วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยใช้โพรเพนเป็นสารทำความเย็นเปรียบเทียบกับสาร R22

The Testing of Air-Conditioner Using Propane as a Refrigerant Replace Compared to R22

สุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา* กฤษฎา แก้วพิงค์ชัย ชัยสงกรานต์ ปินตาแสน

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Surasit Thiangchanta* Kridsada Keawpingchai Chaisongkran Pintasaen

Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) Chiang Mai, Muang, Chiang Mai 50300

* Corresponding author.

E-mail: surasit@rmutl.ac.th; Telephone: 08 5392 1444

บทคัดย่อ

ปัญหาสภาวะโลกร้อนและสภาวะเรือนกระจก มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการใช้สารทำความเย็นประเภท Chlorodifluoromethane (เช่น สารทำความเย็น R22) ที่นิยมใช้ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป จึงมีแนวคิดในการวิจัยเพื่อใช้สารโพรเพน (R290) เป็นสารทำความเย็น ซึ่งมีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสาร R22 โดยทำการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศชนิดอัดไอแบบแยกส่วนที่ผลิตเพื่อการค้าขนาด 12,371 BTU/h ที่ไม่ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ใด ๆ ซึ่งทดสอบที่อุณหภูมิปรับตั้ง 25°C โดยเก็บผลการทดสอบของแต่ละสารทำความเย็น ในช่วงที่สภาวะอากาศภายนอกใกล้เคียงกัน ซึ่งมีอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกที่ช่วงอุณหภูมิ 29.6–31.4°C (แตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่า ±1°C) เงื่อนไขของมวลสารทำความเย็นที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ สารทำความเย็น R22 ที่มวล 900 g และสารโพรเพน ที่มวล 200, 300, 400, 500 และ 600 g ในการทดสอบเพื่อหามวลที่เหมาะสมของสาร R290 แทนการใช้สาร R22 โดยเปรียบเทียบจากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเป็นสำคัญ ผลการทดสอบพบว่ามวลของสาร R290 ที่เหมาะสมในการแทนที่สาร R22 คือ 500 g ซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องใกล้เคียงกันที่ 25°C และการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 500 g มีค่าความสามารถการทำความเย็นใกล้เคียงกับสารทำความเย็น R22 และมีงานเครื่องอัดไอมากกว่าสารทำความเย็น R22 เพียงร้อยละ 2.0 และผลการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 500 g พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นต่ำกว่าการทดสอบกับสารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 2.5

คำสำคัญ

เครื่องปรับอากาศ สารโพรเพน สารทำความเย็น R22

Abstract

The problems of global warming and greenhouse effect are also partly caused by the use of refrigerant Chlorodifluoromethane (e.g. R22 refrigerant), which normally uses in the commercial air-conditioners. Therefore, the use of propane (R290) as a refrigerant was considered because of less environmental impact as compared to R22. The tests were performed on the commercial split type air-conditioners that have a cooling capacity of 12,371 BTU/h and without any modification. Moreover, the tests were performed at a thermostat set point of 25°C. The data collection was conducted with each refrigerant on similar ambient condition that has an ambient temperature range of 29.6–31.4°C (the difference from the average value is less than ±1°C). A mass charge of R22 refrigerant was tested on 900 g, while the mass charges of propane (R290) were tested on 200, 300, 400, 500 and 600 g. The purpose of this study was to determine the optimum mass charge of R290 refrigerant to replace R22 refrigerant. The efficiencies of air-conditioners were mainly compared. The results showed that the optimum mass charge of R290 to replace R22 was 500 g. With the mass charge

of R290 of 500 g, the room temperature at 25°C could be maintained and a similar cooling efficiency could be achieved as compared to R22 refrigerant. Also, the compressor work was only 2% higher than the use of R22 refrigerant. Furthermore, with the use of mass charge of R290 at 500 g, the results showed that the refrigeration coefficient of performance was only 2.5% lower than the use of R22 refrigerant.

Keywords

air-conditioner; propane; refrigerant R22

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาสภาวะโลกร้อนและปัญหาปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นผลทำให้มีการใช้เครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารทำความเย็นประเภท CFC อาทิเช่น สารทำความเย็น R11 และ R12 เป็นสารที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนและปรากฏการณ์เรือนกระจก จึงมีการรณรงค์ควบคุมและยกเลิกสารประเภท CFC ตามสนธิสัญญาของพิธีสารมอนทรีออล [1] ซึ่งได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็นประเภท HCFC เช่น สารทำความเย็น R22 ซึ่งมีค่าศักยภาพการทำลายโอโซน (ODP) ต่ำ แต่ยังคงมีค่าศักยภาพปรากฏการณ์โลกร้อน (GWP) แต่สารทำความเย็น R209 มีค่า ODP เป็นศูนย์และมีค่า GWP ต่ำกว่าสารทำความเย็น R22 อีกทั้งมีคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ ใกล้เคียงกับสารทำความเย็น R22 แสดงดังตารางที่ 1 [2] จึงมีแนวคิดการทำวิจัยในการใช้สารทำความเย็น R209 เป็นสารทำความเย็นแทนที่สารทำความเย็น R22 ในเครื่องปรับอากาศอัดไอแบบแยกส่วนซึ่งเป็นประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นทางทฤษฎีต่อหนึ่งตันทำความเย็น พบว่าการใช้สารทำความเย็น R290 มีค่าการทำความเย็นจำเพาะ (net refrigerating effect) มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 41.4 แต่การใช้สารทำความเย็น R290 มีค่าการใช้กำลัง (power Consumption) มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 0.96 เป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของการใช้สารทำความเย็น R290 น้อยกว่าการใช้สารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 1.72 ในขณะที่ทั้งสองสารทำความเย็นมีความดันที่เครื่องทำระเหยและความดันที่เครื่องควบแน่นใกล้เคียงกัน มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 [2] ผู้ทำวิจัยจึงมีแนวคิดในการทดลองใช้สารทำความเย็น R290 แทนที่สารทำความเย็น R22 โดยไม่ทำการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และทดสอบเพื่อหามวลของสารทำความเย็น R290 ที่เหมาะสม

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาการใช้สารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) ทั้งแบบสารทำความเย็นแบบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ [2]

Refrigerant	R22	R32	R410a	R290
Chemical Name or Composition (% by mass)	Chlorodifluoromethane	Difluoromethane	R-32/125 (50/50)	Propane
Critical temperature (°C)	96.2	78.1	71.4	96.7
Critical pressure (MPa)	4.99	5.78	4.90	4.25
Boiling point (°C)	-40.8	-51.7	-51.4	-42.1
Flammability	NO	Lower	NO	Highly
Toxicity	NO	NO	NO	NO
Atmospheric life time (year)	13.3	4.9	32.6	negligible
ODP[1]	0.055	0	0	0
GWP (100 year)[2]	1810	675	2100	3.3

[1]Ozone Depletion Potential: the relative amount of degradation to the ozone layer with R-11 fixed at ODP of 1.0.

[2]Global Warming Potential: the potential of a substance to contribute to global warming.

ตารางที่ 2 สมรรถนะการทำความเย็นทางทฤษฎีต่อหนึ่งตันทำความเย็นของสารทำความเย็น R22 และสารทำความเย็น R290 [2]

Refrigerant	Evaporator Pressure (kPa)	Condenser Pressure (kPa)	Net Refrigerating Effect (kJ/kg)	Power Consumption (W)	Coefficient Of Performance (COP)
R22	296.1	1190.2	164	760.6	4.65
R290	292.1	1081.2	280	768	4.57

Notes: Data based on 5°F evaporation, 86°F condensation, 0°F subcool, and 0°F superheat.

ไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ และแบบไฮโดรคาร์บอนผสม โดยใช้แทนที่สารทำความเย็นประเภท HCFC ในเครื่องทำความเย็น พบว่าสารทำความเย็นประเภท HC สามารถใช้ทดแทนสารทำความเย็นประเภท HCFC ได้ [3–6] และมีการทดลองใช้สารทำความเย็นประเภท HC ผสมกับสารทำความเย็นประเภท HCFC ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติทาง

เทอร์โมไดนามิกส์เหมาะสมกับการใช้เป็นสารทำความเย็นแทนที่สารทำความเย็นประเภท CFC โดยพบว่ามีค่าการทำความเย็นสูงขึ้น และใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันน้อยกว่า [7]

สำหรับการศึกษาการใช้สารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) แทนที่สารทำความเย็นประเภท HCFC ในเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน พบว่าการใช้สารทำความเย็นประเภท HC ผสม (68%R32/32%R290) โดยน้ำหนัก) แทนที่สารทำความเย็นประเภท HCFC (R410A) ทำให้ค่าความสามารถในการทำความเย็น (Cooling capacity) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.4 และ 6.8 ตามลำดับ [8] นอกจากนั้น จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R22 ในห้องประชุมขนาดเล็ก ด้วยสารทำความเย็น R290 บริสุทธิ์ พบว่าค่าความสามารถในการทำความเย็นลดลงร้อยละ 5 แต่ใช้กำลังงานลดลงร้อยละ 13.9 ทำให้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER) เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.3 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารทำความเย็น R22 [9] และจากการศึกษาการใช้สารทำความเย็นประเภท HC ผสมแทนที่สารทำความเย็น HFC-R134a ภายในเครื่องปรับอากาศรถยนต์ พบว่ามีการใช้กำลังเครื่องอัดไอลดลงในทุกเงื่อนไขของความเร็วรอบเครื่องยนต์ [10] สำหรับการศึกษาการใช้สารทำความเย็น HC-290 บริสุทธิ์แทนที่สารทำความเย็น HCFC-22 ภายในเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของการทดสอบกับสารทำความเย็น HC-290 เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.9 สำหรับเงื่อนไขการทำความเย็นต่ำ (lower operating) และเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 สำหรับเงื่อนไขการทำความเย็นสูง (higher operating) ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารทำความเย็น HCFC-22 อีกทั้งพบว่าการใช้พลังงานรวมของเครื่องปรับอากาศลดลงในช่วงร้อยละ 12.4–13.5 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารทำความเย็น HCFC-22 [11], จากการสำรวจเครื่องปรับอากาศที่ใช้สาร R290 ที่จำหน่ายเพื่อการค้า 100,000 เครื่องแรกในประเทศอินเดีย พบว่ามีปัญหาเครื่องอัดไอเสียจำนวนน้อยมาก (80 เครื่อง) และเกิดปัญหาของสาเหตุจากการรั่วของสารทำความเย็นต่ำกว่าร้อยละ 0.3 [12]

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) มีคุณสมบัติในการติดไฟ จึงมีการวิจัยศึกษาเรื่องความปลอดภัยจากการใช้สารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอนสำหรับเครื่องปรับอากาศ โดย Colbourne และ Suen [13] ได้ประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารทำความเย็นประเภท HC เป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน พบว่าจากการคำนวณความถี่ของการเกิดการลุกไหม้จากการใช้สารทำความเย็นประเภท HC ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มีจำนวนความถี่ต่ำมากในระดับ หนึ่งต่อร้อยล้านภายใน 10 ปี, Wang Zhang และคณะ [14] ได้ทำการวิจัยเชิงปฏิบัติการในการหาคุณลักษณะของการลุกไหม้ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้สาร R290 โดยพบว่าต้องมีมวลของสาร R290 ภายในหน่วยเครื่องทำระเหยและหน่วยเครื่องควบแน่นที่ 7 g และ 16 g ตามลำดับ จึงจะมีอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometric ratio) ที่เหมาะสมกับการลุกไหม้ของสารทำความเย็นได้ อีกทั้ง Tingxun Li [15] ได้ทำการศึกษาการรั่วไหลของสาร R290 ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ภายในห้องปรับอากาศ และ Wang Zhang และคณะ [16] ซึ่งได้วิจัยเรื่องอันตรายของ

ความสามารถในการติดไฟจากการใช้สาร R290 ในเครื่องปรับอากาศ

2. หลักการและทฤษฎี

หลักการของเครื่องปรับอากาศมีหลักการตามวัฏจักรการทำความเย็น [17] โดยมีกระบวนการทำงานทางทฤษฎี 4 กระบวนการหลักคือ กระบวนการอัดไอแบบไอเซนทรอปิค (Isentropic process) กระบวนการคายความร้อนแบบความดันคงที่ (Isobaric process) กระบวนการลดความดันแบบเอนทาลปีคงที่ (throttling process) และกระบวนการรับความร้อนแบบความดันคงที่ (Isobaric process) เมื่อนำวัฏจักรการทำความเย็นไปเขียนบนแผนภาพความดันและเอนทาลปี (p-h diagram) ของสารทำงาน มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 1 โดยอัตราของพลังงานสามารถหาได้จากหลักการการทรงพลังงานของกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่อุปกรณ์นั้น ๆ โดยสมดุลพลังงาน (energy balance) ที่เข้าและออกขอบเขต สามารถหาได้ดังสมการ

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \Delta \dot{E}_{system}$$

$$\left(\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in}\right) - \left(\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out}\right) = \dot{m}_{ref}\left[\Delta h + \Delta pe + \Delta ke\right] \quad (1)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{in}$ คือ อัตราความร้อนที่เข้าขอบเขต, kW

$\dot{W}_{in}$ คือ กำลังงานที่เข้าขอบเขต, kW

$\dot{Q}_{out}$ คือ อัตราความร้อนที่ออกขอบเขต, kW

$\dot{W}_{out}$ คือ กำลังงานที่ออกขอบเขต, kW

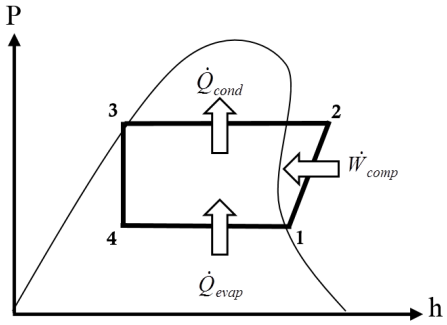
$\dot{m}_{ref}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น, kg/s

Δh คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี, kJ/kg

Δpe คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์, kJ/kg

Δke คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์, kJ/kg

จากสมการการทรงพลังงานเมื่อเปรียบเทียบพจน์ของการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ (Δke) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ (Δpe) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพจน์อื่น ในการคำนวณจึงไม่นำทั้งสองพจน์มาพิจารณาในงานทดลองนี้ การหากำลังเครื่องอัดไอ ($\dot{W}_{comp}$) สามารถหาได้จากการวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสารทำความเย็นโดยตั้งขอบเขตการทรงพลังงานที่เครื่องอัดไอเพื่อสมดุลพลังงาน หาได้ดังสมการ



รูปที่ 1 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็น

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_{ref}\left(h_2 - h_1\right) = VI\left(\cos\theta\right) \quad (2)$$

เมื่อ h_1 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องอัดไอ, kJ/kg

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องอัดไอ, kJ/kg

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า, Volt

I คือ กระแสไฟฟ้า, Amp

$\cos\theta$ คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การหาอัตราความสามารถการทำความเย็น ($\dot{Q}_{evap}$) สามารถหาได้จากเปลี่ยนแปลงอัตราพลังงานของสารทำความเย็นโดยตั้งขอบเขตที่เครื่องทำระเหย และจากหลักการสมดุลพลังงานความร้อนของขอบเขตที่เครื่องทำระเหยระหว่างอัตราความสามารถการทำความเย็น ($\dot{Q}_{evap}$) ของสารทำความเย็นและอัตราพลังงานของอากาศ ($\dot{Q}_{air}$) สามารถหาได้ดังสมการ

$$\left(\dot{Q}_{evap}\right) = \dot{m}_{ref}\left(h_1 - h_4\right) = \dot{m}_{air}\left(h_{return} - h_{supply}\right) \quad (3)$$

เมื่อ h_4 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าเครื่องทำระเหย, kJ/kg

$\dot{m}_{air}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s

h_{return} คือ เอนทาลปีของอากาศที่ทางเข้าเครื่องทำระเหย, kJ/kg

h_{supply} คือ เอนทาลปีของอากาศที่ทางออกเครื่องทำระเหย, kJ/kg

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ($\dot{m}_{air}$) สามารถหาจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ในการสมดุลมวล (mass balance) เมื่อพิจารณาขอบเขตการไหลของอากาศทางเข้าและทางออกที่เครื่องทำระเหย โดยหาได้ดังสมการ

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air} \cdot A_{supply} \cdot v_{air} \quad (4)$$

เมื่อ ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m3

A_{supply} คือ พื้นที่ช่องอากาศของเครื่องทำระเหย, m2

v_{air} คือ ความเร็วลมของอากาศ, m/s

โดยค่าความหนาแน่นของอากาศหาจากตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่อุณหภูมิของอากาศนั้น

สำหรับค่าเอนทาลปีของอากาศจะต้องทำการพิจารณาเอนทาลปีของอากาศแห้งผสมไอน้ำ โดยสมการรองรับที่ช่วงอุณหภูมิ -10°C ถึง 50°C สามารถหาได้ดังสมการ

$$h = h_a + \omega h_g$$

$$h_{air} = 1.005(T) + \omega\left[2501 + 1.805(T)\right] \quad (5)$$

เมื่อ h_{air} คือ เอนทาลปีของอากาศ, kJ/kg

ω คือ ความชื้นสัมบูรณ์ภายในห้อง, kgv/kga

T คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ, °C

การหาอัตราความร้อนเครื่องควบแน่น ($\dot{Q}_{cond}$) สามารถหาได้จากเปลี่ยนแปลงอัตราพลังงานของสารทำความเย็นโดยตั้งขอบเขตที่เครื่องควบแน่น หาได้ดังสมการ

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{ref}\left(h_2 - h_3\right) \quad (6)$$

เมื่อ h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกเครื่องควบแน่น, kJ/kg

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_R) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย (Q_{evap}) ต่องานเครื่องอัดไอ (W_{comp}) ในหน่วย W·h โดยหาค่าได้จากผลรวมในช่วงเวลาใด ๆ ที่พิจารณา ดังสมการ

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (7)$$

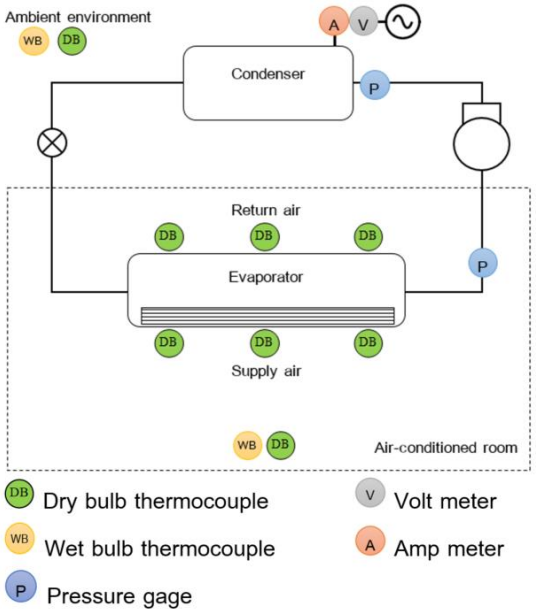
3. อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองได้ทดสอบกับเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอแบบแยกส่วนขนาด 12,371 BTU/h (3.625 kW) ที่ผลิตเพื่อการค้า ซึ่งใช้สาร R22 เป็นสารทำความเย็น โดยมีปริมาณสาร R22 บรรจุ 900 g จากผู้ผลิต โดยมีข้อมูลจำเพาะของเครื่องปรับอากาศในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 สำหรับสารทำความเย็น R290 ได้ใช้สารโพรเพนในการทดสอบ ซึ่งเป็นสารโพรเพนบริสุทธิ์, การวัดอุณหภูมิอากาศที่จุดต่าง ๆ ใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ชนิดเค (K) ที่มีช่วงวัดอุณหภูมิ -40°C ถึง 1,000°C มีค่าความคลาดเคลื่อน ±1.5 °C และข้อมูลจะถูกส่งนำไปบันทึกเก็บไว้ที่เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (data logger) โดยเก็บบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาการบันทึก (interval time) ทุก ๆ 1 นาที เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับใช้ในการชั่งสารทำความเย็นเป็นแบบเครื่องชั่งดิจิตอล สามารถวัดได้สูงสุด 6 kg และมีความละเอียดสูงสุดที่ทศนิยมสามตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ ±0.5 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าเป็นเครื่องมัลติมิเตอร์ชนิดคล้อง สามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ได้สูงสุด 600 volt มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ ±1.2 และวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 400 amp มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ ±1.5 ซึ่งมีรายละเอียดของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องปรับอากาศในการทดลอง

Phase	1
Frequency	50 Hz
Maximum input	1,290 W/ 5.9 A
Cooling capacity	3,600 W
Current	3.8 A
Power input	1,050 W
COP	3.43
Refrigerant	R22
High pressure	2.7 MPa
Low pressure	1.6 MPa

วิธีการทดสอบจะทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเครื่องเดียวกัน โดยทำการทดสอบพร้อมทั้งบันทึกผลของสภาวะภายในห้องปรับอากาศและสภาวะภายนอก (ambient condition) และบันทึกผลค่าตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ โดยทำการทดสอบสารทำความเย็น R22 ที่มวล 900 g ตามที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนเป็นการทดสอบกับสารทำความเย็น R290 โดยเริ่มจากมวล 200 300 400 500 และ 600 g ซึ่งทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในทุกเงื่อนไขมวลสารทำความเย็น R290



รูปที่ 2 แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

การทดลองได้ทำการทดสอบมวลของสารทำความเย็น R290 ที่มวล 200, 300, 400, 500 และ 600 g เนื่องจากสารทำความเย็น R290 ที่มวลเกินกว่า 600 g มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดเกินค่าที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะใช้ในการคำนวณหาอัตราความสามารถการทำความเย็น ($\dot{Q}_{evap}$), กำลังเครื่องอัดไอ ($\dot{W}_{comp}$), สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และพลังงานรวม (energy consumption) อีกทั้งวิเคราะห์ระยะเวลาในการตัด-ต่อของเครื่องอัดไอ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่สภาวะอากาศภายนอกใกล้เคียงกัน

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้สารทำความเย็น R22 ที่บรรจุมวลของสารทำความเย็นโดยผู้ผลิต 900 g และการทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 300 400 500 และ 600 g โดยได้ทดสอบในช่วงเวลาเดียวกันแต่ละวันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ในแต่ละสารทำความเย็นได้ผลของค่างานเครื่องอัดไอ ค่าความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย อุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก ช่วงเวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดไอทำงาน ช่วงเวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดไอหยุดทำงาน และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น มีรายละเอียดแสดงดังในตารางที่ 4

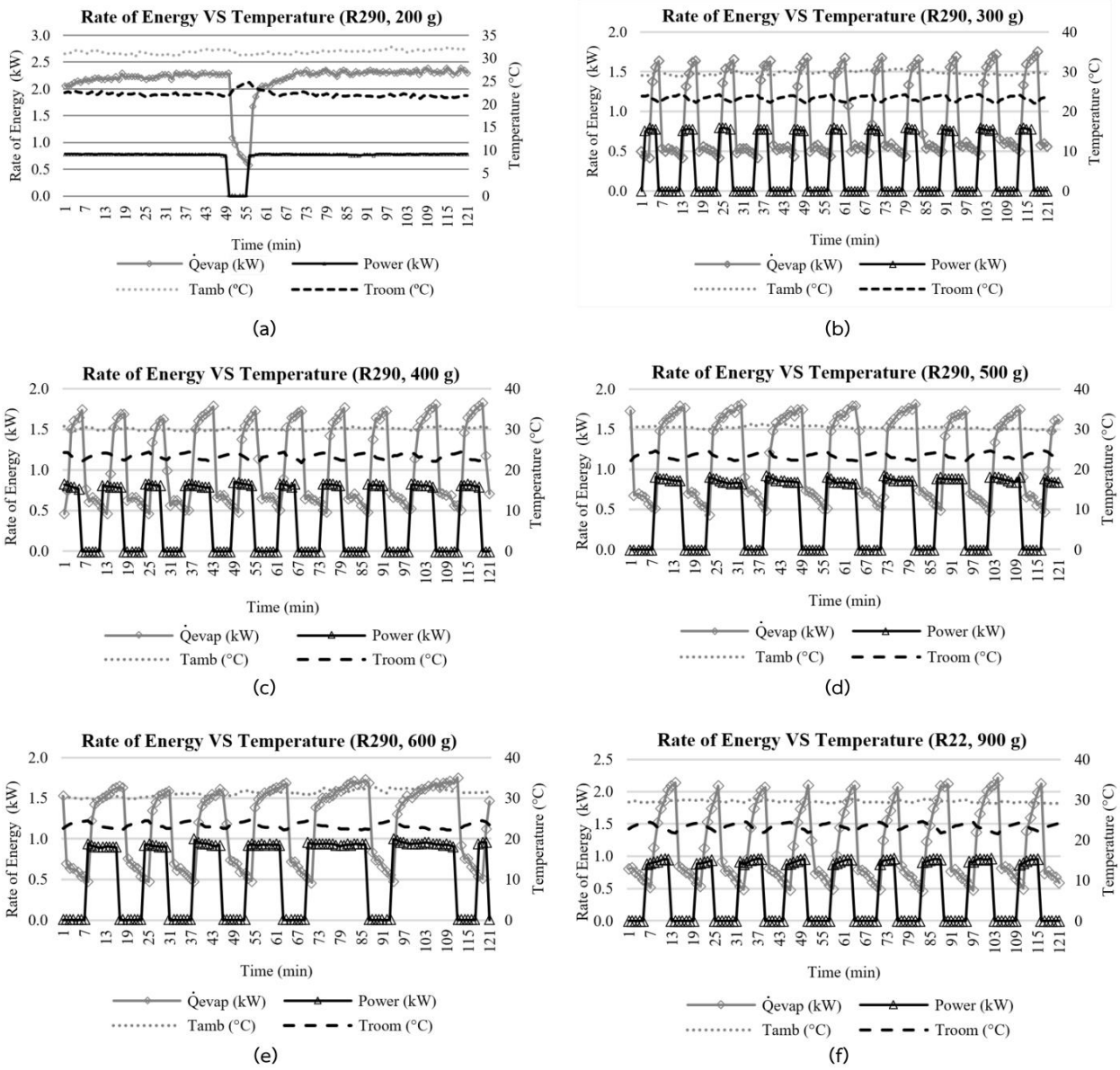
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศของสารทำความเย็นทั้งสองชนิด

Refrigerant /Mass	R290					R22
	200g	300g	400g	500g	600g	900g
Compressor work (W·h)	1.49	0.58	0.81	0.98	1.12	0.96
Cooling consumption (W·h)	4.38	1.77	2.07	2.29	2.30	2.30
Average ambient temperature (°C)	31.4	29.7	30.1	30.4	31.3	29.6
Average room temperature (°C)	23.2	24.3	24.3	24.3	24.3	24.1
ON-time (min)	115	4	6	9	12	6
OFF-time (min)	6	7	7	7	7	7
COP	2.94	3.04	2.56	2.34	2.05	2.4

จากตารางที่ 4 พบว่าช่วงเวลาในการทดสอบเครื่องปรับอากาศของสารทำความเย็นทั้งสองชนิด มีอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกที่ใกล้เคียงกันมากที่ช่วงอุณหภูมิ 29.6–31.4 °C (แตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่า ±1 °C) และมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกใกล้เคียงกันที่ช่วง 73–79 %RH อีกทั้งสารทำความเย็น R290 สามารถทำความเย็นโดยรักษาอุณหภูมิห้องให้คงที่ได้

เมื่อพิจารณากำลังเครื่องอัดไอและอัตราความสามารถการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก มีรายละเอียดดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 (a) พบว่าการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 g ทำให้เครื่องอัดไอทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีช่วงเวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องอัดไอเพียง 6 นาที จากการทดสอบ 120 นาที เนื่องจากมวลของสารทำความเย็นไม่เพียงพอในการถ่ายเทความร้อนให้กับห้องปรับอากาศ จึงสามารถสรุปได้ว่าสารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 g ไม่เหมาะสมในการใช้ในเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3 กำลังเครื่องอัดไอและอัตราความสามารถการทำความเย็นของการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 g (a), 300 g (b), 400 g (c), 500 g (d), 600 g (e) และการทดสอบสารทำความเย็น R22 ที่มวล 900 g (f)

จากรูปที่ 3 (b) ถึงรูปที่ 3 (e) พบว่าเมื่อทำการทดสอบการเพิ่มสารทำความเย็น R290 ให้กับเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาในการทำงานของเครื่องอัดไอ (on-time) มีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มมวลของสารทำความเย็น R290 ในขณะที่ช่วงเวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องอัดไอ (off-time) มีระยะเวลาเท่ากันในการทดสอบทุกเงื่อนไขของมวลสารทำความเย็น R290 ที่ 300 g ถึง 400 g โดยช่วงเวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดไอหยุดทำงานแสดงดังตารางที่ 4

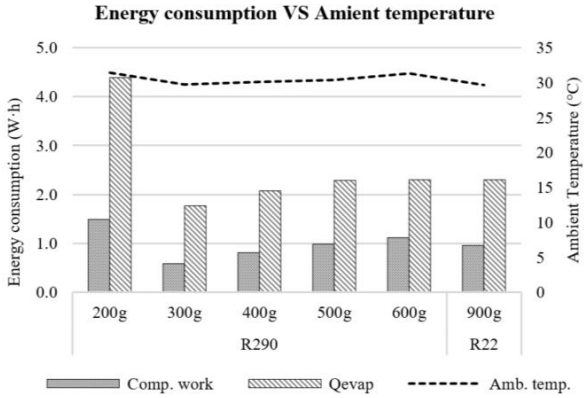
ผลของงานเครื่องอัดไอ (compressor work) และความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย (cooling consumption) โดยพิจารณาพลังงานรวมในช่วงเวลาของการทดสอบ 2 ชั่วโมง พบว่าการทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยใช้สารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 g มีงานเครื่องอัดไอสูงที่สุดโดยมากกว่าการทดสอบโดยใช้สารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 35.5 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบโดยใช้สารทำความเย็น R290 ที่มวล 200 g มีมวลของสารทำความเย็นไม่เพียง

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจของค่าพลังงานรวมของการใช้สารทำความเย็น R290 ที่มวล 300 g ถึง 600 g

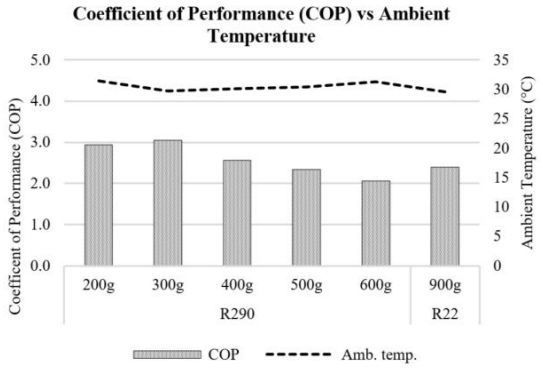
	Linear regression	R^2
$Comp.work$	$y = 0.1779x + 0.4269$	0.987
Q_{evap}	$y = 0.1804x + 1.6541$	0.877

พอที่จะทำความเย็นในระยะเวลาอันสั้นทำให้เวลาที่เครื่องทำระเหยทำงานมีระยะเวลานาน ส่งผลทำให้พลังงานรวมของเครื่องอัดไอและเครื่องทำระเหยมีค่ามากกว่ากรณีอื่น ๆ อีกทั้งพบว่างานเครื่องอัดไอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มมวลของสารทำความเย็น R290 ที่มวล 300 g ถึง 600 g ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าพลังงานรวมของเครื่องอัดไอ ($Comp.work$) และเครื่องทำระเหย (Q_{evap}) ที่มวล 300 ถึง 600 g พบว่ามีความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression) และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ที่สัมพันธ์กับมวลสารทำความเย็น (x) แสดงดังตารางที่ 5

การทดสอบได้ทำการพิจารณามวลของสารทำความเย็น R290 ที่เหมาะสมกับการแทนที่สารทำความเย็น R22 ที่เงื่อนไขการเพิ่มสารทำความเย็น R290 สูงสุดเมื่อค่าความสามารถการทำความเย็นเท่ากับการทดสอบสารทำความเย็น R22 เพื่อให้เครื่องปรับอากาศสามารถถ่ายเทความร้อนของห้องปรับอากาศตามที่ออกแบบไว้ และทำการพิจารณามวลของสารทำความเย็น R290 ที่เหมาะสมกับการแทนที่สารทำความเย็น R22 ที่เงื่อนไขค่างานเครื่องอัดไอเท่ากับหรือน้อยกว่าการทดสอบสารทำความเย็น R22 เพื่อไม่ให้เป็นการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศอย่างสิ้นเปลืองเมื่อใช้สารทำความเย็น R290 แทนที่สารทำความเย็น R22 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 600 g มีค่าความสามารถการทำความเย็นเท่ากับการทดสอบสารทำความเย็น R22 และมีค่างานเครื่องอัดไอสูงกว่าเงื่อนไขการทดสอบสารทำความเย็น R22 โดยพบว่างานเครื่องอัดไอของการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 600 g มีค่ามากกว่าการทดสอบสารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 14.3 ในขณะที่การทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 500 g มีค่าความสามารถการทำความเย็นใกล้เคียงการทดสอบสารทำความเย็น R22 (แตกต่างกันร้อยละ 0.43) แต่มีงานเครื่องอัดไอ



รูปที่ 4 พลังงานรวมของเครื่องอัดไอและเครื่องทำระเหยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก

มากกว่าการทดสอบสารทำความเย็น R22 เพียงร้อยละ 2.0 ผู้ทำวิจัยจึงแนะนำมวลของสารทำความเย็น R290 ที่เหมาะสำหรับการแทนที่สารทำความเย็น R22 ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มวล 500 g โดยมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4

สำหรับผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก มีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 5 โดยพบว่าเมื่อบรรจุมวลของสารทำความเย็น R290 เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลง โดยเมื่อพิจารณาการทดสอบสารทำความเย็น R290 ที่มวล 500 g พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นต่ำกว่าการทดสอบกับสารทำความเย็น R22 เท่ากับร้อยละ 2.5

โดยเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ที่สัมพันธ์กับมวลสารทำความเย็น (x) ของการทดสอบโดยใช้สารทำความเย็น R290 ที่มวล 300 g ถึง 600 g

พบว่ามีความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจคือ $y = -0.3186x + 3.2945$ และ R^2 = 0.9688 ตามลำดับ

5. สรุป

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้สารโพรเพน (R290) เป็นสารทำความเย็นเปรียบเทียบกับการทดสอบกับสาร R22 ซึ่งได้ทดสอบสารทำความเย็นทั้งสองที่อุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกใกล้เคียงกัน พบว่ามวลสารโพรเพนที่ 500 g มีความเหมาะสมในการบรรจุในเครื่องปรับอากาศทดแทนสารทำความเย็น R22 โดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาจากค่าความสามารถการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย (Q_{evap}) และงานเครื่องอัดไอ (W_{comp}) เนื่องจากสารทำความเย็น R290 ที่มวลบรรจุ 500 g มีค่าความสามารถในการทำความเย็นใกล้เคียงกับสารทำความเย็น R22 ที่มีมวล 900 g และมีค่างานเครื่องอัดไอที่ใกล้เคียงกันและมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP_R) น้อยกว่าสารทำความเย็น R22 เล็กน้อย (ร้อยละ 2.5)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เอกสารอ้างอิง

[1] Houghton JT, et al. *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change: Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; 1996.

[2] ASHRAE. *ASHRAE Hand book. America Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Atlanta: Tullie Circle N.E.; 2001.

[3] Fatouh M, Kafafy ME. Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG. *Applied Thermal Engineering*. 2006; 26(14): 1593–1603.

[4] Hammad MA, Alsaad MA. The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators. *Applied Thermal Engineering*. 1999; 19(11): 1181–1189.

[5] Wongwises S, Chimres N. Experimental study of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in a domestic refrigerator. *Energy Conversion and Management*. 2005; 46: 85–100.

[6] Sánchez D, et al. Energy performance evaluation of R1234yf, R1234ze (E), R600a, R290 and R152a as low-GWP R134a alternatives. *International Journal of Refrigeration*. 2017; 74: 267–280.

[7] Sekhar SJ, Lal DM. HFC134a/ HC600a/HC290 mixture a retrofit for CFC12 systems. *International Journal of Refrigeration*. 2005; 28(5): 735–743.

[8] Tian Q, et al. An experimental investigation of refrigerant mixture R32/R290 as drop-in replacement for HFC410A in household air conditioners. *International Journal of Refrigeration*. 2015; 57: 216–228.

[9] Wu JH, Yang LD, Hou J. Experimental performance study of a small wall room air conditioner retrofitted with R290 and R1270. *International Journal of Refrigeration*. 2012; 35(7): 1860–1868.

[10] Perang MR, Nasution H, Zulkarnain AL, Aziz AA, Dahlan AA. Experimental study on the replacement of HFC-R134a by hydrocarbons in automotive air conditioning system. *Applied Mechanics and Materials*. 2013; 388: 111–115.

[11] Devotta S, Padalkar AS, Sane NK. Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner. *International Journal of Refrigeration*. 2005; 28(4): 594–604.

[12] Rajadhyaksha D, Wadia BJ, Acharekar AA, Colbourne D. The first 100,000 HC-290 split air conditioners in India. *International Journal of Refrigeration*. 2015; 60: 289–296.

[13] Colbourne D, Suen KO. Comparative evaluation of risk of a split air conditioner and refrigerator using hydrocarbon refrigerants. *International Journal of Refrigeration*. 2015; 59: 295–303.

[14] Zhang W, Yang Z, Zhang X, Lv D, Jiang N. Experimental research on the explosion characteristics in the indoor and outdoor units of a split air conditioner using the R290 refrigerant. *International Journal of Refrigeration*. 2016; 67: 408–417.

[15] Li T. Indoor leakage test for safety of R-290 split type room air conditioner. *International Journal of Refrigeration*. 2014; 40: 380–390.

[16] Zhang W, et al. Research on the flammability hazards of an air conditioner using refrigerant R-290. *International Journal of Refrigeration*. 2013; 36(5): 1483–1494.

[17] Cengel YA, Boles MA. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. Boston: McGrew-Hill; 2002.