

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนโวเทล เชียงใหม่

ผลกระทบสมรรถนะของระบบการทำความเย็นต่อปริมาณการเติมสารทำความเย็นผสม R404A ในตู้แช่เชิงพาณิชย์

Effect of Charging Amount of R404A Refrigerant Mixture on Refrigeration Performance in a Commercial Refrigerator

เทียบ เอื้อกิจ

ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

กรุงเทพฯ 10330

โทร (02) 2153528-9 โทรสาร (02) 2155933, E-mail: tiabeuak@ptwit.ac.th

Tiab Euakit

Department of Mechatronics Engineering Faculty of Engineering Pathumwan Institute of Technology

Bangkok, 10330, Thailand

Tel: 662 2153528-9 Fax: 662 2155933

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบการทำความเย็นโดยรวมต่อปริมาณหรือจำนวนการเติมสารทำความเย็นผสมโดยเฉพาะตู้แช่เชิงพาณิชย์ที่มีอุณหภูมิต่ำเท่ากับ -18°C หรือต่ำกว่าจำนวนของการเติมสารทำความเย็นผสมหรือ R404A ซึ่งประกอบด้วย R125/R143a/R134a ในสัดส่วน 44/52/4 เปอร์เซนต์ โดยมวลตามลำดับ และมีการเลื่อนของอุณหภูมิในอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator Temperature Glide) ประมาณ 1.5 K โดยออกแบบให้อุณหภูมิในอีวาโปเรเตอร์เท่ากับ -23.3°C จำนวน R404A ที่พอดีจะอาศัยเกณฑ์การสังเกตสถานะโดยติดตั้งกระจกดูสารทำความเย็น (Sight Glass) ที่ออกจากคอนเดนเซอร์ซึ่งจะทดสอบในช่วงจำนวนการเติม 13,14,15,16,17 และ 18 OZ ตามลำดับ โดยใช้เวลาทดสอบเท่ากับ 105 วินาทีและแบ่งช่วงการเก็บข้อมูลเป็น 7 ช่วงเวลา

ผลการวิจัยพบว่าจำนวนการเติม R404A มีผลต่อสมรรถนะของระบบการทำความเย็นโดยรวม ซึ่งมีเทอมที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือความสามารถในการทำความเย็น, อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์, อุณหภูมิในตู้, อัตราส่วนความ

ดัน, ประสิทธิภาพการดูดเชิงปริมาตร, อุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนและสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะสำหรับเทอมของความสามารถในการทำความเย็นจะลดลงเมื่อระบบใช้เวลาทำงานนานขึ้นซึ่งโดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 325 ถึง 380 Watt อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์จะอยู่ในช่วง -18°C ถึง -30°C ช่วงเวลา 105 นาทีและอุณหภูมิในตัวตู้เฉลี่ยตั้งแต่ -15°C ถึง -25°C อัตราส่วนความดันจะอยู่ในช่วง 7:1 ถึง 8:1 ประสิทธิภาพการดูดของคอมเพรสเซอร์ โดยเฉลี่ยประมาณ 47 % ส่วนเทอมอุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนจะอยู่ในช่วง 75°C ถึง 85°C และเทอมของสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะจะอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยจาก 1.35 ถึง 1.75 จำนวนการเติม R404A ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 15 ถึง 16 OZ ซึ่งจะทำให้สมรรถนะของระบบโดยรวมสูง

Abstract

In this research, effect of charging amount of R404A refrigerant mixture on the refrigerating performance especially in the commercial scale with the temperature less than -18°C has been carried out.

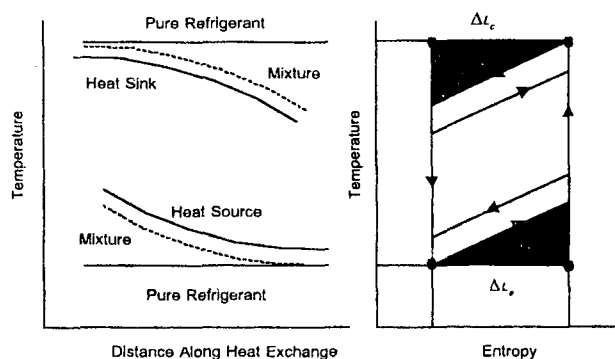
R404A is a blend of R125/R143a/R134a with 44/55/4 percent mass fraction. There is 1.5 K temperature glide at the evaporator of -23.3°C . The refrigerant amounts of 13,14,15,16,17 and 18 oz have been filled in a commercial refrigerator. The test period is 105 min.

It could be found that the refrigerant amount affects the performance of the refrigerator such as the evaporating temperature, the temperature in the cooled space, the pressure ratio, the volumetric efficiency, the discharge temperature and the COP. The average cooling capacity is 325 to 380 W, the evaporating temperature is -18 to -30°C , and the cooled room temperature is -15 to -25°C . The pressure ratio is 7:1 to 8:1, the volumetric efficiency is 47%. The discharge temperature is 75 to 85°C , and the COP is 1.35-1.75. The suitable amount of refrigerant is found to be 15-16 oz.

1. บทนำ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเป็นวัฏจักรที่ถูกประยุกต์ใช้มากกว่าวัฏจักรการทำความเย็นอื่นๆ เนื่องจากสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานและสามารถใช้กับสารทำความเย็นได้หลายชนิด ส่วนใหญ่สารทำความเย็นจะเป็นสารเดี่ยวหรือสารทำความเย็นผสม (Refrigerant Mixture) [1]. สารทำความเย็นผสมจำแนกได้ 2 ประเภทคือ สารทำความเย็นผสมในลักษณะ Azeotropic ซึ่งมีสัดส่วนผสมแน่นอนและมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับสารเดี่ยว และสารทำความเย็นผสมในลักษณะ Non-Azeotropic หรือ Zeotropic โดยได้นำไปประยุกต์ใช้กับวัฏจักรลอเรนซ์ (Lorenz Cycle) ซึ่งสารทำความเย็นประเภทนี้สามารถผสมให้มีผลกระทบตอสภาวะแวดล้อมน้อยและสามารถพัฒนาให้มีสมรรถนะของระบบสูงกว่าสารเดี่ยว อีกทั้งสามารถผสมได้ทั้งไฮโดรคาร์บอน (HC) และไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ซึ่งทั้งสองไม่ทำลายโอโซนบนชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ [2]. ในปัจจุบันตู้แช่แข็งพาณิชย์ซึ่งออกแบบให้อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ต่ำถึง -25°C จะใช้สารทำความเย็นกลุ่ม Non-Azeotropic โดยเฉพาะ R404A (R125/R143a/R134a เท่ากับ 44/52/4 เปอร์เซ็นต์โดยมวล) ทดแทน R502 (R22/R115 เท่ากับ 48.8/51.2 เปอร์เซ็นต์โดยมวล) ซึ่งเป็นสารทำความ

เย็นประเภท Azeotropic และได้ยกเลิกการใช้งานแล้ว ส่วน R404A เป็นสารทำความเย็นผสมซึ่งจะแสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิขณะกลั่นตัวในคอนเดนเซอร์และการเดือดในอีวาโปเรเตอร์ดังรูปที่ 1. ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่างคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรคาร์โนท์จึงทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงกว่าสารเดี่ยว และนอกจากนี้แล้วยังทำให้ค่าการย้อนกลับไม่ได้ (Irreversibility) ของระบบน้อยลง [4]. ซึ่งจะสามารถลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์, คอนเดนเซอร์และยังได้รับความร้อนจากการทำงานของอีวาโปเรเตอร์เพิ่มขึ้น จำนวนการเติมสารทำความเย็นซึ่งเป็นสารผสมประเภทนี้จะต้องเติมให้พอดีไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยเฉพาะจะต้องเติมในลักษณะของเหลวเพื่อให้สัดส่วนผสมและสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เปลี่ยนแปลงในการศึกษาครั้งนี้จะถือว่าสัดส่วนผสมขณะเติมสารทำความเย็นคงที่

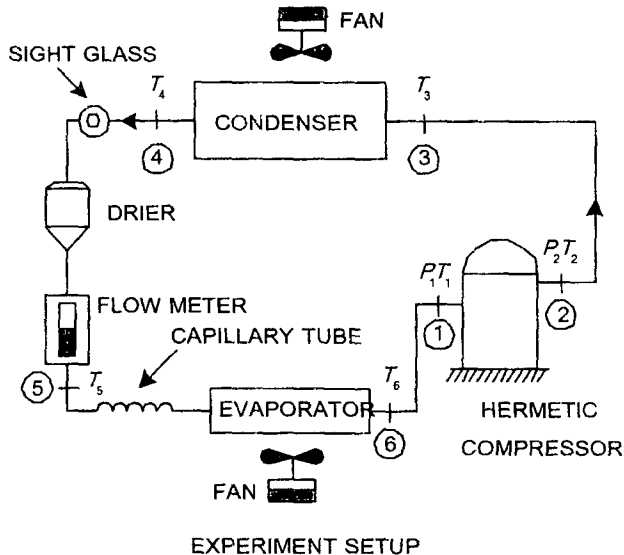


รูปที่ 1. วัฏจักรของลอเรนซ์ที่ใช้กับสารทำความเย็นผสม ลักษณะ Non – Azeotropic

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบเป็นตู้แช่แข็งพาณิชย์ซึ่งออกแบบให้ใช้สารทำความเย็นผสม R404A โดยปกติอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์จะประมาณ -23.3°C อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์อยู่ในช่วง 35°C ถึง 45°C ซึ่งจะแปรตามอุณหภูมิการเดือดของสารทำความเย็นในอีวาโปเรเตอร์และอุณหภูมิของอากาศโดยรอบคอนเดนเซอร์ซึ่งในการทดสอบจะรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 27°C และ 60 % ตามลำดับ ตู้แช่แข็งพาณิชย์ที่ใช้จะมีปริมาตรเท่ากับ 0.3 m^3 วงจรการทำความเย็นและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดดังในรูปที่ 2. ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบปิดมิดชิดมีความจุเท่ากับ 12.54 cm^3 ถือว่ามีความเร็วรอบเท่ากับมอเตอร์ 2 โพล หรือ 2,950 rpm ติดตั้งอุณหภูมิวัดทั้งหมด 6 จุดโดยใช้เทอร์

โมคัปเปิลแบบ K ซึ่งมีความละเอียด 0.1°C โดย T_1 อุณหภูมิของไอก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ T_2 อุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนของคอมเพรสเซอร์



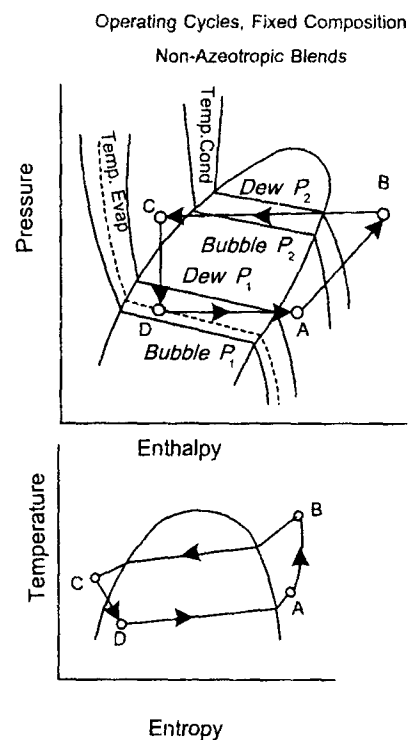
รูปที่ 2. วงจรการทำความเย็นของตู้แช่แข็งพาณิชย์ที่ใช้ทดสอบ

T_3 อุณหภูมิของไอร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ T_4 อุณหภูมิของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์และก่อนเข้าดรายเออร์ (Drier) เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) T_5 อุณหภูมิ ก่อนเข้าท่อรูเข็ม (Capillary Tube) และเข้ายังอีวาปอเรเตอร์ ส่วนอุณหภูมิ T_6 เป็นอุณหภูมิและไอที่ออกจากอีวาปอเรเตอร์จุดวัดความดันด้าน P_1 และ P_2 ใช้เซนเซอร์วัดความดัน โดยอุณหภูมิและความดันรวมทั้งกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ส่วนอัตราการไหลโดยมวลจะวัดในช่วงของเหลวที่ออกจากดรายเออร์ (Drier) ก่อนเข้าท่อรูเข็ม จำนวน การเติมสารทำความเย็นโดยใช้กระบอกตวงร่วมกับตาชั่งที่มีความละเอียด 0.1 gm โดยจะเริ่มเติมตั้งแต่ 13,14,15,16,17 และ 18 OZ ตามลำดับ การพิจารณาจำนวนการเติมจะสังเกตสถานะของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์โดยใช้กระจกดูสารทำความเย็นซึ่งจากศึกษาพบว่า การทดสอบสมรรถนะของระบบการทำความเย็นซึ่งใช้สารผสม R22/R1529/R124 ในวงจรการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรถยนต์ [3] ไม่มีข้อแตกต่างระหว่างการทดสอบที่สภาวะคงตัวกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงดังนั้นวิธีการทดสอบจะใช้ช่วงเวลาประมาณ 105 นาที โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออก

เป็น 7 ช่วงๆละ 15 นาที การเติม R404A จะเติมในสถานะของเหลวและเริ่มทำการทดสอบที่สภาวะเดียวกันทุกจำนวนการเติมเพื่อจะได้เปรียบเทียบเทอมต่างๆในแต่ละช่วงได้

3. ทฤษฎีของการพิจารณา

วัฏจักรลอเรนซ์ซึ่งอธิบายเทอมของการเลื่อนของอุณหภูมิในคอนเดนเซอร์กับอีวาปอเรเตอร์ซึ่งสามารถใช้ได้กับสาร Non Azeotropic ทุกประเภทอธิบายได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งเทอมของการเลื่อนของอุณหภูมิในคอนเดนเซอร์ (Condenser Temperature Glide) จะเท่ากับผลต่างของอุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew Point Temperature) กับอุณหภูมิจุดเดือด (Bubble Point Temperature) ณ ความดันของคอนเดนเซอร์ P_2 ส่วนการเลื่อนของอุณหภูมิในอีวาปอเรเตอร์ (Evaporator Temperature Glide)



รูปที่ 3 แสดงการเลื่อนของอุณหภูมิในคอนเดนเซอร์กับอีวาปอเรเตอร์ของสารทำความเย็นผสม

จะเท่ากับอุณหภูมิผลต่างของอุณหภูมิจุดกลั่นตัวกับอุณหภูมิ ก่อนเข้าอีวาปอเรเตอร์ ณ. ความดันอีวาปอเรเตอร์ P_1 [4] การเลื่อนของอุณหภูมิทั้งสองอุปกรณ์จะแปรตามสัดส่วนผสม ซึ่งมีผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวม [5] โดยเฉพาะสารทำความเย็นผสม 3 ชนิด (Temary Refrigerant Blend) ถ้าเกิดการรั่วจากอุปกรณ์ทั้งสองขณะที่ระบบกำลังทำงานจะทำให้สัดส่วนผสมเปลี่ยนแปลงโดยสารที่มีความดันไอสูงกว่าจะรั่วออกมาก่อนยกตัวอย่างเช่นในกรณีนี้ R404A ซึ่งมี R125/R143a/R134a ถ้าหากเกิดการรั่วแล้ว R125 จะรั่วออกมาก่อนเป็นลำดับแรกจากนั้น R143a และ R134a จะรั่วออกตามตามลำดับ การวิเคราะห์เทอมต่าง ๆ อย่างถูกต้องที่ 1. ของเทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 คอมเพรสเซอร์ ถือว่าการะบวนการอัดสารทำความเย็นเป็นกระบวนการโพลีโทรปิก (Polytropic Process) และสามารถหาเทอมของงานคอมเพรสเซอร์ได้จาก

$$\dot{W}_{comp} = \dot{V} \cdot p_s (h_2 - h_1) \quad (1)$$

3.2 อีวาปอเรเตอร์ ความสามารถในการทำความเย็นของอีวาปอเรเตอร์เท่ากับอัตราการไหลโดยมวลกับผลการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกและเข้า

$$\dot{Q}_{comp} = \dot{V} \cdot p_s (h_1 - h_3) \quad (2)$$

3.3 ประสิทธิภาพการดูดเชิงปริมาตรของคอมเพรสเซอร์ ถือว่าเท่ากับอัตราการไหลของแก๊สที่คอมเพรสเซอร์ดูดได้จริงต่ออัตราการไหลของแก๊สทางทฤษฎี ดังความสัมพันธ์

$$\eta_v = \frac{(\dot{m} \cdot p_s)_{actual}}{\dot{V}_{Theoretical}} \times 100 \quad (3)$$

3.4 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยพิจารณาจากเทอมความร้อนที่ได้รับประโยชน์จริงคือความสามารถในการทำความเย็นต่อกำลังขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์จะได้

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \quad (4)$$

3.5 สมบัติของสารทำความเย็นผสม R401A จะได้จากสมการเอนทัลปีและความหนาแน่นหาได้ดังนี้

จุดที่ 1 ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ เอนทัลปีจะเท่ากับ

$$h_1 = 384.0396 - 2.724 \ln p_1 + 0.843822T_1 - 0.0037T_1^2 - 0.00017T_1^3$$

โดยที่ความดันและอุณหภูมิจุดที่ 1 อยู่ในช่วง

$$1.0 \leq P_1 \leq 4.0 \text{ bar} \\ -50^\circ\text{C} \leq T_1 \leq +20^\circ\text{C}$$

จุดที่ 2 ออกจากคอมเพรสเซอร์ เอนทัลปีจะเท่ากับ

$$h_2 = 423.16144121 - 1.1196812 \ln P_2 - 1.303377241T_2 + 0.03296032T_2^2 - 0.000151273345T_2^2$$

โดยที่ความดันและอุณหภูมิจุดที่ 2 อยู่ในช่วง

$$10 \leq P_2 \leq 20 \text{ bar} \\ 40^\circ\text{C} \leq T_2 \leq 110^\circ\text{C}$$

จุดที่ 5 ของเหลวออกจากคอนเดนเซอร์มีค่าเอนทัลปีกับความหนาแน่นเท่ากับ

$$h_5 = 196.95 + 1.7059T_5 - 0.008T_5^2 + 0.000154T_5^3 \\ \rho_5 = 1164.90 + 5.736T_5 + 0.0349T_5^2 - 0.00093T_5^3$$

โดยที่อุณหภูมิจุดที่ 5 อยู่ในช่วง

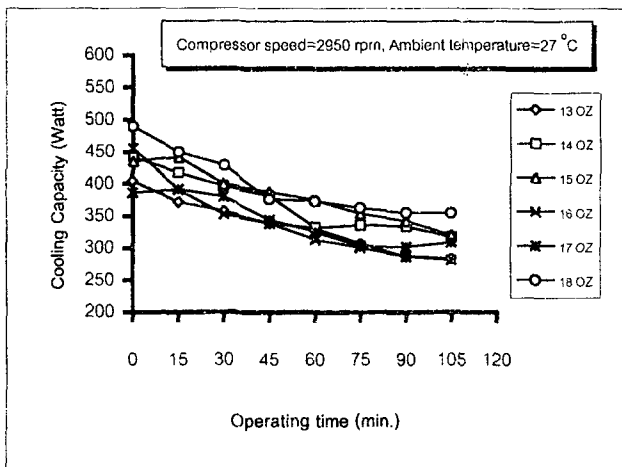
$$20^\circ\text{C} \leq T_5 \leq 60^\circ\text{C}$$

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการทดสอบค่าต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบการทำความเย็น ซึ่งจะเป็นแนวทางในการประมาณจำนวนของการเติมสารทำความเย็นผสม โดยจะเปรียบเทียบในเทอมความสามารถในการทำความเย็นของอุณหภูมิของการเดือดหรืออุณหภูมิของอีวาปอเรเตอร์ อุณหภูมิภายในตัวตู้ อัตราส่วนความดันของด้านสูงและด้านต่ำ ประสิทธิภาพการดูดของคอมเพรสเซอร์ซึ่งมีผลโดยตรงกับอุณหภูมิของอีวาปอเรเตอร์ อุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนของคอมเพรสเซอร์ซึ่งจะเป็นตัวแปรในการเลือกสารหล่อลื่นโดย

จะต้องไม่สูงเกินไปซึ่งอาจทำให้สารหล่อลื่นหรือน้ำมันคอมเพรสเซอร์เปลี่ยนสภาพเป็นไขหรือแข็งหรือเปลี่ยนแปลงความหนืดและจะเปรียบเทียบในเทอมของสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบการทำความเย็นซึ่งจะได้ดังนี้

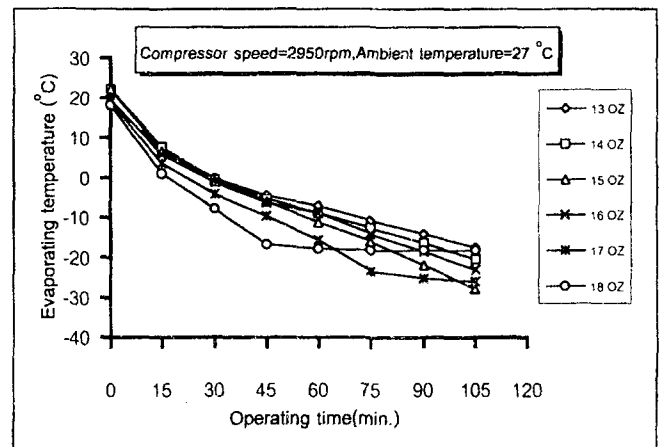
4.1 ความสามารถในการทำความเย็น จากรูปที่ 4. จะพบว่าเมื่อทดสอบจากช่วงเริ่มต้นจนเวลาผ่านไปจะทำให้อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ลดลง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการทำความเย็นลดลง [4] และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนการเติมสารทำความเย็นพบว่าจำนวนการเติมสารทำความเย็นพบว่าจำนวนการเติม 13,14,15,16,17 และ 18 OZ ค่าความร้อนของอีวาโปเรเตอร์จะเริ่มสูงสุดช่วง 400 Watt ถึง 500 Watt และลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป 105 นาทีค่าความสามารถในการทำความเย็นจะเฉลี่ยระหว่าง 300 ถึง 400 Watt โดยแนวโน้ม ถ้าจำนวนการเติมมากกว่า 18 OZ ค่าความสามารถจะสูงขึ้นแต่ในทางตรงข้ามถ้าเติมน้อย 13 OZ พบว่าค่าความสามารถของอีวาโปเรเตอร์จะลดลง



รูปที่ 4. ความสามารถในการทำความเย็นของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

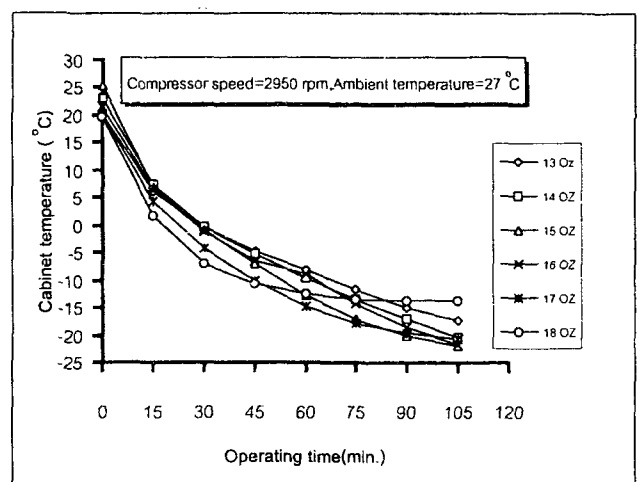
4.2 อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ ดังรูปที่ 5 จะพบว่าคอมเพรสเซอร์เริ่มทำงานอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์จะค่อยๆลดลงสารทำความเย็นผสมจะมีแนวโน้มเหมือนกับสารเดี่ยว และจะพบว่าถ้าเติม R404A อยู่ในช่วง 15-17 OZ อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์จะต่ำกว่าที่จำนวนการเติมอื่นๆ โดยเมื่อเติมสารทำความเย็นน้อยเกินไปจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอีวาโปเรเตอร์สูงเช่นเดียวกับเติมสารทำความเย็นมากเกินไปคือจำนวน 13,14 และมากเกินไป 18 OZ จะมีอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์สูง ซึ่งจำนวน 18 OZ เป็นการเติมจนสารทำ

ความเย็นท่วมไม่มีองศาซูเปอร์ฮีทเลยซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียเกี่ยวกับชิ้นส่วนทางกลของคอมเพรสเซอร์ได้



รูปที่ 5. อุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

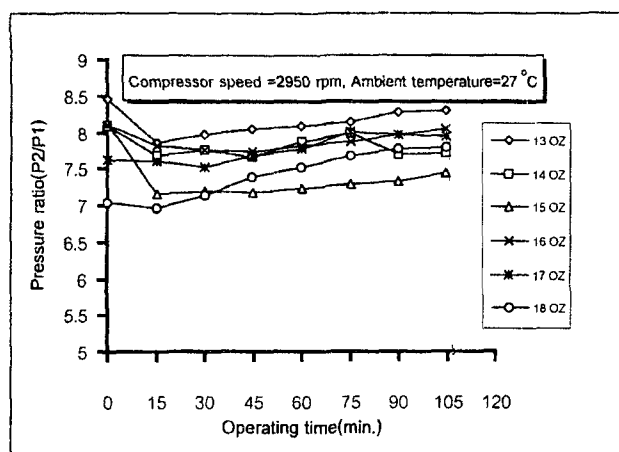
4.3 อุณหภูมิของตู้ซึ่งก็เป็นผลที่สอดคล้องอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์เนื่องจากอุณหภูมิแตกต่างของสารทำความเย็นกับอุณหภูมิอากาศที่หมุนเวียนในตัวตู้ในเทอมอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลึก (Mean effective Temperature different) ซึ่งจะคงที่อธิบายได้ดังรูปที่ 5. และรูปที่ 6. ซึ่งสอดคล้องกันโดยปกติอุณหภูมิตู้ต้องการรักษาไว้ที่ -18°C ซึ่งจำนวนการเติม 15 ถึง 17 OZ จะใช้เวลาประมาณ 90 นาที และสำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลึกที่ได้ออกแบบไว้ 7 ถึง 8 K ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ในตู้จะประมาณ 81 ถึง 85 %



รูปที่ 6. อุณหภูมิของตู้แช่เชิงพาณิชย์หรือจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

4.4 อัตราส่วนความดันอธิบายจากรูปที่ 7. จำนวนของการเติมสาร R404A ถ้าหากน้อยเกินไปจะทำให้อัตราความ

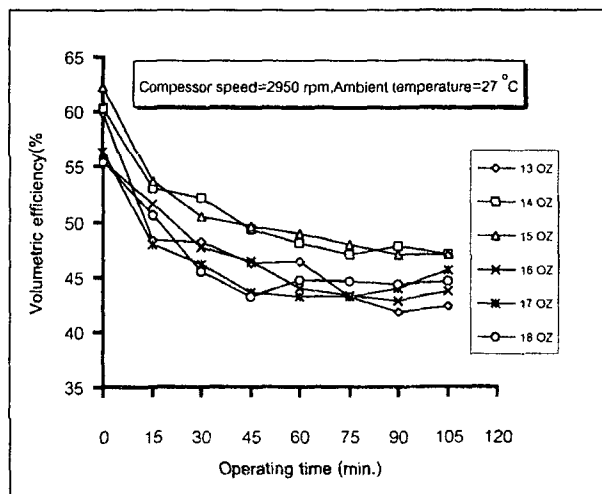
ดันจะสูงเช่นที่ 13 OZ อัตราส่วนความดันจะสูงถึง 8.5 ขณะเริ่มเดินวงจรใหม่ๆจะลดลงช่วงแรกจากนั้นจะสูงขึ้นเรื่อยๆจนสิ้นสุดการทดสอบ เทอมของอัตราส่วนความดันจะเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงงานของคอมเพรสเซอร์ซึ่งอธิบายในเทอมของกระบวนการแก๊สอุดมคติหรือกระบวนการโพลีโทรปิก (Polytropic Process) จำนวนการเติม R404A ที่ทำให้ค่าอัตราส่วนการอัดต่ำจะอยู่ในช่วง 15 ถึง 17 OZ โดยเฉพาะจำนวนเติม 16 OZ มีค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาการทดสอบ



รูปที่ 7. อัตราส่วนความดันของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

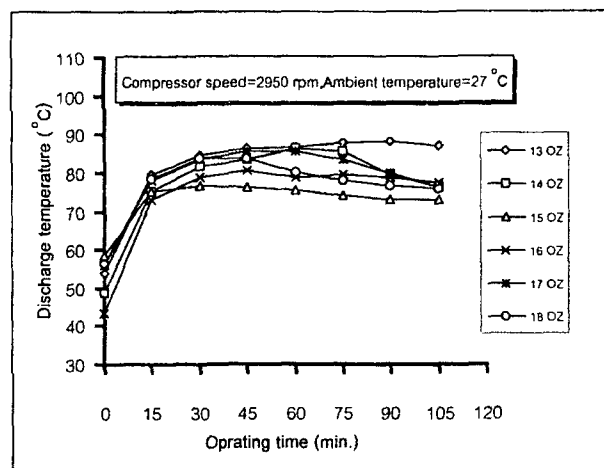
4.5 ประสิทธิภาพการดูดเชิงปริมาตรอธิบายจากรูปที่ 8 พบว่าจำนวนการเติมสาร R404A มีผลต่อเทอมประสิทธิภาพการดูดของคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของอัตราส่วนมวลที่ดูดได้จริงต่อมวลทางทฤษฎีพบว่าจำนวนการเติมน้อยเกินไป 13 OZ และมากเกินไป 18 OZ นั้นจะทำให้คอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพการดูดต่ำ ส่วนจำนวนที่เติม 14 ถึง 15 OZ จะมีค่าสูงใกล้เคียงกันและที่ 16 OZ จะมีค่าอยู่ประมาณปานกลางโดยเมื่ออุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ลดลงหรือเวลาผ่านไปจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดลดต่ำลงเพราะค่าปริมาตรจำเพาะของ R404A เพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.6 อุณหภูมิของการส่งแก๊สร้อนอธิบายดังรูปที่ 9. เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของการส่งแก๊สร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นจนกระทั่งคงที่โดยประมาณในช่วง 75°C ถึง 85°C ทุกจำนวนการเติม แต่จำนวนการเติมที่พอดี 15 OZ จะมีค่าต่ำสุดส่วนจำนวนเติม 13 OZ ซึ่งน้อยเกินไปจะทำให้มีอุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนสูง เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากว่าอ่างคาซูปเปอร์ของฮีทของไอที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์จะค่อยๆสูงขึ้น



รูปที่ 8. ประสิทธิภาพการดูดเชิงปริมาตรของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

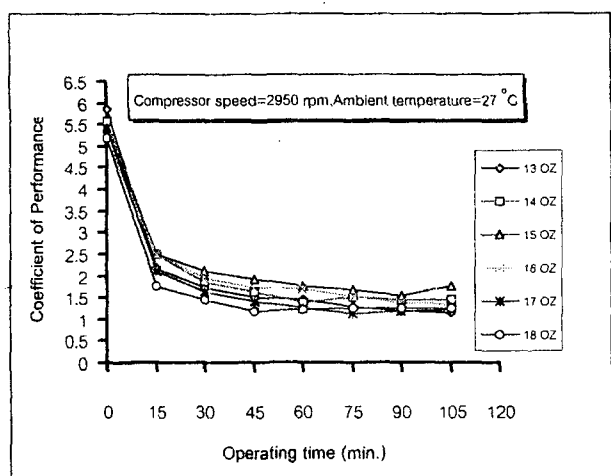
เรื่อยๆเนื่องจากมีความร้อนสะสมขึ้นจำนวนหนึ่ง ในคอมเพรสเซอร์ซึ่งจะมีมอเตอร์รวมอยู่ด้วยส่วนจำนวน 15 OZ ที่เติมพอดีจะทำให้ไอซูเปอร์ฮีทซึ่งมีอุณหภูมิต่ำออกจากอีวาโปเรเตอร์เข้าไปช่วยระบายความร้อนของมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์จึงทำให้อุณหภูมิของการส่งแก๊ส ที่ออกจากคอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดลง และจำนวนเติม R404A เท่ากับ 16 OZ ก็จะมีอุณหภูมิคล้ายกับจำนวน 15 OZ ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่พอดี



รูปที่ 9. อุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนของคอมเพรสเซอร์ของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

4.7 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ ค่าสัมประสิทธิ์ของซึ่งสมรรถนะของระบบซึ่งจะแปรตามอุณหภูมิของอีวาโปเร

เตอร์โดยเมื่ออุณหภูมิของอีวাপโปเรเตอร์ลดลงเทอมของสมรรถนะจะลดลงตาม ดังรูปที่ 10 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะลดลงเมื่อเวลาการทดสอบเพิ่มขึ้น โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะตู้แช่แข็งพาณิชย์จะอยู่ประมาณ 1.3 และจะไม่ต่ำกว่า 1 จำนวนการเติม R404A ทั้งหมดมีแนวโน้มเหมือนกันคือจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาประมาณ 15 นาทีต่อจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาช่วง 30 ถึง 105 นาทีของช่วงการทดสอบ แต่จำนวนการเติม 15 ถึง 16 OZ ระบบจะมีสมรรถนะสูงกว่าจำนวนการเติมอื่นๆ เฉลี่ยประมาณ 1.75 สำหรับจำนวนการเติมน้อย 13 OZ และหากจำนวนการเติมมากถึง 18 OZ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะจะค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยประมาณ 1.35 ดังในรูปที่ 10



รูปที่ 10. สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของจำนวนการเติม R404A ต่างๆ

5. สรุป

สรุปผลการวิจัยพบว่าจำนวนการเติมสารทำความเย็นมีผลต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบทำความเย็นโดยเฉพาะสารทำความเย็นกลุ่ม Zeotropic ด้วยแล้วจะต้องให้ความสำคัญต่อจำนวนการเติมเข้าในระบบ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ถือว่ากระบวนการเติมไม่ทำให้สัดส่วนของ R404A (R125/R143a/R134a=44/52/4 เปอร์เซนต์โดยมวล) เปลี่ยนแปลงตลอดการทดสอบและการทดสอบจะคล้ายกับการทำงานจริงของระบบกล่าวคือถ้าหากจำนวนการเติมมากเกินไปจะทำให้มีองศาซูเปอร์ฮีทสูง คอมเพรสเซอร์แบบปิดมิดซีดจะร้อนมากซึ่งเกิดจากการทำงานของมอเตอร์กับคอมเพรสเซอร์ ถ้าหากจำนวนการเติมมากเกินไปองศาซูเปอร์ฮีทจะลดลงจนอาจจะทำให้สารทำความเย็นเหลวล้นเข้า

คอมเพรสเซอร์ซึ่งทำให้ระบบการหล่อลื่นชิ้นส่วนทางกลของคอมเพรสเซอร์และมอเตอร์ไม่ดีพอจนทำให้เกิดความเสียหายได้ จำนวนการเติมสารทำความเย็นสำหรับตู้แช่แข็งพาณิชย์ที่ได้ทดสอบนี้จะอยู่ในช่วง 15 ถึง 16 OZ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 325 ถึง 350 Watt ที่อุณหภูมิอีวাপโปเรเตอร์ -23.3°C อัตราส่วนความดันมีค่าประมาณ 7.2:1 ถึง 7.5:1 ประสิทธิภาพการดูดของคอมเพรสเซอร์จะอยู่ในช่วง 45 ถึง 47 % อุณหภูมิการส่งแก๊สร้อนของคอมเพรสเซอร์อยู่ในช่วง $75-80^{\circ}\text{C}$ และเทอมสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะที่ -23.3°C จะประมาณ 1.5 ซึ่งค่อนข้างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท สยามสแตนเลสสตีล จำกัด ที่ได้ให้ข้อมูลบางอย่างและสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น JICA ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนมา ณ โอกาสนี้ด้วย

รายการสัญลักษณ์

COP	= สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ
h	= เอนทัลปีจำเพาะ, kJ.kg^{-1}
$\dot{m}$	= อัตราการไหลโดยมวล
min	= เวลา, นาที
$(\dot{m}p)_{actual}$	= อัตราการไหลโดยปริมาตรจริง, $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
OZ	= น้ำหนัก, ออนซ์
P	= ความดันสัมบูรณ์, bar
$\dot{Q}_{evap}$	= ความสามารถในการทำความเย็น, Watt
T	= อุณหภูมิจุดต่างๆ, $^{\circ}\text{C}$
$\dot{V}$	= อัตราการไหลโดยปริมาตร, $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
$\dot{V}_{theoretical}$	= อัตราการไหลทางทฤษฎี, $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
$\dot{W}_{COMP}$	= กำลังขับคอมเพรสเซอร์, Watt
ρ	= ความหนาแน่น, kg.m^{-3}
η_v	= ประสิทธิภาพการดูดเชิงปริมาตร, %

เอกสารอ้างอิง

[1] เทียบ อ้อกิจ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, " การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบการทำความเย็นของรถยนต์

ที่ใช้สารทำความเย็นผสม R22/R152a/R124 และ R12 “วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี2541, หน้า 1-14.

[2] H. Yunho, J. John, and R. Reinhard, "Experience with Refrigerant Mixtures," ASHRAE Transaction: Symposia, Vol1, 1997, pp.765-766.

[3] T. Kiatsirirot and T. Euakit, "Second Law Analysis of An Automobile Air – Conditioner with R22/R124/R152a Refrigerant Mixture," Proceedings of Second Asian Renewable Energy Conference, Vol.1. 1997, pp.259-5265

[4] T. Kiatsirirot and T. Euakit "Performance Analysis of An Automobile Air-Conditioning System with R22/R124/R152A Refrigerant." Applied Thermal Engineering. Vol.17. No.11.1997. pp.1085-1097.

[5] T. Euakit and T. Kiatsirirot, "Experimental Study of An Automobile Air-Conditioner with R22/R152a/R124 Refrigerant. " Proc. of Tri-University Joint Seminar & Symposium. Chiang Mai University. 1995, pp.130-135.

[6] Dupont. "SUVA HP Refrigerant," Dupont Chemicals Fluorochemicals Customer Service Center Wilmington, DE 19898.

[7] B. Evelyn. S.B. Evren and R.D. Francis. "Evaluation of Ozone-Friendly Hydrofluoropropane-Based Zeotropic Refrigerant Mixtures in a Lorenz-Mentzner Refrigerator / Freezer." ASHARE Transactions: Research. Vol.1 .1997, pp.59-67.