

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นสารทำความเย็น

Performance Test of Split Type Air-Conditioner Using Liquefied Petroleum Gas (LPG) as Refrigerant

สุรสิทธิ์ เทียงจันตา และ ชัชวาลย์ ชัยชนะ*

Surasit Thiangchanta and Chatchawan Chaichana*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ. ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,
239 Huay Kaew Rd., Muang District, Chiang Mai, Thailand 50200

*c.chaichana@gmail.com, Tel: +66 53 215 388

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) แทนที่สารทำความเย็น R22 โดยการทดลองใช้เครื่องทดสอบเดียวกันขนาด 12,300 BTU/hr และไม่ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ของเครื่องปรับอากาศ การหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ใช้โปรแกรม REFPROP ในการคำนวณ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้เป็นแบบที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีสัดส่วนโดยมวลของโพรเพน 70% และ บิวเทน 30% ในการทดลองตั้งอุณหภูมิปรับอากาศภายในห้องทดลองที่ 25°C ทำการทดลองเป็นเวลา 72 ชั่วโมงเพื่อหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_R) และคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะแบบฤดูโดยวิธีการ BIN (COP_{BIN}) โดยการทดลองนี้ได้หาพลังงานและสมรรถนะแบบฤดูของการใช้สาร R22 แล้วจึงเปรียบเทียบค่าที่ได้กับการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ผลทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างเอนทัลปีที่เครื่องทำระเหย (dh_{evap}) ของการใช้สาร LPG มากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 59.7% และในการทดลองใช้สาร LPG พบว่าสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25°C ได้ตลอดการทดลอง ในส่วนของค่าเฉลี่ยของผลรวมงานเครื่องอัดไอต่อวันในการใช้สาร R22 มีค่าน้อยกว่าการใช้สาร LPG 30% การทดลองใช้สาร R22 มีค่า COP_R เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 3.73 มากกว่าการใช้สาร LPG ที่มีค่าเท่ากับ 2.33 ประมาณ 37.8% โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลรวมภาระความร้อนมากขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าผลรวมความสามารถการทำความเย็นแบบฤดู (Q_{BIN}) ของการใช้ทั้งสองสารมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ผลรวมงานเครื่องอัดไอแบบฤดู (W_{BIN}) ของการใช้สาร LPG มีค่ามากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 38.5% โดยที่ผลของค่า COP_{BIN} ในการใช้สาร R22 มีค่าเท่ากับ 3.57 มากกว่าการใช้สาร LPG ที่มีค่าเท่ากับ 2.21 ประมาณ 38.1% จึงสรุปได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถใช้เป็นสารทำความเย็นได้โดยที่สามารถรักษาอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25°C ได้ในทุกอุณหภูมิมีสภาวะอากาศที่ทดลอง และมีความสามารถการทำความเย็นที่ใกล้เคียงกับการใช้สาร R22

ABSTRACT

This research investigates the performance split type air-conditioner that uses Liquefied Petroleum Gas (LPG) as refrigerant. An air conditioner was chosen R22 used in the air conditioners was replaced with LPG in the same air conditioner. No modification was made to the air conditioner of cooling capacity is 12,300 BTU/hr. Thermodynamic properties of refrigerant are calculated using REFPROP program. LPG is composited of about 70% propane and 30% butane by mass fraction. An experiment was set room temperature at 25°C to test 72 hours to find Coefficient of Performance (COP_R) and estimate seasonal performance (COP_{BIN}) by using BIN method. The trial is to find the COP_{BIN} of R22 used and then compare the results with the used of LPG.

The results showed that the average evaporator enthalpy change of LPG used more than R22 used about 59.7% and LPG used was able to control the room temperature at 25°C. Average compressor work consumption by day for the use of R22 is less than the use of LPG at 30%. An experiment with a R22 used have the average COP_R by day about 3.73 was greater than the 2.33 of LPG used at 37.8% and tendency to decrease with the total heat load decreasing. The result of seasonal cooling capacity (Q_{BIN}) of both refrigerants is very similar. The seasonal compressor work consumption (W_{BIN}) of LPG used is higher than R22 used at 38.5%, with a COP_{BIN} of R22 used is 3.57 more than LPG used is 2.21 at 38.1%. It can be concluded that LPG can be use as refrigerant by LPG used could be control room temperature at 25°C in any time of experiment ambient temperature. By the cooling capacity of LPG used very similar to R22 used.

1. บทนำ

เนื่องจากปรากฏการณ์โลกร้อนและภาวะเรือนกระจก ซึ่งประเทศต่างๆทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญหนึ่งในสาเหตุของปัญหาคือสารทำความเย็นประเภท CFC ที่มีผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อมสูง โดยมีดัชนีวัดคือค่าปรากฏการณ์โลกร้อนใน 100 ปี (GWP) และค่าการทำลายชั้นบรรยากาศ (ODP) ดังแสดงในตารางที่ 1 [1] ถึงแม้จะเปลี่ยนมาใช้สาร R22 ที่เป็นสารทำความเย็นประเภท HCFC ที่มีค่า ODP และมีค่า GWP น้อยกว่าสารประเภท CFC แต่ก็ยังคงมีผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อมอยู่แต่ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่มีส่วนประกอบของโพรเพนและบิวเทน ที่ใช้เป็นสารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) คือ R290 และ R600 โดยใช้กันอย่างแพร่หลายประเทศในทวีปยุโรป ซึ่งมีค่า ODP เป็นศูนย์ และมีค่า GWP ต่ำมาก อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าสารทำความเย็น R22 มีจำหน่ายทั่วไปและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยไม่ต้องสังเคราะห์ จึงมีแนวคิดที่จะใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่ผลิตเพื่อการค้ามาเป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตารางที่ 1 ค่าผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อม

| สาร | R12 | R22 | R134a | R290 | R600 |
|---------|------------|------------|------------|----------|----------|
| ประเภท | CFC | HCFC | HFC | HC | HC |
| การผลิต | สังเคราะห์ | สังเคราะห์ | สังเคราะห์ | ธรรมชาติ | ธรรมชาติ |
| ODP | 1 | 0.055 | 0 | 0 | 0 |
| GWP | 10,900 | 1,810 | 1,430 | 3.3 | 3 |

2. คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีสารประเภทไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลักคือ โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) ผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จากผู้ผลิต ได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันหรือแยกตัวมาจากก๊าซธรรมชาติ ปกติจะอยู่ในสถานะก๊าซภายใต้สภาวะบรรยากาศ แต่จะอยู่ในสถานะของเหลวภายใต้ความดันสูง โดยจะมีโพรเพนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งที่ความดันบรรยากาศ โพรเพนจะมีจุดเดือดที่ประมาณ -40°C และบิวเทนมีจุดเดือดอยู่ที่ประมาณ 0°C

การทดลองนี้ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่มีส่วนประกอบของโพรเพน 70% และ บิวเทน 30% โดยมีค่าอุณหภูมิวิกฤติและความดันวิกฤติใกล้เคียงกับสาร R22 แสดงดังตารางที่ 2 ทำให้

มั่นใจได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถทำงานได้ในเครื่องปรับอากาศที่ออกแบบเพื่อใช้กับสาร R22 ตามวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ การหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์จากโปรแกรม REFPROP และจากงานวิจัยอื่นระบุว่าทั้งโพรเพนและบิวเทนสามารถเข้ากันได้ทั้งน้ำมันหล่อลื่นธรรมชาติและสังเคราะห์ โดยไม่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดไอ [2]

ตารางที่ 2 จุดวิกฤติของสารทดลอง

| | R22 | LPG |
|---------------------|------|-------|
| อุณหภูมิวิกฤติ (°C) | 96.1 | 113.1 |
| ความดันวิกฤติ (MPa) | 4.99 | 4.31 |

3. การออกแบบการทดลอง

3.1 การเตรียมเครื่องปรับอากาศและการติดตั้งเครื่องมือวัด

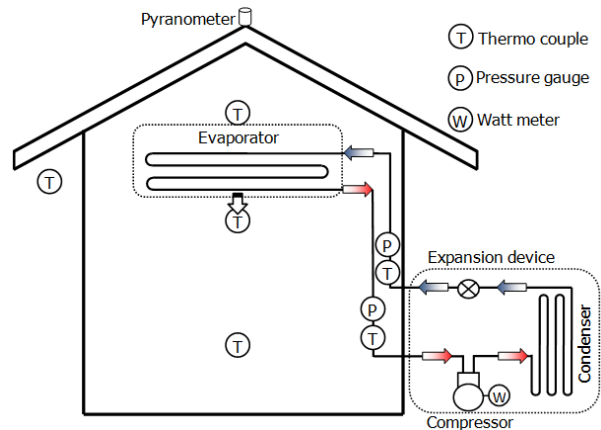
การทดลองใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 12,300 BTU/hr เครื่องอัดไอเป็นชนิดความเร็วรอบการทำงานคงที่ โดยติดตั้งที่ห้องทดลองซึ่งมีลักษณะเป็นบ้านอยู่ในสถานะแวดล้อมเปิด ดังรูปที่ 1 และติดตั้งเครื่องมือวัดซึ่งประกอบไปด้วยเทอร์โมคัปเปิลเปิด มาตรฐานความดัน มาตรฐานแรงดัน และวัตต์มิเตอร์ ตามจุดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ห้องทดลอง

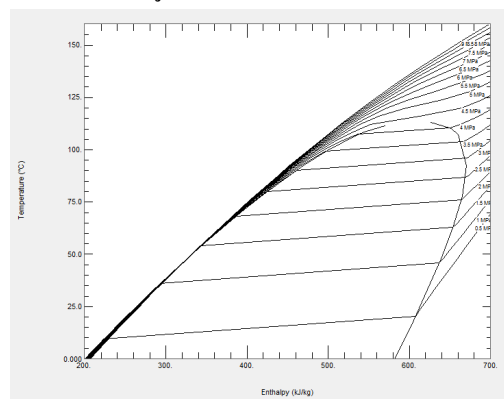
ในการอัดสารทำความเย็นเข้าภายในระบบนั้น ในการทดลองใช้สาร R22 ได้อัดสารให้มีความดันควบแน่นด้านความดันสูงเท่ากับ 1.78 MPa ใช้มวล 950 กรัมตามที่ผู้ผลิตกำหนด และเนื่องจากการทดลองต้องการ

เปรียบเทียบค่าความสามารถการทำความเย็นของสารทำความเย็นสองชนิด จึงต้องทดลองที่อุณหภูมิควบแน่น (Condensing temperature) เท่ากัน โดยการเปลี่ยนสารทำความเย็นจะต้องอ้างอิงเป็นไปตามความดันเครื่องควบแน่น ในการใช้สาร R22 หาอุณหภูมิควบแน่นได้ 46°C จากโปรแกรม REFPROP



รูปที่ 2 จุดติดตั้งเครื่องมือวัด

เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นสารผสม ซึ่งมีจุดควบแน่นแปรผันตามสัดส่วนของสารผสม ที่เรียกว่าสารประเภท Azeotropes ดังนั้นที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งจะมีความดันควบแน่นไม่คงที่ตามแผนภาพอุณหภูมิ-เอนทัลปี (T-h) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพ T-h ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

จากงานวิจัยของ G.Hundy และ R.Vittal [3] ซึ่งหาความดันกลางของสารประเภท Azeotropes โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย ซึ่งสาร LPG ที่อุณหภูมิ 46°C มีความดันไอ

อิมตัวเท่ากับ 1.26 MPa และมีความดันของเหลวอิมตัวเท่ากับ 1.01 MPa ดังนั้นจึงหาความดันกลางได้เท่ากับ 1.135 MPa ซึ่งใช้เป็นค่าความดันควมแน่นในการอัดสาร LPG เข้าสู่ระบบ โดยหลังจากอัดสาร LPG แล้วพบว่าใช้มวลเท่ากับ 1,170 กรัม

การทดลองมีตัวแปรควบคุมคือตั้งอุณหภูมิปรับอากาศในห้องทดลองที่ 25°C เพื่อเก็บบันทึกผลของตัวแปรที่ต้องการคือ อุณหภูมิสภาวะสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในห้องทดลอง อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าและทางออก เครื่องทำระเหย อุณหภูมิสารทำความเย็นที่ทางเข้าและทางออกเครื่องทำระเหย ความดันสารทำความเย็นที่ทางเข้าและทางออกเครื่องทำระเหย กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ และความเข้มรังสี เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นจากการทดลองและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู

3.2 การหาภาระความร้อนรวมของห้องทดลอง

เนื่องจากห้องทดลองอยู่ในสภาวะเปิด ดังนั้นการหาภาระความร้อนรวมต้องรวมความร้อนจากทั้ง การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าไปในห้องทดลอง โดยภาระความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (\dot{Q}_T) ระหว่างภายในและภายนอกห้องทดลอง สามารถหาจากสมการ

$$\dot{Q}_T = UA_w dT \quad (1)$$

เมื่อ

- A_w คือ พื้นที่ผนังถ่ายเทความร้อน (m^2)
- U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)
- dT คือ ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกห้องทดลอง (K)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{in}} + \sum \left[\frac{x_i}{k_i} \right] + \frac{1}{h_{out}} \quad (2)$$

เมื่อ

- h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)

- k_i คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนังแต่ละชั้น ($W/m \cdot K$)

- x_i คือ ความหนาของผนังแต่ละชั้น (m)

การถ่ายเทความร้อนอีกแบบที่เข้าไปยังห้องทดลองคือการแผ่รังสีความร้อน โดยพิจารณาจากการดูดซับรังสี (G_{absorb}) และการรับรังสีจากบรรยากาศ (G_{sky}) อีกทั้งการแผ่รังสี (E) ออกจากผนังภายนอก โดยความสัมพันธ์เป็นไปตามรูปที่ 4 และหาการถ่ายเทความร้อนจากรังสี (\dot{Q}_{rad}) จากการสมดุลพลังงานที่ผ่านผนัง [4] สามารถหาได้จากสมการ

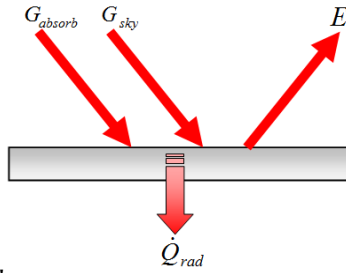
$$\begin{aligned} \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} &= 0 \\ \dot{Q}_{rad} &= A_w G_{absorb} + A_w G_{sky} - A_w E \\ \dot{Q}_{rad} &= A_w (\alpha G) + A_w (\alpha_{sky} \sigma T_{sky}^4) - A_w (\epsilon \sigma T_{surface}^4) \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ

- G คือ ความเข้มรังสีรวม (W/m^2)
- α คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี
- ϵ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของผนัง
- α_{sky} คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีของบรรยากาศ (สมมติให้มีค่าเท่ากับ $\alpha_{sky} = \epsilon$)
- σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)
- T_{sky} คือ อุณหภูมิบรรยากาศ (K)
- $T_{surface}$ คือ อุณหภูมิพื้นผิวผนัง (K)

การหาอัตราภาระความร้อนรวมของห้องทดลอง (\dot{Q}_{load}) หาจากการรวมภาระความร้อนจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (\dot{Q}_T) และภาระความร้อนจากรังสี (\dot{Q}_{rad}) สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{load} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_{rad} \quad (4)$$



รูปที่ 4 รังสีและการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

3.3 การหาพลังงานแบบฤดูโดยวิธีการ BIN

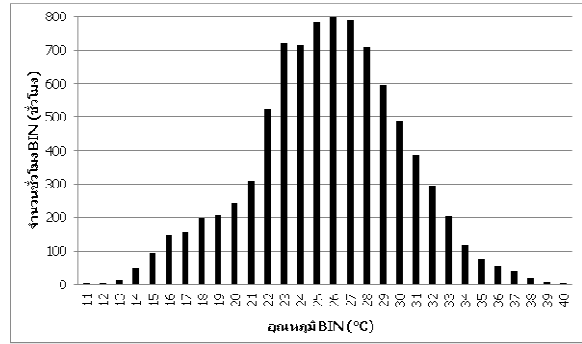
การประมาณการพลังงานแบบฤดูทำได้หลายวิธี โดยในการทดลองนี้จะใช้วิธีการที่ชื่อ BIN ซึ่งเป็นวิธีการประมาณการพลังงานที่เหมาะสมสำหรับระบบที่สมรรถนะแปรผันไปตามสภาวะอากาศ โดยใช้ตัวแทนข้อมูลสภาวะอากาศรายชั่วโมง เป็นตัวแปรในการคำนวณ เพื่อประมาณการพลังงานแบบฤดูในทุกสภาวะอากาศทั้งปี ซึ่งค้นคว้าและเผยแพร่โดย ASHRAE [5] โดยการทดลองนี้หาพลังงานแบบฤดูคือ ความสามารถในการทำความเย็นแบบฤดู (Q_{BIN}) และงานเครื่องอัดไอแบบฤดู (W_{BIN}) รวมถึงหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู (COP_{BIN}) ของการใช้สาร R22 แล้วจึงเปรียบเทียบกับที่ได้กับการใช้สาร LPG โดยต้องใช้ข้อมูลจำนวนชั่วโมง BIN (N_{BIN}) ของสภาวะอากาศ ซึ่งแบ่งไปตามอุณหภูมิกระเปาะแห้งทั้งหมด 8,760 ข้อมูลในหนึ่งปี โดยใช้ข้อมูลของจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นสถานที่ทดลองแสดงดังรูปที่ 5 โดยข้อมูลสภาวะอากาศที่ใช้ เป็นข้อมูลทางสถิติซึ่งจัดทำไว้หลายรูปแบบ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ข้อมูลสภาวะอากาศชนิด TMY2 [6] ซึ่งเก็บข้อมูลรายชั่วโมงเป็นเวลา 30 ปี โดยเป็นข้อมูลจากโปรแกรม METEONORM ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลาย

การหางานเครื่องอัดไอแบบฤดู (W_{BIN}) ในหน่วย kWh สามารถหาได้จากสมการ

$$W_{BIN} = N_{BIN} (OTF) (\dot{W}_{comp}) \quad (5)$$

เมื่อ

\dot{W}_{comp} คือ กำลังเครื่องอัดไอ (kW)



รูปที่ 5 จำนวนชั่วโมง BIN ของจังหวัดเชียงใหม่

สัมประสิทธิ์เวลาปฏิบัติงาน Operating Time Factor (OTF) สามารถหาได้จากสมการ

$$OTF = \dot{Q}_{load} / \dot{Q}_{adj} \quad (6)$$

เมื่อ

\dot{Q}_{load} คือ อัตราภาระความร้อนรวมของห้องทดลอง (kW)

อัตราความสามารถทำความเย็นปรับแก้แล้ว (\dot{Q}_{adj}) สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{adj} = \dot{Q}_{evap} \left\{ 1 - C_d \left(1 - \frac{\dot{Q}_{load}}{\dot{Q}_{evap}} \right) \right\} \quad (7)$$

เมื่อ

C_d คือ สัมประสิทธิ์การเสื่อมสภาพ (Degradation coefficient) กำหนดโดยผู้ผลิตหรือมีค่าเท่ากับ 0.25 เมื่อไม่ทราบค่า

ความสามารถทำความเย็นแบบฤดู (Q_{BIN}) ในหน่วย kWh สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{BIN} = N_{BIN} (OTF) (\dot{Q}_{adj}) \quad (8)$$

การหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู (COP_{BIN}) หาได้จากผลรวมความสามารถทำความเย็นแบบฤดูต่อผลรวมของงานเครื่องอัดไอรวมแบบฤดูในทุกอุณหภูมิ BIN สามารถหาได้จากสมการ

$$COP_{BIN} = \sum Q_{BIN} / \sum W_{BIN} \quad (9)$$

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองของการใช้สาร R22 และการใช้สาร LPG ในการทดลอง 72 ชั่วโมงของแต่ละสารได้แก่ ผล

ส.เที่ยงจันตา และ บ.ชัยชนะ

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ผลการทดลองแยกตาม อุณหภูมิสภาพอากาศ และผลการคำนวณพลังงานแบบฤดู โดยวิธีการ BIN มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสภาพอากาศตั้งแต่ 25°C ขึ้นไป พบว่าในการใช้สาร R22 มีอุณหภูมิสภาพอากาศอยู่ในช่วง 25-33°C และการใช้สาร LPG มีอุณหภูมิสภาพอากาศอยู่ในช่วง 25-35°C ซึ่งถือว่ามีช่วงอุณหภูมิสภาพอากาศใกล้เคียงกัน โดยการทดลองได้หาผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศใน 72 ชั่วโมงแล้วจึงพิจารณาเป็นผลเฉลี่ยต่อ 24 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเห็นได้ว่าการทดลองใช้สาร R22 มีผลรวมภาระความร้อนมากกว่าการใช้สาร LPG เท่ากับ 11.5% โดยการทดลองใช้สารทั้งสองมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ของเครื่องอัดไอไม่เกินที่ผู้ผลิตได้กำหนดคือ 1.06 kW จึงไม่เกิดปัญหาการใช้พิกัดกำลังไฟฟ้าเกินที่จะทำให้เครื่องอัดไอเกิดความเสียหายขึ้นได้ และผลของจำนวนครั้งในการตัดต่อของเครื่องอัดไอภายในหนึ่งวันใกล้เคียงกันในการใช้ทั้งสองสาร แต่การใช้สาร LPG มีความแตกต่างเอนทาลปีของเครื่องทำระเหยเฉลี่ยมากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 59.7%

ผลรวมงานเครื่องอัดไอ (W_{comp}) ในหน่วย kWh พบว่าการใช้สาร LPG มีค่า W_{comp} มากกว่าการใช้ R22 ประมาณ 30% และจากการทดลองพบว่าผลรวมความสามารถทำความเย็น (Q_{evap}) ในหน่วย kWh เพิ่มขึ้นเมื่อมีผลรวมภาระความร้อนสูงขึ้น และพบว่าการทดลองใช้สาร R22 มีค่า Q_{evap} มากกว่าการใช้สาร LPG ประมาณ 11.3% ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับผลรวมภาระความร้อน ผลของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_R) พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีภาระความร้อนเพิ่มขึ้นของการทดลองใช้ทั้งสองสาร จากการทดลองใช้สาร R22 พบว่ามีค่า COP_R เท่ากับ 3.73 ซึ่งใกล้เคียงกับการทดสอบของผู้ผลิตคือ 3.4 และในการทดลองใช้สาร LPG พบว่ามีค่า COP_R เท่ากับ 2.33 ซึ่งน้อยกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 37.8% เป็นผลเนื่องมาจากการทดลองใช้ทั้งสองสารมีค่า Q_{evap} ที่

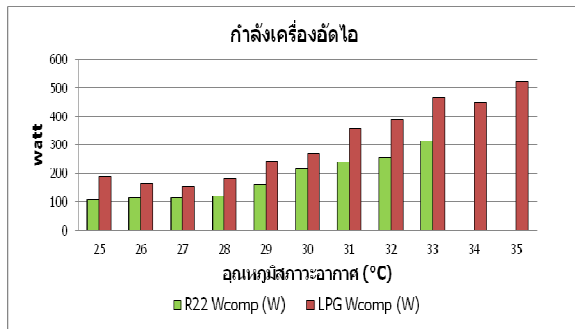
ใกล้เคียงกันแต่ในการทดลองใช้สาร LPG มีค่า W_{comp} มากกว่า

ตารางที่ 3 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

| | R22 | LPG |
|---|-------|-------|
| อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย (°C) | 27.7 | 28.5 |
| กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องอัดไอ (kW) | 0.92 | 0.97 |
| จำนวนครั้งในการตัดต่อของเครื่องอัดไอภายใน 1 วัน (ครั้ง) | 95 | 91 |
| ความแตกต่างเอนทาลปีของเครื่องทำระเหยเฉลี่ย (kJ/kg) | 126.3 | 313.8 |
| ผลรวมภาระความร้อน (kWh) | 10.4 | 9.2 |
| ผลรวมงานเครื่องอัดไอ (kWh) | 2.8 | 4.0 |
| ผลรวมความสามารถทำความเย็น (kWh) | 10.6 | 9.4 |
| สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_R) | 3.73 | 2.33 |

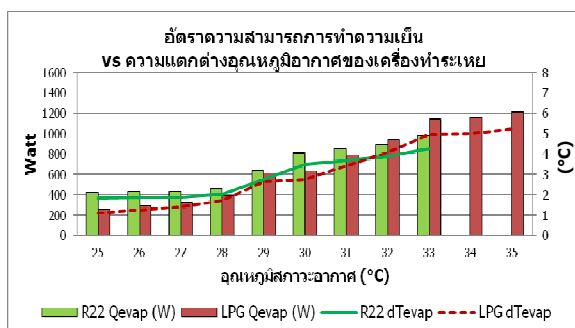
4.2 ผลการทดลองแยกตามอุณหภูมิสภาพอากาศ

เนื่องจากการคำนวณพลังงานแบบฤดูโดยวิธีการ BIN ซึ่งมีตัวแปรได้แก่ งานเครื่องอัดไอแบบฤดู (W_{BIN}) ความสามารถในการทำความเย็นแบบฤดู (Q_{BIN}) และการคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู (COP_{BIN}) ต้องใช้ตัวแปรค่าเฉลี่ยของกำลังเครื่องอัดไอ อัตราความสามารถทำความเย็น และอัตราภาระความร้อนรวม แยกตามอุณหภูมิสภาพอากาศหรือที่เรียกว่า อุณหภูมิ BIN เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยผลการทดลองของค่ากำลังเครื่องอัดไอ (\dot{W}_{comp}) แยกตามอุณหภูมิ BIN แสดงดังรูปที่ 6 โดยพบว่าค่า \dot{W}_{comp} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ BIN ที่เพิ่มขึ้นในการทดลองใช้ทั้งสองสาร ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้สาร R22 มีค่า \dot{W}_{comp} น้อยกว่าการใช้สาร LPG ในทุกๆ อุณหภูมิ BIN



รูปที่ 6 กำลังเครื่องอัดไอแยกตามอุณหภูมิ BIN

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของอัตราความสามารถการทำความเย็น (\dot{Q}_{evap}) แยกตามอุณหภูมิ BIN ในระหว่างการทดลองใช้ทั้งสองสาร พบว่ามีค่าความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศภายในห้องทดลองใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 13-18 g_{vap}/kg_{air} และมีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เครื่องทำระเหยใกล้เคียงกันมากเช่นกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 222-226 g/s ดังนั้นตัวแปรหลักของค่า \dot{Q}_{evap} คือความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าและทางออกเครื่องทำระเหย (dT_{evap}) โดยค่าอัตราความสามารถการทำความเย็นเปรียบเทียบกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่เครื่องทำระเหยแยกตามอุณหภูมิ BIN แสดงดังรูปที่ 7 โดยพบว่าค่า dT_{evap} ของการทดลองใช้ทั้งสองสารมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยการใช้สาร R22 มีค่ามากกว่าการใช้สาร LPG เล็กน้อยไม่เกิน 1°C ในแต่ละอุณหภูมิ BIN ทำให้ค่า \dot{Q}_{evap} ของการใช้สาร R22 มีค่ามากกว่าการใช้สาร LPG เล็กน้อย

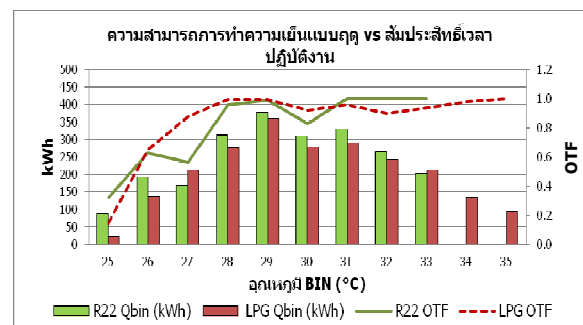


รูปที่ 7 อัตราความสามารถการทำความเย็นเปรียบเทียบกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศที่เครื่องทำระเหยแยกตามอุณหภูมิ BIN

4.3 ผลการคำนวณพลังงานแบบฤดูโดยวิธีการ BIN

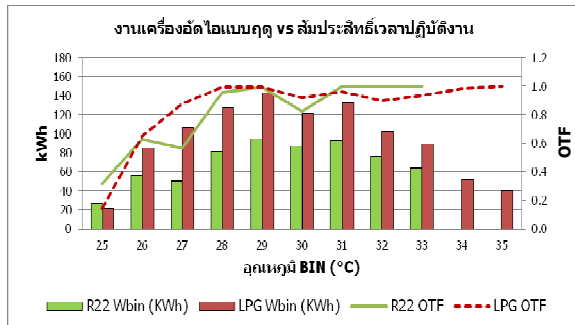
เนื่องจากการคำนวณพลังงานแบบฤดูโดยวิธีการ BIN ต้องคำนวณค่าของพลังงานแยกกันในแต่ละอุณหภูมิ BIN โดยใช้ข้อมูลจำนวนชั่วโมง BIN (N_{BIN}) ตามข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นสถานที่ทดลอง โดยมีค่าของข้อมูลอุณหภูมิ BIN ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 11-40°C รวมทั้งหมด 8,760 ชั่วโมง แต่สามารถคำนวณพลังงานแบบฤดูได้เฉพาะอุณหภูมิ BIN ที่อยู่ในช่วงระหว่างการทดลองเท่านั้น คือระหว่างการทดลองใช้สาร R22 มีช่วงอุณหภูมิ BIN ที่ 25-33°C รวม 5,053 ชั่วโมง และในการทดลองใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในช่วงอุณหภูมิ BIN ที่ 25-35°C รวม 5,249 ชั่วโมง ต่างกันประมาณ 3% ซึ่งถือว่าต่างกันน้อยมาก ที่จะนำผลการคำนวณพลังงานแบบฤดูของการใช้ทั้งสองสารมาเปรียบเทียบกันได้เหมาะสม

ผลของความสามารถการทำความเย็นแบบฤดู (Q_{BIN}) แยกตามอุณหภูมิ BIN พบว่ามีค่าแปรผันไปตามค่า OTF โดยผลของความสามารถการทำความเย็นแบบฤดูเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์เวลาปฏิบัติงานแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าค่า Q_{BIN} ของการใช้สาร R22 มากกว่าการใช้สาร LPG เล็กน้อยเป็นไปตามผลการทดลองของค่า \dot{Q}_{evap} และค่า Q_{BIN} ของการใช้ทั้งสองสารแปรผันตามค่า OTF โดยในอุณหภูมิ BIN ที่ 27°C ค่า Q_{BIN} ของการใช้สาร LPG กลับสูงกว่าการใช้สาร R22 เนื่องจากค่า OTF ของการใช้สาร R22 มีค่าลดลงอย่างมาก



รูปที่ 8 ความสามารถในการทำความเย็นแบบฤดูเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์เวลาปฏิบัติงานแยกตามอุณหภูมิ BIN

ผลของงานเครื่องอัดไอแบบฤดู (W_{BIN}) พบว่ามีค่าแปรผันไปตามค่า OTF เช่นกัน โดยผลของงานเครื่องอัดไอแบบฤดูเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์เวลาปฏิบัติงานแสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งพบว่าในอุณหภูมิ BIN ที่ค่า OTF เท่ากันในการใช้ทั้งสองสาร และพบว่าค่า W_{BIN} ของการใช้สาร LPG มีค่ามากกว่าการใช้สาร R22 แต่ในอุณหภูมิ BIN ที่ 25°C ซึ่งพบว่าค่า W_{BIN} ของการใช้สาร R22 มากกว่าการใช้สาร LPG เล็กน้อย เป็นผลเนื่องมาจากการใช้สาร R22 ที่อุณหภูมิ BIN นี้ มีค่า OTF สูงกว่าการใช้สาร LPG อยู่มาก



รูปที่ 9 งานเครื่องอัดไอแบบฤดูเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์เวลาปฏิบัติงาน

ในการหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู (COP_{BIN}) ต้องหาจากผลรวมของค่า Q_{BIN} และผลรวมของค่า W_{BIN} โดยผลการทดลองของผลรวมงานเครื่องอัดไอแบบฤดู ผลรวมความสามารถการทำความเย็นแบบฤดู และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลรวมพลังงานแบบฤดูและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู

| | R22 | LPG |
|--|--------|--------|
| ผลรวมความสามารถการทำความเย็นแบบฤดู (kWh) | 2243.8 | 2257.2 |
| ผลรวมงานเครื่องอัดไอแบบฤดู (kWh) | 627.8 | 1020.5 |
| สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดู (COP_{BIN}) | 3.57 | 2.21 |
| สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_R) | 3.73 | 2.33 |

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าในการใช้ทั้งสองสารมีผลรวมค่า Q_{BIN} ใกล้เคียงกันมาก แต่มีผลรวมค่า W_{BIN} ของการใช้สาร LPG มากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 38.5% มีผลทำให้ค่า COP_{BIN} ของการใช้สาร LPG น้อยกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 38% และเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าค่า COP_{BIN} น้อยกว่าค่า COP_R เล็กน้อยในการใช้ทั้งสองสาร จึงสามารถสรุปการทดลองได้ดังหัวข้อถัดไป

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สาร R22 และการใช้สาร LPG เป็นสารทำความเย็น โดยไม่ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ สามารถสรุปได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถใช้เป็นสารทำความเย็นได้โดยที่สามารถรักษาอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25°C ได้ในทุกอุณหภูมิสภาพอากาศที่ทดลอง โดยในระหว่างที่ทดลองใช้ทั้งสองสารนั้น มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ซึ่งได้ผลของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องอัดไอใกล้เคียงกันและไม่เกินจากที่ผู้ผลิตกำหนด และมีจำนวนครั้งในการทำงานของเครื่องอัดไอใกล้เคียงกันในการใช้ทั้งสองสาร ในการทดลองใช้สาร LPG มีความแตกต่างเอนทาลปีของเครื่องทำระเหยเฉลี่ยมากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 59.7%

ผลรวมความสามารถการทำความเย็นของการใช้สาร LPG น้อยกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 11.3% ซึ่งถือว่า

ใกล้เคียงกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลรวมภาระความร้อน ซึ่งระหว่างการทดลองใช้สาร LPG มีค่าผลรวมภาระความร้อนน้อยกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 11.5% แต่ในการใช้สาร LPG มีค่าผลรวมงานเครื่องอัดไอมากกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 30% จึงเป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของการใช้สาร LPG น้อยกว่าการใช้สาร R22 ประมาณ 37.5% จากการคำนวณความสามารถการทำความเย็นแบบฤดู พบว่าในการใช้ทั้งสองสารมีค่าผลรวมความสามารถการทำความเย็นแบบฤดูใกล้เคียงกันมาก และผลของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นแบบฤดูของการใช้ทั้งสองสาร พบว่ามีค่าลดลง

จากการทดลองเล็กน้อยทำให้ทราบได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถนำไปใช้ได้กับอุณหภูมิสถานะอากาศอื่นส่วนใหญ่ทั้งปี

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งในด้านทุนวิจัย สถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1]Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Production Conversion of Domestic Refrigerators from Halogenated to Hydrocarbon Refrigerants, *Guideline Report (2011)*, Program proklima report on behalf of federal ministry for the environment, nature conservation and nuclear safety (BMU).
- [2]Akash, B.A., Said, S.A. Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators. *Energy Conversion and Management*, 2003; 44:381–388.
- [3]Hundy, G. and Vittal, R. Compressor Performance Definition for Refrigerants with Glide. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference 2000*, Paper 510. Indiana, USA.
- [4]Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine. Introduction to Heat Transfer, *fifth edition*, ISBN 0471794724, John Wiley & Sons (Asia), 2007.
- [5]America Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *ASHRAE Hand book 2001*, 1791 Tullie Circle, Atlanta.
- [6]National Renewable Energy Laboratory's (NREL's), *User's Manual for TMY2 (Typical Meteorological Year) Report 1995*, Resource Assessment Program which is funded and monitored by the U.S. Department of Energy's Office of Solar Energy Conversion.