

การศึกษาผลกระทบของการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมในตู้แช่เย็น Study on the Effect of Refrigerator with Phase Change Material

อาทิตย์ คำต่าย^{1*} เลอศักดิ์ นาครินทร์²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

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

Artit Kamtai ^{1*} Lursukd Nakharintr ²

¹Department of Energy Technology, Faculty of Industrial Technology,

Rambhai Barni Rajabhat University, Aumpher Muang, Chanthaburi Province, 22000

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

*Corresponding author Email: artit.k@rbru.ac.th

(Received: October 24, 2023; Revised: January 25, 2024 ; Accepted: April 25, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมในระบบทำความเย็นของตู้แช่เย็นแบบประตูเดียวขนาด 105 L โดยติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมกับท่อทำความเย็นแทนตำแหน่งของอีวาพอเรเตอร์เดิมมีอุณหภูมิในการเปลี่ยนเฟสที่ -15 °C เป็นการทดลองการลดลงของอุณหภูมิ (Pull-down test) แบบมีภาระโหลดกำหนดอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 35 °C เปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส พิจารณาโดยเฉลี่ยของระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลด อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น ระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และการใช้พลังงาน ผลจากการทดลองพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วม มีระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดมากกว่า 3 นาที คิดเป็น 0.61 % เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำความเย็น ในส่วนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่า 94 นาที คิดเป็น 33.09 % มีระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง 88 นาที คิดเป็น 25.00 % และลดการใช้พลังงานลงได้เท่ากับ 11.930 W คิดเป็น 17.77 % เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส ที่มีระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดเท่ากับ 485 นาที ในส่วนของอุณหภูมิห้องแช่เย็นใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิเท่ากับ 284 นาที และมีระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 352 นาที โดยใช้พลังงานเท่ากับ 67.131 W จากผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าการมีวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมนั้นมีผลดีต่อระบบของการทำความเย็นเป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: ตู้แช่เย็น, วัสดุเปลี่ยนเฟส, การใช้พลังงาน, การลดลง

ABSTRACT

This research studies the effects of using phase change material in the cooling system of a 105 L single door refrigerator. Installed the phase change material together with the cooling pipe instead of the original evaporator position, with melting temperature of -15 °C. This was a load pull-down test

with a final temperature of 6 °C and an average initial temperature of 35 °C, the comparison with and without phase change material. Consider the average of the pull-down time of the load temperature, the temperature in cabinet of refrigerator, the compressor run time, and the energy consumption. The results of the experiment found that the refrigerator with phase change material had a time to pull-down the load temperature of more than 3 minutes, accounting for 0.61 %, the increase is only slight and has no effect on the cooling system. The pull-down time of temperature in cabinet reduce up to 94 minutes, is 33.09 %. The compressor operating time decreased by 88 minutes is 25.00 % and reduced energy consumption by 11.930 W is 17.77 %. When comparison without phase change material had a time to pull-down the load temperature of 485 minutes, the pull-down time of temperature in cabinet of 284 minutes, there was a compressor operating time of 352 minutes, and energy consumption by 67.131 W. The results indicate that the use of phase change materials has a positive impact on the cooling system.

Keyword: refrigerator, phase change material, energy consumption, Pull-down.

1. บทนำ

ตู้แช่เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถพบได้ตามครัวเรือนทั่วไปที่มีบทบาทสำคัญในการเก็บรักษาและถนอมอาหารให้อยู่ในอุณหภูมิต่ำช่วยป้องกันหรือชะลอการเปลี่ยนแปลงชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสมบัติทางเคมีในอาหาร [1] โดยคาดการณ์กันว่าตู้แช่เย็นใช้งานอยู่ประมาณหนึ่งพันล้านเครื่องทั่วโลก [2] ทำให้ตู้แช่เย็นนั้นกลายเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากที่สุดในชีวิตประจำวันของเราและตู้แช่เย็นยังคงมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มขึ้นในทุกปีเพราะความต้องการที่เพิ่มขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา [3] ดังนั้นทำให้ความต้องการใช้พลังงานสำหรับตู้แช่เย็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเป็นเกือบ 30% ของการใช้พลังงานทั่วโลก [4] และเมื่อเทียบกับบรรดาเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือนอื่น ๆ ทำให้ตู้แช่เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้พลังงานมากที่สุดในครัวเรือนเนื่องจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง [5] และความต้องการใช้พลังงานในระบบทำความเย็นของตู้แช่เย็นนั้น 80 % มาจากการทำงานคอมเพรสเซอร์ [6] เนื่องจากคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์หลักของตู้แช่เย็นมีหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นให้หมุนเวียนภายในระบบวิธีลด

การใช้พลังงานของตู้แช่เย็นและการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นนั้นทั่วไปมีแนวคิดหลายประการที่อาจนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น โดยสามารถแบ่งออกเป็นสามหัวข้อหลักคือ การเพิ่มประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนการเพิ่มประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ และการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น [7,8] แต่เนื่องจากการเปลี่ยนคอมเพรสเซอร์และการเพิ่มประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนนั้นมีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายที่สูง [9] ในปัจจุบันมีอีกทางเลือกใหม่เพิ่มขึ้นเป็นการนำเอาวัสดุเปลี่ยนเฟส มาใช้ในการจัดเก็บพลังงานความร้อนภายในตู้แช่เย็น โดยใช้งานร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นถือว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นและเป็นการลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลง [9] ทำให้การใช้พลังงานก็จะลดลงตามไปด้วยส่งผลทำให้อายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ที่ยาวนานขึ้น และยังสามารถลดความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นได้ [6,10,11] โดยแนวทางเทคนิควิธีนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟส ภายในตู้แช่เย็นนั้นจะช่วยดูดซับ

ความร้อน โดยการเปลี่ยนเฟสจากของแข็งเป็นของเหลว และทำให้อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นจะคงที่จนกว่า กระบวนการหลอมเหลวจะเสร็จสิ้นทำให้ช่วยยืดระยะเวลา การปิดของคอมเพรสเซอร์ [11,12] การใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส ร่วมกับฮีวาทอเรเตอร์ภายในตู้แช่เย็นนั้นกำลังเป็นที่สนใจ มากขึ้นในการปรับปรุงระบบการทำความเย็น ให้ดีขึ้น [13] และจากการทบทวนวรรณกรรมนั้นพบว่าการทดลองเพื่อ ประเมินผลของระบบการทำความเย็นโดยใช้งานร่วมกับ วัสดุเปลี่ยนเฟสนั้นส่วนมากแล้วจะทดลองเก็บผลและ นำเสนอในกรณีหลังจากสถานะการทำความเย็นของระบบ คงที่ไปแล้ว แต่ในกรณีใช้งานจริงของชีวิตประจำวัน การ นำเอาผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิ ของสภาพแวดล้อมใส่ลงในตู้แช่เย็นนั้นเป็นเรื่องปกติของ การใช้งาน แต่ในระบบการทำความเย็นแล้วถือว่าเป็นการ เพิ่มภาระโหลด โดยคอมเพรสเซอร์จะต้องทำงานมากขึ้น เพื่อดึงเอาความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ นั้นทำให้ภาระงาน การทดลองแบบการลดลง (Pull-down test) ในกรณีมี ภาระโหลดตามมาตรฐานการทดลองของตู้แช่เย็น [14,15,16] โดยเปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยน เฟสร่วม พิจารณาระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิภาระ โหลด ระยะเวลาดำเนินการของคอมเพรสเซอร์ และการใช้ พลังงาน

2. วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

2.1 ลักษณะของตู้แช่เย็นที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ตู้แช่เย็นสำหรับเครื่องดื่มโดยไม่มีช่องผลิตน้ำแข็งเป็นแบบตู้ประตูเดียว วินเทมพ์ รุ่นเพรสทิจ มีปริมาตรภายในห้องแช่เย็น 105 L การไหลเวียนของอากาศภายในเป็นแบบ Natural Convection มีฮีวาทอเรเตอร์แบบแผ่นขนาด 380 x 480 mm ติดตั้งอยู่ภายในด้านหลังใช้สารทำความเย็น R-134a จำนวน 0.09 kg แรงดันไฟฟ้า 220 V ความถี่ 50 Hz กระแสไฟฟ้า 0.82 A ขนาดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ 90 W น้ำหนักสุทธิ 40 kg สามารถทำความเย็นได้ 6°C - 12°C ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของตู้แช่เย็น

2.2 วัสดุเปลี่ยนเฟส

ตู้แช่เย็นที่ใช้ในการทดลองนั้นจะทำการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟส ภายในตู้แช่เย็นเพื่อชะลอการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความสามารถในการดูดซับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยการเปลี่ยนเฟสจากของแข็งเป็นของเหลวโดยในขณะเปลี่ยนเฟสนั้นจะสามารถรักษาอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นในคงที่ และในทางกลับกันก็จะขยายรอบการหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ [17,18] โดยวัสดุเปลี่ยนเฟส ที่ทางคณะผู้วิจัยได้นำมาใช้ในการทดลองนั้นประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนผสมหลักเนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมนั้นพบว่ามีใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีและมีปลอดภัยสูง [19,20] นำมาผสมร่วมกับโพลีเอทิลีนไกลคอล ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องผลิตจากธรรมชาติไม่กัดกร่อน และเป็นสารชีวภาพ [13] ในสัดส่วนน้ำบริสุทธิ์และกับโพลีเอทิลีนไกลคอล 70 % ต่อ 30 % แสดงในรูปที่ 2 มีน้ำหนักโดยรวมเท่ากับ 4.50 kg และอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสที่ -15 °C เท่ากับอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของห้องทำความเย็น

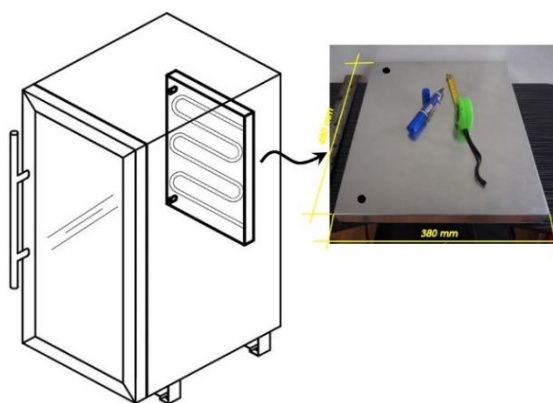
2.3 กล่องบรรจุวัสดุเปลี่ยนเฟส

กล่องบรรจุวัสดุเปลี่ยนเฟสมีความกว้างและความยาวเท่ากับขนาดของฮีวาทอเรเตอร์เดิมวัสดุทำจากอลูมิเนียมพับขึ้นรูปมีขนาด 380 x 480 x 30 mm และมีความหนาแผ่น 0.5 mm นำไปติดตั้งแทนตำแหน่งของฮีวาทอเรเตอร์

แบบเดิม แสดงในรูปที่ 3 โดยให้ท่อทำความเย็นติดกับผนังของกล่องด้านในตู้แช่เย็นปิดทับด้วยเทปอลูมิเนียมและเติมวัสดุเปลี่ยนเฟสในลักษณะแบบแช่ท่อทำความเย็น



รูปที่ 2 แสดงส่วนผสมของวัสดุเปลี่ยนเฟส



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟส

2.4 อุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้มี Data Logger AI210 บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและการใช้พลังงานต่อรวมกันมีสายเทอร์โมคัปเปิล Type T ความคลาดเคลื่อน ± 0.2 % Watt Transducer 95 ความคลาดเคลื่อน ± 0.5 % และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความคลาดเคลื่อน ± 0.5 % ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลักษณะอุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง

3. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.1 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

ในการทดลองเลือกใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type T เนื่องจากมีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -200 °C ถึง $+350$ °C เป็นที่นิยมใช้งานสำหรับวัดอุณหภูมิด้านต่ำ มีตำแหน่งติดตั้งทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

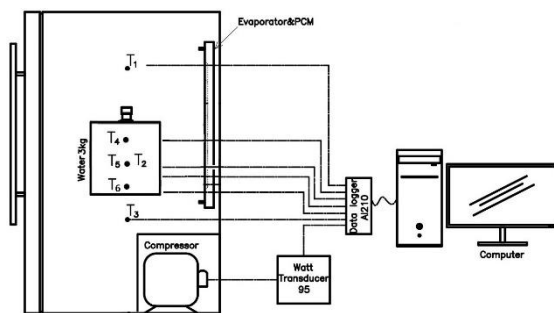
ลำดับ	ตำแหน่งสัญลักษณ์
1	ตำแหน่งที่ T_1 ภายในตู้แช่เย็นด้านบน
2	ตำแหน่งที่ T_2 ภายในตู้แช่เย็นกึ่งกลาง
3	ตำแหน่งที่ T_3 ภายในตู้แช่เย็นด้านล่าง
4	ตำแหน่งที่ T_4 ภาระโหลดด้านบน
5	ตำแหน่งที่ T_5 ภาระโหลดกึ่งกลาง
6	ตำแหน่งที่ T_6 ภาระโหลดด้านล่าง
7	ตำแหน่งที่ T_7 อุณหภูมิห้องทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการทดลองแบบการลดลง (Pull-down test) เป็นตามเกณฑ์มาตรฐาน[16] โดยเปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมพิจารณาระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิ ระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และการใช้พลังงาน จะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 6 °C เป็นอุณหภูมิสุดท้ายและต่ำสุดที่ตู้แช่เย็นจะทำได้ โดยมีภาระโหลดเป็นน้ำจำนวน 3.0 kg วาง

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน เมษายน – กันยายน พ.ศ. 2567

ในตู้แช่เย็นตำแหน่งกลาง ทำการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสก่อนทำการปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 60 % ใช้โปรแกรม OD04 เชื่อมต่อการทำงานของ Data Logger AI210 กับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล เปิดการทำงานของตู้แช่เย็นที่ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลครบทุกตำแหน่ง จากนั้นปรับตั้งอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นไปยัง 6 °C จนกระทั่งอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นถึงตามกำหนด และอยู่ในสภาวะการทำงานคงที่แล้ว จากนั้นเติมภาระโหลดลงในภาชนะบรรจุที่ติดตั้งไว้แล้วภายในตู้แช่เย็น ในตำแหน่งเดิมที่ได้ออกแบบโดยไม่มีการเปิดประตูพิจารณาที่อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 35 °C โดยเฉลี่ยและทำการบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งโดยเฉลี่ย ไดอะแกรมการทดลองและตำแหน่งการวัดแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงไดอะแกรมการทดลองและตำแหน่งการวัด

ผลที่ได้ในการทดลองสำหรับตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส นั้นสามารถนำมาคำนวณเปรียบเทียบหาระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลด และอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้จากสมการที่ 1

$$RT = \frac{T_{with} - T_{without}}{T_{with}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

RT อัตราการลดลงของเวลา (%)
 T_{with} ระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (min)

$T_{without}$ ระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (min)

โดยสามารถนำมาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้จากสมการที่ 2 และสามารถนำผลมาคำนวณเปรียบเทียบการใช้พลังงานได้จากสมการ 3

$$ROT = \frac{K_{without} - K_{with}}{K_{without}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

ROT Reduced ON-time ratio (%)
 $K_{without}$ ON-time ratio for the case without PCM (min)
 K_{with} ON-time ratio for the case with PCM (min)

$$RE = \frac{E_{without} - E_{with}}{E_{without}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

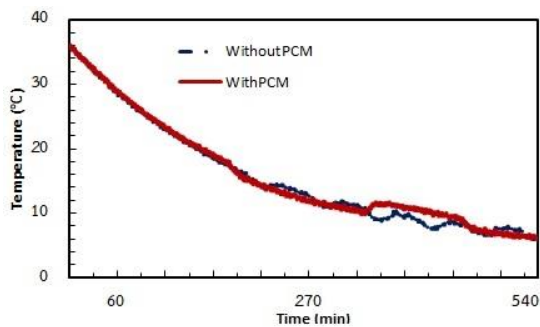
RE อัตราการลดใช้พลังงาน (%)
 $E_{without}$ การใช้พลังงานแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (W)
 E_{with} การใช้พลังงานแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟส (W)

4. ผลการทดลอง

4.1 เปรียบเทียบผลการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดภายในตู้แช่เย็น

จากรูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของภาระโหลดภายในตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสนั้นมีอุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองเท่ากันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35 °C พิจารณาระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนดคือ 6 °C โดยแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 485 นาที และ

แบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 488 นาที เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดมากกว่า 3 นาที คิดเป็น 0.61 %



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบเวลาการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลด

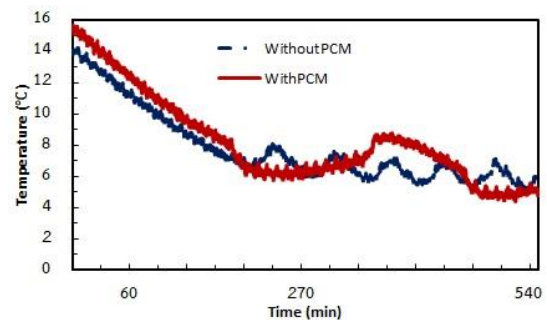
4.2 เปรียบเทียบผลการลดลงของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

จากรูปที่ 7 อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสในขณะที่อุณหภูมิของภาระโหลดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35 °C นั้นมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15.5 °C และ 14 °C พิจารณาระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนดคือ 6 °C โดยแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 284 นาที และแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 190 นาที เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นน้อยกว่า 94 นาที คิดเป็น 33.09 %

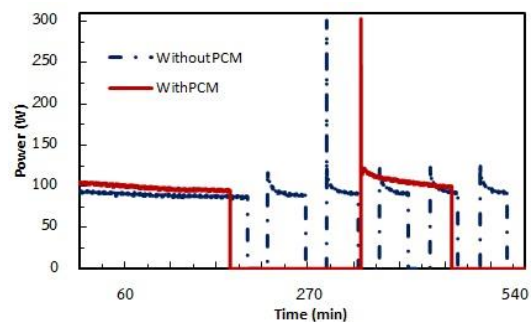
4.3 การเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานและระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์

จากรูปที่ 8 การเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์และการใช้พลังงานระหว่างตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสมีอุณหภูมิของภาระโหลดเริ่มต้นการทดลองเท่ากันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35 °C พิจารณาระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนด

คือ 6 °C โดยแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟสมีระยะเวลาในการทำงานและการหยุดของคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 352 นาที และ 133 นาที ใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 67.131 W และในส่วนของตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสมีระยะเวลาในการทำงานและการหยุดของคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 264 นาที และ 224 นาที มีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.201 W เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสรวมกันสามารถลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงได้เท่ากับ 88 นาที คิดเป็น 25.00 % และลดการใช้พลังงานลงได้เท่ากับ 11.930 W คิดเป็น 17.77 %



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบเวลาการลดลงของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์และการใช้พลังงาน

5. สรุป

ผลการทดลองโดยวิธีการลดลง (Pull-down test) และเปรียบเทียบกันระหว่างตู้แช่เย็นแบบมีและไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส มีอุณหภูมิของภาระโหลดเริ่มต้นการทดลอง

เท่ากัน โดยเฉลี่ยเท่ากับ 35 °C และพิจารณาระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิสุดท้ายตามที่กำหนดคือ 6 °C พบว่าตู้แช่เย็นแบบมีวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วมใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิภาระโหลดมากกว่า 3 นาที คิดเป็น 0.61 % เป็นผลมาจากกระบวนการเปลี่ยนเฟสของวัสดุเปลี่ยนเฟสช่วงสุดท้ายที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและคอมเพรสเซอร์ยังอยู่ในสถานะหยุดทำงานโดยใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำความเย็นและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการทดลองในส่วนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นใช้ระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่า 94 นาที คิดเป็น 33.09 % เนื่องจากมวลของอากาศน้อยกว่าไหลเวียนภายในตู้แช่เย็นทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนระหว่างภาระโหลดกับอีวาพอเรเตอร์และมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ต่ำกว่าภาระโหลดที่เป็นน้ำโดยมีระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลงที่ 88 นาที คิดเป็น 25.00 % ส่งผลทำให้การใช้พลังงานลดลงตามไปด้วยที่ 11.930 W คิดเป็น 17.77 % เมื่อเปรียบเทียบกับตู้แช่เย็นแบบไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส จากผลการทดลองและเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าการมีวัสดุเปลี่ยนเฟสร่วม นั้นส่งผลกระทบต่อระบบของการทำความเย็นโดยสอดคล้องกับงานวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรมในเบื้องต้น

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่งเสริมจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Gin, M.M. Farid and P.K. Bansal, “Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels,” *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 2698–2706, 2010.
- [2] S. B. Amara, O. Laguerre, M. C. Charrier-Mojtabi, B. Lartigue and D. Flick, “PIV

measurement of the flow field in a domestic refrigerator model: comparison with 3D simulations,” *Int. J. Refrig*, vol. 31, pp. 1328–1340, 2008.

- [3] H. Chuang, K. Wu, W. Weng and C. Lee, “Dynamic modulation of voltage excitation angle to optimize energy consumption of refrigerator,” *International journal of refrigeration*, vol. 81, pp. 151–162, 2017.
- [4] J.M. Belman, J. Navarro-Esbrí, D. Ginestar and V. Milian, “Steady state model of a variable speed vapor compression system using R134a as working fluid,” *Int J Energy Res*, vol. 34, no. 11, pp. 933–945, 2010.
- [5] P. S. Raveendran and S. J. Sekhar, “Performance studies on a domestic refrigerators retrofitted with building-integrated water-cooled condenser,” *Energy Build*, vol.134, pp.1-10, 2017.
- [6] A.C. Marques, G.F. Davies, G.G. Maidment, J.A. Evans and I.D. Wood, “Novel design and performance enhancement of domestic refrigerators with thermal storage,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 63, pp. 511-519, 2014.
- [7] M.M. Joybari, F. Haghighat, J. Moffat and P. Sra, “Heat and cold storage using phase change materials in domestic refrigeration systems: the state-of-the-art review,” *Energy Buildings*, vol.106, pp.111–24, 2015.
- [8] G. Sonnenrein, A. Elsner, E. Baumhögger, A. Morbach, K. Fieback and J. Vrabec. “Reducing the power consumption of household

- refrigerators through the integration of latent heat storage elements in wire- and- tube condensers,” *Int J Refrig*, vol. 51, pp. 154–60, 2015.
- [9] Z. Liu, D. Zhao, Q. Wang, Y. Chi and L. Zhang, “Performance study on air-cooled household refrigerator with cold storage phase change materials,” *Int J Refrig*, vol. 79, pp. 130–142, 2017.
- [10] C. Marques, G. Davies, G.G. Maidment, J.A. Evans and I.D. Wood, “Novel design and performance enhancement of domestic refrigerators with thermal storage,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 63, pp. 511-519, 2013.
- [11] R. Elarem, S. Mellouli, E. Abhilash and A. Jemni. “Performance analysis of a household refrigerator integrating a PCM heat Exchanger,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 125, pp.1320–1333, 2017.
- [12] L. Abdolmaleki, S.M. Sadrameli and A. Pirvaram. “Application of environmental friendly and eutectic phase change materials for the efficiency enhancement of household freezers,” *Renewable Energy*, vol. 145, pp. 233-241, 2020.
- [13] A. Pirvaram, S.M. Sadrameli and L. Abdolmaleki. “Energy management of a household refrigerator using eutectic environmental friendly PCMs in a cascaded condition,” *Energy*, vol. 181, pp. 321-330, 2019.
- [14] B.O. Bolaji, A.O Akintaro, O. Alamu and T. Olayanju, “Design and Performance Evaluation of a Cooler Refrigerating System Working with Ozone Friendly Refrigerant,” *The Open Thermodynamics Journal*, vol. 6, pp. 25-32, 2012.
- [15] Y. Mona, S. Thiangchanta and C. Chaichana. “Electricity peak load reduction of a refrigerator using phase change material,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 48-53, 2022.
- [16] ISO, International Standard - 8187, Household Refrigerating Applications (Refrigerators/Freezers) Characteristics and Test Methods, 1991.
- [17] M.I.H. Khan, “Conventional refrigeration systems using phase change material: a review,” *Int. J. Air-Cond. Refrig*, vol. 24, no. 03, 1630007, 2016.
- [18] S. B. Riffat and X. Ma., “Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review,” *Int. J. Energy Res*, vol. 28, no. 9, pp. 753–768, 2004.
- [19] I. N. Suamir, I. M. Rasta, Sudirman and K. M. Tsamos, “Development of corn-oil ester and water mixture phase change materials for food refrigeration applications”, *Procedia*, vol. 16, pp. 198-206, 2019.
- [20] O. G. Zarabad, R. Ahmadi. “Numerical investigation of different PCM volume on cold thermal energy storage system,” *Journal of Energy Storage*, vol. 17, pp. 515–524, 2018.