

แนวทางในการเลือกสารทำความเย็นทดแทน

Guidelines for selecting alternative refrigerants

รจนา ประไพพน

Rotchana Prapainop

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี 20230
โทร. 0-3835-4580 ต่อ 2844, โทรสาร 0-3835-4849
E-mail: sfengrcp@src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากสารทำความเย็นไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) ที่นิยมใช้ในระบบการทำความเย็นและการปรับอากาศแบบอัดไอยังสามารถทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ กำหนดการการยกเลิกสารนี้จะเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2556 สำหรับประเทศกำลังพัฒนา (รวมถึงประเทศไทย) เพื่อให้การเลือกสารทำความเย็นทดแทนเป็นไปได้อย่างเหมาะสมผู้ที่เกี่ยวข้องควรทราบแนวทางในการพิจารณาสารทำความเย็นทดแทน เป้าหมายของบทความนี้เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่เกี่ยวกับการเลือกสารทำความเย็น หัวข้อที่ถูกลำเสนอในบทความได้แก่การพิจารณาระบบในการพิจารณาสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่มีอยู่และปัญหาที่อาจพบในการทดแทนสารแบบ drop-in (การเปลี่ยนสารทำความเย็นโดยใช้ชุดอุปกรณ์เดิม)

Abstract

Since the hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) that are widely used in the vapour compression system for refrigeration and air conditioning can deplete the Ozone, a schedule to phase-out these refrigerants are starting from 2013 for the developing countries (including Thailand). To select alternative refrigerants properly, ones should know guidelines for refrigerant considerations. The aim of this paper is to synthesize available publications and experiences on refrigerant selections. The paper consists of

systems for refrigerant consideration, available refrigerants and possible problems in drop-in replacement.

1. บทนำ

ระบบอัดไอเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำความเย็นและปรับอากาศ และสารทำความเย็น HCFCs เช่น R-22 ได้ถูกใช้งานในวงกว้างในระบบนี้ แต่สารชนิดนี้ยังคงทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ ทำให้ข้อตกลงในสนธิสัญญามอนทรีออลกำหนดให้ยุติการใช้สารชนิดนี้โดยมีกำหนดการดังแสดงในตารางที่ 1 ประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาต้องเริ่มหยุดการผลิตและการใช้สาร HCFCs ตั้งแต่ พ.ศ. 2556 จนกระทั่งยกเลิกอย่างสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2583 (ค.ศ. 2030) [1; 2] สำหรับประเทศพัฒนาแล้วได้มีการจำกัดปริมาณการใช้งานสารนี้แล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539

ตามปกติแล้วระบบทำความเย็นหรือปรับอากาศที่ถูกใช้งานอยู่แล้วจะต้องการการเติมสารทำความเย็นเข้าไปใหม่ก็ต่อเมื่อมีการรั่วของสารทำความเย็นออกจากระบบ การเติมสารทำความเย็นอย่างเดียวโดยไม่เปลี่ยนชุดอุปกรณ์เป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนกว่าการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ใหม่ แต่จากการทยอยลดปริมาณการผลิตและการใช้สาร HCFCs จะทำให้ในอนาคตอันใกล้สาร HCFCs จะถูกหาได้ยากขึ้น ผู้บริโภคอาจต้องเลือกสารทำความเย็นตัวอื่นเพื่อทดแทน

ตารางที่ 1 กำหนดการยกเลิกผลิตและใช้ HCFCs [1; 2]

	ประเทศกำลังพัฒนา	ประเทศพัฒนาแล้ว
หยุด	ค . ศ . 2013 (พ.ศ. 2556)	ค . ศ . 1996 (พ.ศ. 2539)
ลดปริมาณลง 10%	ค . ศ . 2015 (พ.ศ. 2558)	ค . ศ . 2004 (พ.ศ. 2547)
ลดปริมาณลง 35%	ค . ศ . 2020 (พ.ศ. 2563)	ค . ศ . 2010 (พ.ศ. 2553)
ลดปริมาณลง 67.5%	ค . ศ . 2025 (พ.ศ. 2568)	ค . ศ . 2015 (พ.ศ. 2558)
ยกเลิกการใช้ได้สมบูรณ์	ค . ศ . 2030 (พ.ศ. 2573)	ค . ศ . 2020 (พ.ศ. 2563)

*เทียบกับปริมาณในปีฐาน โดยที่ปริมาณในปีฐานของประเทศกำลังพัฒนาคือค่าเฉลี่ยของการผลิตหรือใช้ระหว่างปี ค.ศ. 2009 และ 2010 (พ.ศ. 2552 และ 2553) สำหรับปริมาณในปีฐานของประเทศพัฒนาแล้วคือปริมาณที่ใช้ในปี ค.ศ. 1989 + 2.8% ของปริมาณที่ใช้ในปี ค.ศ. 1989 (พ.ศ. 2526)

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมแนวทางในการพิจารณาสารทำความเย็นสารทำความเย็นทดแทน ได้แสดงระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบสารทำความเย็นและสารทำความเย็นที่มีอยู่

2. ระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบสารทำความเย็น

ก่อนที่จะเลือกหรือเปรียบเทียบสารทำความเย็นควรพิจารณาว่าระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบสารทำความเย็นเป็นแบบใด โดยทั่วไปอาจแบ่งได้สามแบบดังนี้ Drop-in, retrofit และ new system 1) Drop-in คือการใช้ชุดอุปกรณ์เดิมทั้งชุดแต่เปลี่ยนเฉพาะสารทำความเย็น 2) Retrofit คือการใช้ชุดอุปกรณ์เดิมเป็นส่วนใหญ่ อาจมีการปรับหรือเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนอุปกรณ์บางตัว 3) New system คือการใช้ชุดอุปกรณ์ใหม่ที่ออกแบบมาเพื่อสารทำความเย็นหนึ่งๆ โดยเฉพาะเพื่อให้ได้สมรรถนะที่ต้องการ [3]

การพิจารณาว่าจะใช้ชุดอุปกรณ์เดิมหรือไม่ขึ้นขึ้นกับอายุการใช้งานว่าได้ผ่านการใช้งานมานานแล้วหรือไม่ เพราะอายุการใช้งานระบบทำความเย็นและการปรับ

อากาศจะประมาณ 15 ปี หากใช้งานระบบเดิมมาไม่นานแล้วพบว่ามีการรั่วของสารทำความเย็น การพิจารณาแบบ drop-in หรือ retrofit เป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะประหยัดกว่าการซื้อชุดอุปกรณ์ใหม่ และอาจรอข้อสรุปของสารทำความเย็นให้ชัดเจนกว่าปัจจุบันหรือเทคโนโลยีการทำความเย็นแบบใหม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นก่อนตัดสินใจเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ใหม่

หากระบบได้ผ่านการใช้งานมานานแล้วและพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงไปมากก็ควรพิจารณาเปลี่ยนชุดอุปกรณ์พร้อมสารทำความเย็นใหม่ ข้อดีของการใช้ชุดอุปกรณ์ใหม่คือสามารถเลือกหรือออกแบบอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับสารทำความเย็นที่เลือกเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (cooling capacity) และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (coefficient of performance) ของระบบตามที่ต้องการได้ นอกจากนี้การพิจารณาทางเลือกของระบบอื่นเพิ่มเติมนอกเหนือจากระบบอัดไอ เช่น ระบบดูดซึม (absorption system) [4] หรือระบบแม่เหล็ก (magnetic system) [5; 6] ที่กำลังถูกพัฒนาเป็นต้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแต่จะไม่ถูกกล่าวถึงรายละเอียดในบทความนี้

ขั้นตอนการเปลี่ยนสารทำความเย็นวิธี drop-in เป็นการเอาสารทำความเย็นตัวเก่าออกแล้วบรรจุสารทำความเย็นใหม่เข้าไปในระบบ สารทำความเย็นที่จะนำมาทดแทนควรละลายได้ในน้ำมันหล่อลื่นเดิม สมรรถนะของระบบที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าเดิมหรือไม่ขึ้นขึ้นกับหลายปัจจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารที่นำมาทดแทนว่ามีค่าใกล้เคียงสารเดิมมากน้อยเพียงใด [7]

ขั้นตอนการเปลี่ยนสารทำความเย็นแบบ retrofit ขึ้นอยู่กับว่าสารทำความเย็นที่จะนำไปทดแทนว่าสามารถละลายได้ในน้ำมันหล่อลื่นตัวเดิมหรือไม่ ถ้าไม่สามารถละลายได้ในน้ำมันเดิมก็ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (hermetic type compressor) จะเปลี่ยนถ่ายได้ยากกว่าคอมเพรสเซอร์แบบเปิด (open type compressor) หรือกึ่งปิด (semi-hermetic) อุปกรณ์อื่นๆที่อาจเปลี่ยน เช่น อุปกรณ์กรองและดูด

ความชื้น (filter-dryer) และอาจต้องเปลี่ยนหรือปรับอุปกรณ์ขยายตัว (expansion device) เพื่อให้ได้ค่าของความร้อนยิ่งยวด (degree of superheating) ตามเดิม การ retrofit มีหลายระดับ ตั้งแต่การปรับเฉพาะค่าของอุปกรณ์ขยายตัว เปลี่ยนอุปกรณ์กรองและดูดความชื้น เปลี่ยนน้ำมัน เปลี่ยนซีลส่วนกันรั่ว (sealing) รวมไปถึงจนถึงการเปลี่ยนคอมเพรสเซอร์ [8]

3. สารทำความเย็นทดแทนที่มีอยู่

สารทำความเย็นทดแทนมีอยู่สามารถแบ่งกลุ่มตามองค์ประกอบทางเคมีได้ดังนี้ HFCs, HFOs, HCs, แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ ในการพิจารณาความเหมาะสมต่อการทดแทนสารเดิม โดยทั่วไปควรพิจารณาสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ความเข้ากันได้ของวัสดุ การละลายได้ในน้ำมันหล่อลื่น ความปลอดภัย ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3.1 ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbons, HFCs)

สารทำความเย็นกลุ่มนี้ได้แก่ R-134a, R-400 series เป็นที่แน่นอนว่า R-134a ไม่สามารถทดแทน R-22 แบบ drop-in เพราะต้องมีการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น การแทน retrofit ต้องมีการเปลี่ยนคอมเพรสเซอร์มิฉะนั้นจะไม่สามารถคงประสิทธิภาพในการทำ ความเย็น (cooling capacity) ไว้ได้ สาเหตุเพราะค่าการทำความเย็นเชิงปริมาตร (volumetric refrigerating effect, VRC = refrigerating effectหารด้วย suction specific volume) ของ R-134a ต่ำกว่า R-22 มาก [7]

สารผสมตระกูล R-400 series มีหลากหลายเลข และอักษรต่อท้ายขึ้นกับสารที่ผสมและส่วนประกอบ [9] หากสารที่นำมาผสมกันได้มาจาก HFCs ต่างๆอย่างเดียวยังไม่สามารถละลายได้ในน้ำมันธรรมชาติ (น้ำมันที่ R-22 ใช้อยู่เดิม) ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันสังเคราะห์ (อาทิ POE (polyester))

ในช่วงแรกๆ R-407C มักถูกเสนอให้เป็นสารทดแทน R-22 ในระบบเดิม โดยต้องเปลี่ยนน้ำมันจากน้ำมันธรรมชาติเป็นน้ำมันสังเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อ

ทดแทน R-407C ในระบบเดิมที่เคยใช้ R-22 แบบ retrofit วิสัยสามารถในการทำความเย็น (cooling capacity) และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ของระบบที่ใช้ R-407C มีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้ R-22 [10; 11; 12]

แต่จากปัญหาความยุ่งยากในการต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น บริษัทผู้ผลิตสารทำความเย็นจึงพัฒนาสารทำความเย็นทดแทนตัวอื่นๆที่ละลายได้ในน้ำมันหล่อลื่นธรรมชาติได้ เช่น R-422D, R-438A [9] โดยมีการผสมไฮโดรคาร์บอนในสัดส่วนเล็กน้อยเพื่อให้ละลายในน้ำมันธรรมชาติได้แต่ยังคงสามารถถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่ไม่ติดไฟ (เมื่อพิจารณาในสถานะสารผสม) อย่างไรก็ตามสมรรถนะของระบบเมื่อแทนที่ด้วย R-422D, R-438A ยังน้อยกว่าในระบบเดิมที่ใช้ R-22 อยู่ [13; 14]

ในขณะที่ R-410A ถูกพัฒนามาทดแทน R-22 ในระบบใหม่ที่ใช้ชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับสารนี้ เพราะ R-410A มีความดันที่สูงกว่า R-22 มากจึงห้ามเติม R-410A ลงในระบบเดิมที่ใช้ R-22

แม้บริษัทผู้ผลิตสารหรือเครื่องทำความเย็น/ปรับอากาศจะยืนยันถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้านการไม่ทำลายโอโซน แต่ทว่าค่าความสามารถทำให้โลกร้อน (GWP, global warming potential) ของสาร HFCs ยังคงสูง ดังแสดงในตารางที่ 2 R-410A มี GWP (ที่ 100 ปี) เท่ากับ 2088 (สารที่แสดงในตารางที่ 2 รวมสารในกลุ่มอื่นนอกจาก HFCs ด้วย)

ผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศบางราย เสนอให้ใช้ R-32 แทน R-410A [15] เพราะ GWP ของ R-32 ประมาณ 675 (ดังแสดงในตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม R-32 สามารถติดไฟได้อยู่ (ความปลอดภัยระดับ A2L) จึงไม่ควรอย่างยิ่งที่จะทำการใช้ R-32 ทดแทนลงไปในระบบเดิมที่เคยใช้ R-410A แบบ drop-in หรือ retrofit หากต้องการ R-32 ต้องใช้กับระบบใหม่ที่ออกแบบมาเพื่อ R-32 และผ่านมาตรฐานเรื่องความปลอดภัยสำหรับการใช้งานสารติดไฟได้ [16]

ตารางที่ 2 GWPs and safety classification of some refrigerants

Refrigerants	GWP (100 yr)	Safety classification
HCFC-22	1,810	A1
HFC-32	675	A2L
HFC-125	3,500	A1
HFC-134a	1,430	A1
HFC-407C	1,774	A1
HFC-410A	2,088	A1
HFC-422D	2,729	A1
HFO-1234yf	4	A2L
HC-290	5.5	A3
HC-1270	1.8	A3
Ammonia	0	B2

Remarks: 1) GWPs for all refrigerants shown (except HFO-1234yf and ammonia) are from IPCC, 2007 [17]. GWPs of HFO-1234 and ammonia are from [18] and [19], respectively. 2) Safety classification is based on toxicity (A = non toxic, B = toxic) and flammability (1= not flammable, 2= mild flammable, 3= highly flammable)

สาร HFCs ที่ถูกเสนอสำหรับการทดแทน R-22 ยังมีอีกหลายตัวดังแสดงใน [9], [20], [21] แต่จะไม่ถูกกล่าวถึงในที่นี้

3.2 ไฮโดรฟลูออโรโอเลฟินส์ (Hydro-fluoro-olefins, HFOs)

สารระบบปรับอากาศในยานยนต์มีอัตราการรั่วสูงกว่าการใช้งานอย่างอื่นอันเนื่องมาจากคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในยานยนต์เป็นระบบเปิด (มีชุดดันกำลังแยกจากห้องอัดแก๊สสารทำความเย็น) และปรกติแล้วสารทำความเย็นที่นิยมใช้ในระบบปรับอากาศในยานยนต์คือ HFC-134a และมี GWP ประมาณ 1,430 (ตารางที่ 2) บริษัทผู้ผลิตสารทำความเย็นจึงพัฒนาสาร HFOs (ซึ่งคือ HFCs ที่ไม่อิ่มตัว) ให้มีค่า GWP ต่ำ เช่น R-1234yf ที่มีค่า GWP เท่ากับ 4 (ตารางที่ 2)

เนื่องจากการผลิต HFOs มีความซับซ้อนกว่าการผลิต HFCs ทำให้มีราคาสูง และที่สำคัญ R-1234yf เป็นสารที่ติดไฟได้จึงถูกจัดในหมวดหมู่ A2L ต้องมีข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยเพิ่มเติมหากต้องการใช้สารนี้ [16]

3.3 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons, HCs)

สารทำความเย็นไฮโดรคาร์บอนได้แก่ R-290, R-1270, R-600, R-600a และส่วนผสมของสารเหล่านี้เป็นต้น ถึงแม้ปัญหาการติดไฟได้จะเป็นปัญหาสำคัญสำหรับระบบปรับอากาศแบบโดยตรง¹ ที่ต้องมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณการใช้สารทำความเย็นและการระบายอากาศ [16] อย่างไรก็ตาม GIZ² และ UNEP³ ให้ความสนใจในการใช้สารนี้โดยให้ทุนสนับสนุนบริษัทบางรายในประเทศจีนเพื่อการสร้างต้นแบบระบบการผลิตของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ R-290 (propane) เป็นสารทำความเย็น [22; 23]

อย่างไรก็ตามระบบที่ใช้สารทำความเย็นที่ติดไฟได้ต้องเป็นชุดอุปกรณ์ใหม่ที่ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ เช่น เทอร์โมสแตทและสวิตช์ต่างๆต้องเป็นแบบหุ้มมิด (sealed) รีเลย์ต่างๆต้องผ่านมาตรฐาน IEC60079-15 หรือจะต้องถูกติดตั้งไว้ในส่วนที่ปลอดภัยต่อการติดไฟ เช่น ถูกติดตั้งอยู่ในกล่องหุ้มมิด (sealed box) เป็นต้น (ปณานนท์ [24])

การเติมสารไฮโดรคาร์บอนไม่ว่าจะเป็นแบบ drop-in หรือ retrofit จะทำให้โอกาสเกิดอัคคีภัยได้สูง โดยเฉพาะคอนกรีตหรือท่อเชื่อมหรือติดตั้ง ทำให้ Singapore Civil Defence Force ของประเทศสิงคโปร์ได้ประกาศห้ามประชาชนเปลี่ยนสารเป็นไฮโดรคาร์บอนในชุดอุปกรณ์เดิมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ตามอาคารและได้แนะนำว่าถ้าผู้ใดเปลี่ยนสารทำความเย็นเป็น

¹ ท่อสารทำความเย็นผ่านบริเวณที่ต้องการทำให้เย็น

² GIZ ย่อมาจาก Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit เป็นองค์กรของรัฐบาลเยอรมัน

³ UNEP ย่อมาจาก United Nation Environmental Programme เป็นองค์กรของสหประชาชาติ

ไฮโดรคาร์บอนแล้วแบบ drop-in ต้องยกเลิกใช้ไฮโดรคาร์บอนภายในปี ค.ศ. 2016 (พ.ศ. 2559) [25]

การใช้งานสารไฮโดรคาร์บอนในระบบทำความเย็นโดยอ้อม (indirect system) มีความเป็นไปได้มากกว่าในระบบโดยตรง แต่การใช้งานโดยอ้อมมักใช้ในระดับขนาดทำความเย็นขนาดใหญ่

3.4 แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารที่ใช้มานานแล้วแต่เนื่องจากมีความเป็นพิษ (ถูกจัดหมวดหมู่ B2 หมายถึงมีความเป็นพิษสูงมีความสามารถในการติดไฟปานกลาง) จึงอนุญาตให้ใช้แค่ในภาคอุตสาหกรรม สารนี้ทำปฏิกิริยากับทองแดง แต่ระบบที่ใช้ R-22 อยู่เดิมมักใช้ท่อทองแดงดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทดแทนด้วยแอมโมเนียในชุดอุปกรณ์เดิมแบบ drop-in หรือ retrofit การใช้งานแอมโมเนียต้องนำไปใช้ในระบบใหม่ที่ยกออกแบบมาเฉพาะสำหรับแอมโมเนียเท่านั้น การใช้งานอีกลักษณะหนึ่งของแอมโมเนียคือใช้ในระบบแบบดูดซึม (absorption system) แต่ก็ยังคงจำกัดที่ภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น

3.5 คาร์บอนไดออกไซด์

การใช้งานคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบทำความเย็นแบบอัดครั้งเดียว (single stage) จะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ทั้งหมดเพื่อให้สามารถทนแรงดันที่สูงขึ้นมากและเนื่องจากอุณหภูมิวิกฤติที่ต่ำของคาร์บอนไดออกไซด์ (ประมาณ 31°C) ผลการศึกษาของนักวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของระบบจะต่ำเมื่อใช้ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อน [26] จึงไม่เหมาะกับประเทศไทย ความเป็นไปได้ในการใช้มักอยู่ในรูปแบบระบบคาสเคด (cascade system) (ใช้งานร่วมกับสารอื่นแยกเป็นสองวงจร โดยคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้านอุณหภูมิต่ำ) [27]

4. ปัญหาที่อาจพบในการทดแทนสารทำความเย็นแบบ drop-in

การทดแทนแบบ drop-in เป็นวิธีที่สะดวก อย่างไรก็ตามสมรรถนะของระบบอันได้แก่วิสัยสามารถในการทำความ

เย็น (cooling capacity, Q_{cool}) และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) อาจไม่เท่าเดิม สาเหตุนอกเหนือจากด้านสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์มีดังต่อไปนี้

1) ไม่ทราบปริมาณที่เหมาะสมในการบรรจุสารทำความเย็นตัวใหม่เข้าไปในระบบเดิม โดยส่วนใหญ่แล้วบริษัทผู้ผลิตสารมักแนะนำการประมาณปริมาณบรรจุของสารทำความเย็นทดแทนจากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสถานะของเหลวของสารทดแทนเทียบกับของสารเดิม กล่าวคือถ้าความหนาแน่นน้อยกว่าสารเดิม ปริมาณบรรจุของสารใหม่จะน้อยกว่าสารเดิม อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมีพารามิเตอร์หลายตัวที่เกี่ยวข้องนอกเหนือจากความหนาแน่นทำให้การประมาณเช่นนี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก

2) ค่าพารามิเตอร์ของ degree of sub-cooling, degree of superheating อาจไม่เท่าเดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่ใช้ capillary tube หรือ orifice เพราะอุปกรณ์ชนิดนี้ถูกออกแบบสำหรับสารทำความเย็นชนิดหนึ่งที่สภาวะหนึ่งๆ เท่านั้น การเพิ่มขึ้นของ degree of sub-cooling จะเพิ่ม Q_{cool} ได้ในระดับหนึ่ง แต่การเพิ่มของ degree of superheating จะลด Q_{cool} และ COP ได้

3) ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์หลังจากเปลี่ยนสารทำความเย็นอาจเปลี่ยนไป เพราะประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (volumetric efficiency, η_{vol}) ขึ้นกับอัตราส่วนความดัน (compression pressure ratio, P_r) และสมบัติของสาร [7] โดยทั่วไปแล้วหาก P_r สูงขึ้น η_{vol} จะลดลง การเปลี่ยนสารทำความเย็นมักทำให้ความดันที่จุดต่างๆ รวมถึงอัตราส่วนความดันของระบบเปลี่ยนไป การลดลงของ η_{vol} จะส่งผลให้อัตราการไหลเชิงมวลลดลงและทำให้ Q_{cool} ลดลง [7] นอกจากประสิทธิภาพเชิงปริมาตรแล้วประสิทธิภาพทางไอเซนโทรปิก (isentropic efficiency, η_{isen}) ภายหลังจากเปลี่ยนสารก็เปลี่ยนแปลงได้เพราะสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารและอุณหภูมิทางออกคอมเพรสเซอร์ไม่เท่าของเดิม [7] การลดลงของ η_{isen} จะส่งผลให้งานที่ต้องใส่ที่คอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นและ COP ลดลง

4) ความดันตก (pressure drop) โดยเฉพาะในท่อ ด้านดูด (suction line) ซึ่งจะส่งผลต่อค่าปริมาตรจำเพาะที่ ททางด้านดูด (suction specific volume) อัตราการไหลเชิง มวลของสารทำความเย็น (refrigerant mass flow rate) และ วัสดุสามารถในการทำความเย็น (cooling capacity) โดยที่ ยิ่ง ความดันตกมากขึ้นและปริมาตรจำเพาะด้านดูดต่ำกว่า สารเดิมก็จะส่งผลให้ Q_{cool} ลดลง

5) การจัดเก็บสารทำความเย็นยังไม่เป็นระบบ ระเบียบ ในการเติมสารทำความเย็นช่วงมักปล่อยสารสู่ บรรยากาศระหว่างบริการโดยยังขาดความตระหนักถึง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ภาครัฐควรมีการรณรงค์ให้ มาก ขึ้นกับกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีระบบการจัดเก็บ และการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าที่เป็นอยู่

5. สรุป

การพิจารณาสารทำความเย็นเริ่มจากการพิจารณาว่าเป็นการ ทดแทนแบบใด drop-in, retrofit หรือ new system โดยรวม สารทำความเย็นกลุ่ม HFCs ยังคงมีปัญหาเรื่องการทำให้โลกร ้อน ส่วนกลุ่ม HCs ยังมีปัญหาเรื่องความปลอดภัย และ HFOs ยังเป็นที่กังขาเรื่องความปลอดภัยเช่นกัน แอมโมเนีย ยังมีความเป็นพิษและอนุญาตแค่ในระดับอุตสาหกรรม การ ใช้งานคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบอัดครั้งเดียวยังไม่ เหมาะกับประเทศไทยเนื่องจากประสิทธิภาพต่ำ

ขณะนี้ยังไม่มีสารใดสารหนึ่งที่ทำให้สมรรถนะดี มี ความปลอดภัยสูง และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็น เยี่ยม การพิจารณาจึงต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน ประกอบเป็นกรณีไปโดยการทดแทนแบบ drop-in มีข้อคว ระวังเพิ่มเติมถึงพารามิเตอร์บางตัวที่อาจไม่สามารถควบคุม ได้ให้เท่าเดิม

ปัญหาอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวในบทความและควรมี การศึกษาต่อไป อาทิ การเปลี่ยนสัดส่วนของส่วนประกอบ กรณีเกิดการรั่วหรือการเติมผิดวิธีสำหรับสารผสม และ ความสึกหรอ เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] UNEP, Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, Seventh edition, 2006.
- [2] UNEP, HCFC help centre, 2010.
- [3] BNCR35: Overview of new and alternative refrigerants.
- [4] R.M. Lazzarin, P. Romagnoni, and L. Casasola, Two years of operation of a large solar cooling plant. International Journal of Refrigeration 16 (1993) 185-190.
- [5] M. Balli, O. Sari, C. Mahmed, C. Besson, P. Bonhote, D. Duc, and J. Forchelet, A pre-industrial magnetic cooling system for room temperature application. Applied Energy 98 (2012) 556-561.
- [6] T. Kawanami, K. Chiba, K. Sakurai, and M. Ikegawa, Optimization of a magnetic refrigerator at room temperature for air cooling systems. International Journal of Refrigeration 29 (2006) 1294-1301.
- [7] R. Prapainop, Development of an assessment method for refrigerant performance comparison, Ph.D. thesis, University College London, London, 2010.
- [8] UNEP, Retrofitting with non-CFC substitutes, UNEP (United Nation Environmental Programme), 1994.
- [9] EPA, Composition of refrigerant blends, EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2011.
- [10] C. Aprea, and A. Greco, Performance evaluation of R22 and R407C in a vapour compression plant with reciprocating compressor. Applied Thermal Engineering 23 (2003) 215-227.
- [11] C. Aprea, and R. Mastrullo, Experimental evaluation of electronic and thermostatic expansion valves performances using R22 and R407C. Applied Thermal Engineering 22 (2002) 205-218.
- [12] S.G. Kim, M.S. Kim, and S.T. Ro, Experimental investigation of the performance of R22, R407C and

- R410A in several capillary tubes for air-conditioners. International Journal of Refrigeration 25 (2002) 521-531.
- [13] R. Tillner-Roth, R22 retrofit with R422D in German Supermarkets, International technical meeting on HCFC phase-out, EUROPA, Montreal, Canada, 2008.
- [14] Dupont, Retrofit guidelines for Dupont ISCEON MO99 (R-438A) refrigerant, Dupont, 2011.
- [15] DAIKIN, World's first commercialization of air conditioning equipment using next generation refrigerant HFC32. DAIKIN corporate news (2012).
- [16] W. Goetzler, J. Burgos, H. Hiraiwa, and T. Sutherland, Review of regulations and standards for the use of refrigerants with GWP values less than 20 in HVAC&R applications, ARTI (Air conditioning and refrigeration technology institute), 2010.
- [17] IPCC, IPCC fourth assessment report on climate change: The physical science basis, IPCC (Intergovernmental panel on climate change), 2007.
- [18] M. Koban, HFO-1234yf low GWP refrigerant LCCP analysis, SAE World Congress and Exhibition, Michigan, USA, 2009.
- [19] IAR, Ammonia: The natural refrigerant of choice, IAR (International institute of ammonia refrigeration), 2012.
- [20] S. Spletzer, and G. Rolotti, Refrigerants for R-22 retrofits. Refrigeration Service Today (2011).
- [21] EUROPA, Overview of advantages and disadvantages of alternatives, International technical meeting on HCFC phase-out, EUROPA, Montreal, Canada, 2008.
- [22] Hydrocarbons21, Lessons from Gree's R290 AC facilities could help others set up similar projects, Hydrocarbons21.com, 2011, August.
- [23] Hydrocarbons21, China's leading air conditioner companies shift to R290, Hydrocarbons21.com, 2011, December.
- [24] ด. ปาณานนท์, Propane in hermetic refrigeration system. Keep Cool November (2006) 18-21.
- [25] SCDF, Review on use of hydrocarbon refrigerant in Singapore, www.scdf.gov.sg (Singapore Civil Defence Force), 2011.
- [26] L. Cecchinato, M. Chiarello, and M. Corradi, Design and experimental analysis of a carbon dioxide transcritical chiller for commercial refrigeration. Applied Energy 87 (2010) 2095-2101.
- [27] S. Sawalha, Theoretical evaluation of trans-critical CO2 systems in supermarket refrigeration. Part II: System modifications and comparisons of different solutions. International Journal of Refrigeration 31 (2008) 525-534.