = จำนวนของอุณหภูมิ

ผลที่ได้ในการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบมีและไม่วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) นั้นสามารถนำมาคำนวณหาค่าการใช้พลังงานและเปรียบเทียบกันได้จากสมการ

$$\text{Energy Saving \%} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (2)$$

- P_1 = การใช้พลังงานไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (Wh/24h)
 P_2 = การใช้พลังงานแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (Wh/24h)

และระยะเวลาคืนทุนระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุนของระบบ ระยะเวลาคืนทุนพิจารณาถึงจำนวนปีที่ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินลงทุนได้จากสมการ

$$n = \frac{TS}{Y_i} \quad (3)$$

- n = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
 TS = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)
 Y_i = ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองผลกระทบของการประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ร่วมกับฮีวโปเรเตอร์ในลักษณะท่อทำความเย็นแช่ลงในวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) สำหรับการจัดเก็บพลังงานความร้อนภายในตู้แช่เย็น ขนาด 105 L แบบไม่มีช่องสำหรับผลิตน้ำแข็ง เพื่อลดการใช้พลังงานและความแปรปรวนของอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบในแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีลำดับขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

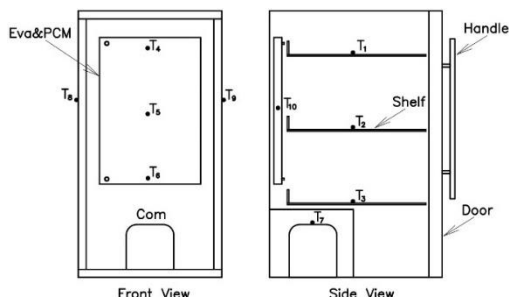
4.1 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล Type T เพื่อวัดอุณหภูมิในการทดลองและนำผลมาวิเคราะห์ดำเนินการวิจัยต่อไปนี้มีตำแหน่งที่สำคัญทั้งหมด 11 ตำแหน่งโดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

ลำดับ	สัญลักษณ์	ตำแหน่ง
1	T_1	ตำแหน่งที่ 1 ภายในตู้แช่ด้านบน
2	T_2	ตำแหน่งที่ 2 ภายในตู้แช่กึ่งกลาง
3	T_3	ตำแหน่งที่ 3 ภายในตู้แช่ด้านล่าง
4	T_4	ตำแหน่งที่ 4 ฮีวโปเรเตอร์ด้านบน
5	T_5	ตำแหน่งที่ 5 ฮีวโปเรเตอร์กึ่งกลาง
6	T_6	ตำแหน่งที่ 6 ฮีวโปเรเตอร์ด้านล่าง

7	T_7	ตำแหน่งที่ 7 ด้านบนคอมเพรสเซอร์
8	T_8	ตำแหน่งที่ 8 กึ่งกลางคอนเดนเซอร์ด้านซ้าย
9	T_9	ตำแหน่งที่ 9 กึ่งกลางคอนเดนเซอร์ด้านขวา
10	T_{10}	ตำแหน่งที่ 10 กึ่งกลางวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)
11	T_{11}	ตำแหน่งที่ 11 อุณหภูมิห้องทดลอง



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์คัปเปิล

4.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นในกรณีที่ไม่มีภาระโหลด โดยเปรียบเทียบกับระหว่างตู้แช่เย็นที่มี และไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ทำการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสก่อนปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิห้องทดลองที่ 25°C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 60% เปิดโปรแกรม OD04 เชื่อมต่อการทำงานของ Data Logger AI210 กับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล เปิดการทำงานของตู้แช่เย็นที่ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลครบทุกตำแหน่งแล้วปรับตั้งอุณหภูมิไปที่ 8°C รอจนกระทั่งอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นถึงตามกำหนดในสภาวะการทำงานคงที่แล้วโดยการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำการบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์มีระยะเวลาในการทดลอง 24 ชั่วโมง

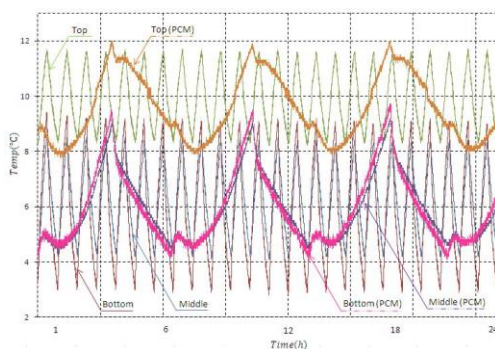
5. ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบมี และไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในลักษณะของท่อนำพาทำความเย็นแบบแช่ภายในห้องทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

ทดสอบที่ 25°C มีระยะเวลาในการทดลอง 24 ชั่วโมง และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน

5.1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

ผลของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล ที่ 1, 2 และ 3 ของตู้แช่เย็นในระยะเวลา 24 ชั่วโมง



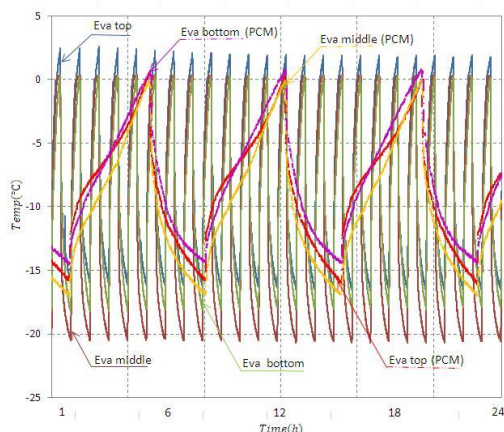
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

จากรูปที่ 7 พบว่าอุณหภูมิด้านบนภายในตู้แช่เย็นตำแหน่งที่ 1 แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 12°C และต่ำสุดอยู่ที่ 7.90°C มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.50°C ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 11.70°C และต่ำสุดอยู่ที่ 8.20°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 9.80°C และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 0.37°C และอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในตู้แช่เย็นในตำแหน่งที่ 2 แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 9.40°C และต่ำสุดอยู่ที่ 4.40°C มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.90°C ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 8.60°C และต่ำสุดอยู่ที่ 4.20°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 6.19°C และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า ตู้แช่เย็น แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 0.11°C และอุณหภูมิด้านล่างภายในตู้แช่เย็นในตำแหน่งที่ 3 แบบมี

วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 9.50°C และต่ำสุดอยู่ที่ 4.10°C มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.90°C ในส่วนของตู้แช่ แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 9.40°C และต่ำสุดอยู่ที่ 2.80°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 5.80°C และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 1.69°C

5.2 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์

ผลของอุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่ 4, 5 และ 6 ของตู้แช่เย็นในระยะเวลา 24 ชั่วโมง



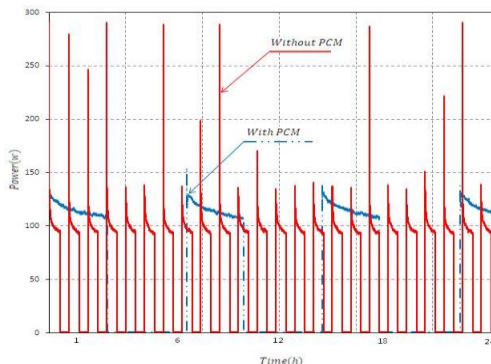
รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

จากรูปที่ 8 พบว่าอุณหภูมิด้านบนอีวาโปเรเตอร์ตำแหน่งที่ 4 แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0°C และต่ำสุดอยู่ที่ -16.10°C มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ -8.45°C ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 2.50°C และต่ำสุดอยู่ที่ -16.60°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ -8.06°C และเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 25.09°C และอุณหภูมิที่กึ่งกลางอีวาโปเรเตอร์ในตำแหน่งที่ 5 แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0°C และต่ำสุดอยู่ที่ -17°C มี

อุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ -9.87°C ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0°C และต่ำสุดอยู่ที่ -20.70°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ -10.99°C และเมื่อเปรียบเทียบกับพบว่า ตู้แช่เย็น แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 45.78°C และอุณหภูมิด้านล่างอีวาโปเรเตอร์ในตำแหน่งที่ 6 แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0°C และต่ำสุดอยู่ที่ -14.50°C มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ -7.89°C ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0°C และต่ำสุดอยู่ที่ -18.30°C มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ -9.79°C และเมื่อเปรียบเทียบกับพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่า 18.58°C

5.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของตู้แช่เย็น

ผลของการใช้พลังงานของตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของตู้แช่เย็น

จากรูปที่ 9 พบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 44.14 W และในระยะเวลาการทดลอง 24 ชั่วโมง ในส่วนของตู้แช่แบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 54.750 W เมื่อเปรียบเทียบกับพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีการประหยัดพลังงานมากกว่า 19.36% โดยใช้พลังงานลดลงเท่ากับ 10.60 W เมื่อเปรียบเทียบรายจ่ายค่าไฟฟ้าต่อปีจากโปรแกรม

คำนวณค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง [16] เท่ากับ 546 บาท และ 559.32 บาท ลดลง 13.32 บาท คิดเป็น 2.38%

5.4 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

การวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนจากการสร้างและติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ร่วมกับอีวาโปเรเตอร์ ภายในตู้แช่เย็นโดยมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2 ต้นทุนค่าใช้จ่าย

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา
1	อลูมิเนียมแผ่นพับขึ้นรูป	1 แผ่น	20
2	โพลีเอทิลีนไกลคอล	1.5 ลิตร	80
รวม			100

จากตารางราคาต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ในการจัดทำโดยรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 100 บาท หากเปิดใช้งานตู้แช่เย็นที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในระยะเวลา 1 ปี สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 13.32 บาท เมื่อเทียบกับการใช้งานตู้แช่เย็นที่ไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) และสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนจะได้เท่ากับ 7.50 ปี

6. สรุป

ผลที่ได้จากการทดลองโดยเปรียบเทียบกับระหว่างตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ทำการติดตั้งรวมอีวาโปเรเตอร์ในลักษณะแบบท่อทำความเย็นแช่ลงในวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) พบว่า ตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) มีการประหยัดพลังงานมากกว่า 19.36% โดยใช้พลังงานลดลงเท่ากับ 10.60 W และสามารถลดความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในห้องทำความเย็นในตำแหน่งด้านบน กึ่งกลาง และด้านล่าง ดีกว่าเท่ากับ 0.37°C , 0.11°C และ 1.69°C

ในส่วนอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ในตำแหน่งด้านบน กึ่งกลาง และด้านล่าง นั้นสามารถลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดีกว่าเท่ากับ 25.09°C , 45.78°C และ 18.58°C เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่มีวัสดุ

เปลี่ยนเฟส (PCM) อันเป็นผลเนื่องมาจากการจัดเก็บพลังงานความร้อนภายในตู้แช่เย็นของวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ในขณะคอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน และมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 7.50 ปี แต่เนื่องจากตู้แช่เย็นมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี จึงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุนหรือพัฒนาในเชิงพาณิชย์เพราะในกรณีของต้นทุนในการผลิตนั้นยังสามารถลดลงได้อีกมากในกรณีที่มีการผลิตในจำนวนมาก

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำกับโพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นวัสดุเปลี่ยนเฟสในการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มวัสดุชนิดอื่น ๆ รวมด้วย

7.2 ในการทดลองครั้งนี้เป็นการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ร่วมกับฮีวโปเรเตอร์เพียงอย่างเดียวในครั้งต่อไปควรประยุกต์ใช้งานร่วมกับคอนเดนเซอร์ ในการจัดเก็บพลังงานความร้อน

7.3 ควรเพิ่มการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำมาเย็นของระบบ

7.4 การออกแบบลักษณะของกล่องจัดเก็บวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) ควรปรับเปลี่ยนขนาดได้

7.5 ควรมีการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นโดยใช้โปรแกรมคำนวณร่วมด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่งเสริมการเผยแพร่จากภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.C. Marques, G.F. Davies, G.G. Maidment, J.A. Evans, I.D. Wood. Novel design and performance enhancement of domestic refrigerators with thermal storage. Applied Thermal Engineering 63,511-519, 2014
- [2] Angelo Maiorino, Manuel Gesù Del Duca, Adrián Mota-Babiloni, Adriana Greco, Ciro Aprea. The thermal performances of a refrigerator

incorporating a phase change material. International Journal of Refrigeration 100, 255–264, 2019

- [3] A. Pirvaram, S.M. Sadrameli, L. Abdolmaleki. Energy management of a household refrigerator using eutectic environmental friendly PCMs in a cascaded condition. Energy 181, 321-330, 2019
- [4] B. Gin, M.M. Farid, P.K. Bansal. Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels. Energy Conversion and Management 51, 2698–2706, 2010
- [5] Charalambos N. Elias, Vassilis N. Stathopoulos. A comprehensive review of recent advances in materials aspects of phase change materials in thermal energy storage. International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains, ICSEF 2018, 17-19 October 2018, Paphos, Cyprus. Energy Procedia 161, 385-394, 2019
- [6] I Nyoman Suamir, I Made Rasta, Sudirman, Konstantinos M, Tsamos. Development of corn-oil ester and water mixture phase change materials for food refrigeration applications. International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains, ICSEF 2018, 17-19 October 2018, Paphos, Cyprus. Energy Procedia 16, 198-206, 2019
- [7] Jonathan Cofré-Toledo, Diego A. Vasco, César A. Isaza-Roldán, Juan A. Tangarife. Evaluation of an integrated household refrigerator evaporator with two eutectic phase-change materials. International Journal of Refrigeration 93,29–37, 2018
- [8] C. Marques, J.A. Evans, G. Davies, G. Maidment, I. Wood. Novel design and performance of domestic refrigerators, in: 1st IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain. Cambridge, UK, 2010

- [9] Mehmet Akif Ezan, Esra Ozcan Doganay, Fazil Erinc Yavuz, Ismail Hakki Tavman. A numerical study on the usage of phase change material (PCM) to prolong compressor off period in a beverage cooler. *Energy Conversion and Management* 142, 95–106, 2017
- [10] Subhanjan Bista, Seyed Ehsan Hosseini, Evan Owens, Garrison Phillips. Performance improvement and energy consumption reduction in refrigeration systems using phase change material (PCM). *Applied Thermal Engineering* 142, 723–735, 2018
- [11] Omid Ghahramani Zarajabad, Rouhollah Ahmadi. Numerical investigation of different PCM volume on cold thermal energy storage system. *Journal of Energy Storage* 17, 515–524, 2018
- [12] Wen-long Cheng, Miao Ding, Xu-dong Yuan, Bing-Chuan Han. Analysis of energy saving performance for household refrigerator with thermal storage of condenser and evaporator. *Energy Conversion and Management* 132, 180–188, 2017
- [13] R. Elarem, S. Mellouli, E. Abhilash, A. Jemni. Performance analysis of a household refrigerator integrating a PCM heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* 125, 1320–1333, 2017
- [14] Y. Yusufoglu, T. Apaydin, S. Yilmaz, H.O. Paksoy. Improving performance of household refrigerators by incorporating phase change materials. *international journal of refrigeration* 57, 173-185, 2015
- [15] L. Abdolmaleki, S.M. Sadrameli, A. Pirvaram. Application of environmental friendly and eutectic phase change materials for the efficiency enhancement of household freezers. *Renewable Energy* 145, 233-241, 2020
- [16] Metropolitan Electricity Authority, ข้อมูลจาก www.mea.or.th/aboutelectric/116/280/form/11/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 มกราคม 2563)