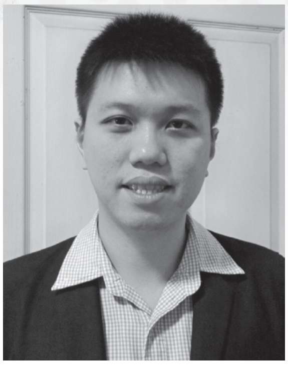
สารทำความเย็นทางเลือกสำหรับระบบปรับอากาศและการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย
The Next Generation Alternative Refrigerant & Its Application in Thailand

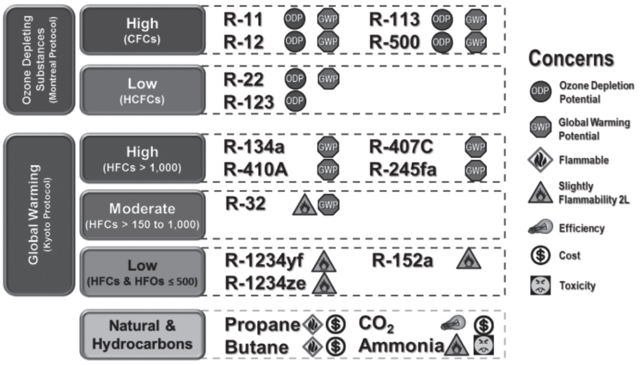


ปิยะบูลย์ วิริยะสกุลสุข
บธ.ม., วศ.บ.

ทศพล สถิตย์สุวงศ์กุล
วศ.ม., วศ.บ., สก. 3769

ระบบปรับอากาศได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านสื่อกลางที่เรียกว่า “สารทำความเย็น” ซึ่งถูกใช้กันอย่างแพร่หลายไม่เพียงแต่ในอุตสาหกรรมระบบปรับอากาศเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงอีกหลายอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น อุตสาหกรรมตู้เย็นหรือตู้แช่ อุตสาหกรรมรถยนต์ ฯลฯ ซึ่งสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบปรับอากาศสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> สารทำความเย็นที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนอย่างรุนแรง (High Ozone Depletion Potential) สารทำความเย็นในกลุ่มนี้ คือ สารทำความเย็นกลุ่ม CFCs ได้แก่ R-11, R-12 และ R-113 เป็นต้น สารทำความเย็นกลุ่มนี้ได้รับการผลิตขึ้นมาในช่วงปี ค.ศ.1930 โดย Midgey เพื่อนำมาใช้งานทดแทน โพรเพน (Propane) และซัลเฟอร์ไดอ็อกไซด์ (SO_2) และใช้กันอย่างแพร่หลายในยุคนั้น จวบจนช่วงทศวรรษ 1970 ที่มีการศึกษาโดย NOAA ได้ค้นพบว่าความหนาแน่นของ R-11 รวมถึงสารทำความเย็นอื่นๆ ในกลุ่มนี้ที่ชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชั้นบรรยากาศโอโซนโดยตรง ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษ 1980 พบว่าโอโซนได้ถูกทำลายลงจนกลายเป็นช่องรูโหว่ขนาดใหญ่ที่บริเวณทวีปแอนตาร์กติกา (Antarctica) จนนำมาสู่การบรรลุข้อตกลงพิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol)

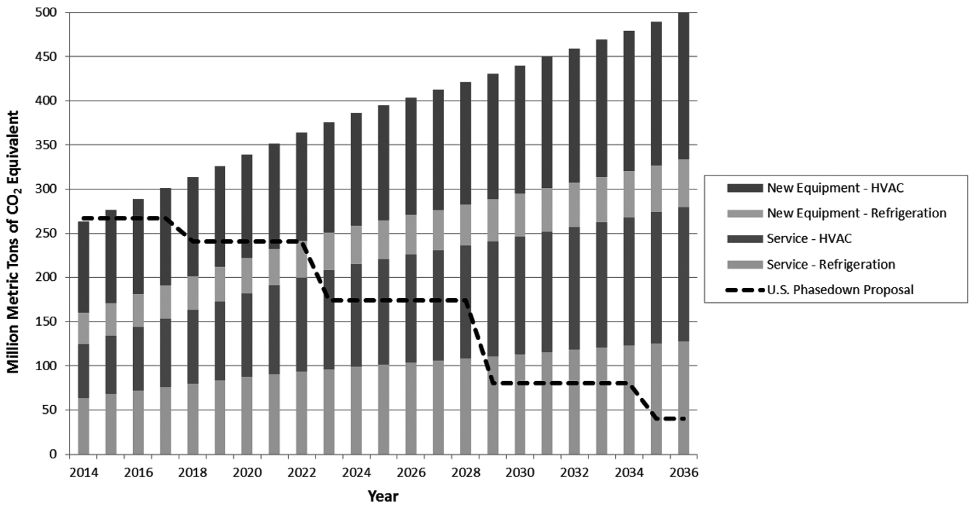


รูปที่ 1 - สารทำความเย็นชนิดต่างๆ แบ่งตามประเภท

ณ ประเทศแคนาดา ในปี ค.ศ.1985 ที่ส่งผลให้มีการกำหนดแผนลดการใช้งานสารทำความเย็นที่ทำลายโอโซนอย่างเป็นรูปธรรมในปี ค.ศ.1987 โดยมีผลบังคับใช้กับทุกประเทศสมาชิกของสหประชาชาติที่ได้ให้สัตยาบันในพิธีสารดังกล่าวไว้ รวมถึงกรณีประเทศไทย จึงทำให้ประเทศไทยไม่สามารถผลิตหรือนำเข้าสารทำความเย็นกลุ่ม CFCs นี้มาจำหน่ายในประเทศได้นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 เป็นต้นมา

<u>กลุ่มที่ 2</u> สารทำความเย็นที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนต่ำ/ไม่รุนแรง (Low Ozone Depletion Potential) ได้แก่ สารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs อาทิเช่น R-22 และ R-123 เป็นต้น สารทำความเย็นกลุ่มนี้ได้รับการพัฒนาต่อเนื่องมาจากกลุ่ม CFCs โดย R-22 ได้รับการพัฒนาและนำมาใช้งานในช่วงทศวรรษ 1950 และจัดเป็นสารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs ที่มีการใช้งานในประเทศไทยมากที่สุดในปัจจุบัน ทั้งนี้ สารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs นี้ยังสามารถนำเข้ามาจำหน่าย หรือผลิตขึ้นใช้ใหม่ (Virgin Refrigerants) ได้ในประเทศไทยตามปริมาณโควต้าที่ได้รับในแต่ละปี จวบจนถึงปี ค.ศ.2040 ตามพิธีสารมอนทรีออล

<u>กลุ่มที่ 3</u> สารทำความเย็นที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน แต่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนสูง (Global Warming Potential) สารทำความเย็นกลุ่มนี้คือ HFCs ได้แก่ R-134a, R-407C, R-410A และ R-32 เป็นต้น สารทำความเย็นกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่มาทดแทนสารทำความเย็นในกลุ่ม CFCs และ HCFCs เช่น R-410A ที่มาเป็นสารทำความเย็นทางเลือกของ R-22 รวมถึง R-134a ที่นำมาใช้เพื่อทดแทนสารทำความเย็น R-12 แต่ต่อมาได้มีการวิจัยและพัฒนาสารทำความเย็นที่จะมาทดแทนกลุ่มนี้อีกในอนาคต เช่น R-32, R-1234yf และ R-1234ze(E) ฯลฯ ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป ปัจจุบัน (ค.ศ. 2015) สารทำความเย็นกลุ่มนี้ยังสามารถนำเข้ามาจำหน่ายและใช้ได้ในประเทศไทยโดยที่ยังไม่มีกฎหมายหรือข้อกำหนดการลดปริมาณการใช้งานแต่อย่างใด แต่ในขณะเดียวกันก็เริ่มที่จะได้รับผลกระทบจากแนวนโยบายในระดับเวทีโลกที่ให้ลดปริมาณการใช้งาน HFCs อย่างรวดเร็วและมีนัยสำคัญในอนาคตอันใกล้นี้ ทั้งนี้เนื่องจากสารทำความเย็นกลุ่มนี้มีค่า GWP ที่สูง รวมถึงมีปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังตัวอย่างที่เห็นได้จากผลการคาดการณ์ GWP ที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการใช้งานสารทำความเย็นกลุ่ม HFCs สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมปรับอากาศและการทำความเย็น (HVAC&R) ภายในประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรง (Direct Impact) ต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ (Climate Change) ที่รุนแรงและมีนัยสำคัญในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา



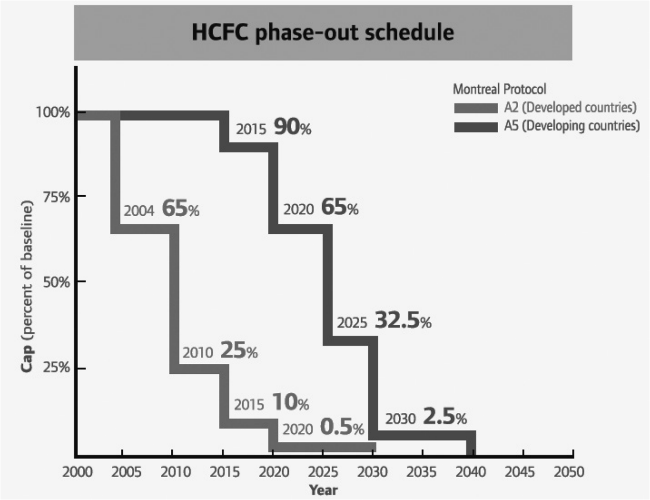
Source: Navigant HFC Consumption Model

รูปที่ 2 - GWP ที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณการใช้งานสารทำความเย็นกลุ่ม HFCs กรณีปกติ (Business-as-usual) สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม HVAC&R ภายในประเทศสหรัฐอเมริกา

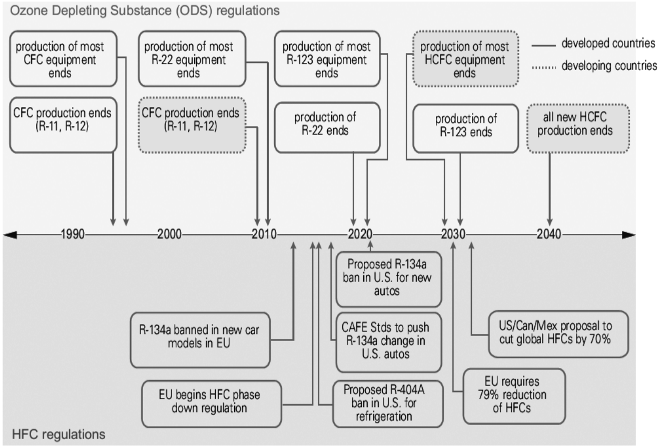
สืบเนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในเรื่องของการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (ODP) และสภาวะโลกร้อน (GWP) จึงนำมาสู่การลดปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่ทำลายโอโซนและมีค่า GWP สูง (GWP > 1,000) ตามที่แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสารทำความเย็นที่ทำลายโอโซน ได้แก่ สารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs ซึ่งสารทำความเย็นกลุ่มนี้ได้มีกฎเกณฑ์การลดปริมาณการใช้งานที่ชัดเจนเรียบร้อยแล้วตามพิธีสารมอนทรีออล ดังที่แสดงในรูปที่ 3 โดยประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา (Developing Countries — A5) ที่ต้องลดการใช้งานสารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs ที่ผลิตขึ้นใหม่ (Virgin Refrigerant) ให้ได้ภายในปี ค.ศ. 2040 หรืออีกภายใน 25 ปีข้างหน้านับจากปัจจุบัน ทั้งนี้ไม่นับรวมสารทำความเย็น HCFCs ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled/Reused Refrigerant) และที่ผลิตขึ้นใหม่ที่ได้รับการเก็บสต็อกไว้ล่วงหน้าก่อนปี ค.ศ. 2040 ซึ่งสาร HCFCs ทั้งสองประเภทนี้จะสามารถใช้ได้นานตราบเท่าที่ต้องการ แม้ว่าเวลาจะล่วงเลย ค.ศ. 2040 แล้วก็ตามที

ในส่วนของการลดปริมาณการใช้งานสารทำความเย็นที่มีค่า GWP สูง ได้เริ่มมีการบังคับใช้อย่างจริงจังในยุโรปเรียบร้อยแล้ว (นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 เป็นต้นมา) และกำลังจะมีผลบังคับใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา รวมถึงกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว (Developed Countries — A2) และกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาซึ่งรวมถึงกรณีประเทศไทยด้วย เนื่องจากกำหนดการดังกล่าวกำลังถูกนำเข้าสู่การพิจารณาและบังคับใช้ในลำดับต่อไปดังแสดงใน รูปที่ 4 และ 5

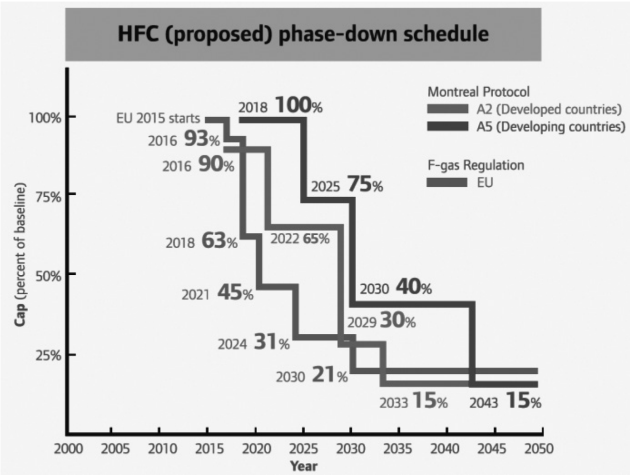
จากแผนแม่บทการลดการใช้งานสารทำความเย็นในกลุ่ม HCFCs และ HFCs จะเห็นได้ว่าปัจจุบันสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบปรับอากาศในประเทศไทย กำลังจะเข้าสู่การเปลี่ยนผ่านไปยังสารทำความเย็นใหม่ที่กำลังอยู่ในกระบวนการพัฒนาหรืออยู่ระหว่างการนำเสนอสารทำความเย็นทางเลือกที่มีค่า GWP ต่ำลงกว่าสารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กแยกส่วนแบบแขวนผนัง (High Wall Type) ได้เริ่มมีการพิจารณาปรับเปลี่ยนจากสารทำความเย็น R-410A (GWP = 1,924) มาเป็นสารทำความเย็น



รูปที่ 3 - แผนการลดปริมาณการใช้งานสารทำความเย็นกลุ่ม HCFCs



รูปที่ 4 - Timeline การบังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับสารทำความเย็น



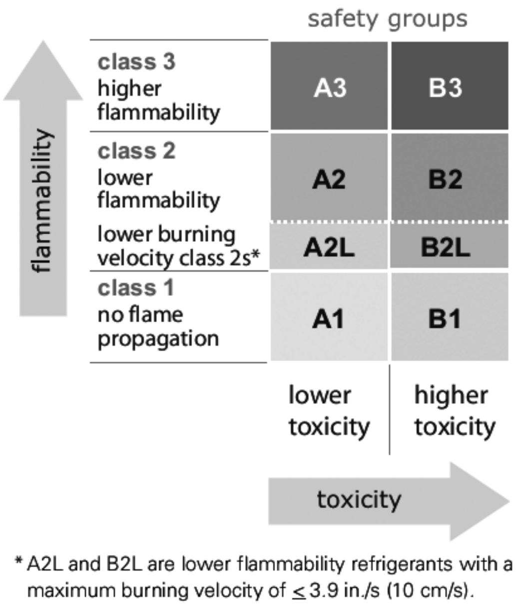
รูปที่ 5 - แผนการลดปริมาณการใช้งานสารทำความเย็นกลุ่ม HFCs ที่มีค่า GWP สูง

R-32 (GWP = 677) ที่มีค่า GWP ลดลงจากเดิมประมาณ 3 เท่า แต่กระนั้นก็ตาม R-32 ก็ยังถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีค่า GWP ระดับกลาง (ไม่ใช่ระดับต่ำที่ต้องมีค่า GWP ไม่เกิน 150) และเป็นสารทำความเย็นที่ติดไฟได้ โดยจัดอยู่ในกลุ่ม A2L ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป ในขณะที่ R-410A ที่มีค่า GWP สูงกว่า 3 เท่านั้น จัดอยู่ในกลุ่ม A1 ที่ไม่ติดไฟ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อการใช้งานของผู้บริโภค ในด้านการไม่ติดไฟของตัวสารทำความเย็นเองในทุกกรณี

ขณะเดียวกันบริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศและสารทำความเย็นยังได้มีการวิจัยและพัฒนาต่อยอดร่วมกันเพื่อผลิตสารทำความเย็นที่มีค่า ODP เท่ากับ 0 หรือเทียบเท่า และมีค่า GWP ที่ลดลงหรือน้อยกว่า 150 ซึ่งการผลิตสารทำความเย็นให้มีค่า GWP ที่ลดลงโดยส่วนมากจะส่งผลให้เกิดการติดไฟที่มากขึ้น (ค่า GWP และคุณสมบัติการติดไฟของสารทำความเย็นมักสวนทางกัน) อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้นๆ ต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งระบบปรับอากาศโดยทั่วไปจะไม่ใช้สารทำความเย็นที่ติดไฟได้ในกลุ่ม A2 และ B2 ขึ้นไป ตามมาตรฐาน ASHRAE 34-2013 (รูปที่ 6) แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องค่า GWP ที่ต้องมีค่าลดลงในปัจจุบัน ส่งผลให้มีการระบุกลุ่มความปลอดภัยของสารทำความเย็นขึ้นใหม่เป็นกลุ่มที่ 4 สารทำความเย็นในกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มสารทำความเย็นติดไฟได้ต่ำ (Mildly/Slightly Flammable) เรียกว่า A2L และ B2L ในการพิจารณาและประเมินเพื่อจัดกลุ่มสารทำความเย็นกลุ่ม A2L และ B2L มีรายละเอียดที่ค่อนข้างจะซับซ้อนกว่ากลุ่มสารทำความเย็นอื่นๆ โดยกำหนดให้ค่าความเร็วในการติดไฟของสารทำความเย็น (Burning Velocity — BV) ไม่เกิน 3.9 นิ้วต่อวินาที (in./s) หรือ 10 เซนติเมตรต่อวินาที (cm/s) ซึ่งค่าความเร็วใน

การติดไฟของสารทำความเย็น (BV) ยิ่งน้อยจะยิ่งลดความเสี่ยงต่อการติดไฟ หรือเมื่อติดไฟแล้วสามารถดับเองได้ถ้าความเร็วของอากาศมากกว่าค่าความเร็วในการติดไฟของสารทำความเย็นนั้นๆ ซึ่งค่าความเร็วในการติดไฟของสารทำความเย็นบางชนิดอาจจะเปลี่ยนไปตามสภาพอากาศ เช่น R-1234yf มีค่าความเร็วในการติดไฟเท่ากับ 1.5 cm/s ที่อากาศแห้ง แต่จะมากขึ้นไปเป็น 5.9 cm/s ที่อากาศชื้นมากๆ ในขณะที่ R-32 จะมีค่าความเร็วในการติดไฟคงที่ที่ 6.7 cm/s ไม่ว่าอากาศจะชื้นในระดับใดก็ตาม

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าความเร็วในการติดไฟของสารทำความเย็น (BV) มาพิจารณาร่วมกับค่าพลังงานขั้นต่ำเพื่อใช้ในการติดไฟที่อุณหภูมิห้องของสารทำความเย็นนั้นๆ (Minimum Ignition Energy — MIE) ที่ค่ายิ่งมากจะยิ่งลดความเสี่ยงต่อการติดไฟได้ กล่าวคือ เมื่อสารทำความเย็นมีการรั่วไหลออกมาแล้วสามารถติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องถ้าค่าพลังงานขั้นต่ำเพื่อใช้ในการติดไฟที่อุณหภูมิห้อง (MIE) มีค่าต่ำ และจะติดไฟได้ยากขึ้นถ้าค่าพลังงานขั้นต่ำเพื่อใช้ในการติดไฟที่อุณหภูมิห้องนี้มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 6 - การจัดกลุ่มความปลอดภัย (Safety Groups) ของสารทำความเย็นตามมาตรฐาน ASHRAE 34-2013

ในขณะที่มาตรฐาน EN-378 จะพิจารณาร่วมกับพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของสารทำความเย็น (Heat of Combustion — HoC) กล่าวคือ ผลกระทบจากการติดไฟจะรุนแรงมากขึ้นเมื่อค่า HoC สูงขึ้น โดยกำหนดให้น้อยกว่า 19 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ควบคู่กับค่าความหนาแน่นของสารทำความเย็นในอากาศที่ก่อให้เกิดการติดไฟได้ (Lower Flammability Limit — LFL) ที่ค่า

Flammability Class		Lower Flammability Limit LFL kg/m3		Heat of Combustion HoC MJ/kg	Burning Velocity BV cm/s
3	Highly flammable	<0.1	or	>19	n/a
2	Flammable	>0.1	and	<19	n/a
2L *	Mildly flammable	>0.1	and	<19	<10
1	Non-flammable	Cannot be ignited			

* For EN 378 the 2L category is a proposal that is still under discussion.
However, the 2L category is used in ISO 817:2014 "Refrigerants — Designation and safety classification"

รูปที่ 7 - มาตรฐานความปลอดภัยของยุโรป EN 378 : การจัดกลุ่มสารทำความเย็นในด้านการติดไฟ

ยิ่งมากยิ่งดี กล่าวคือ ต้องใช้สารทำความเย็นปริมาณที่มากเพื่อที่จะติดไฟได้ โดยกำหนดให้มากกว่า 0.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งกลุ่ม 2L นี้ยังอยู่ระหว่างการหารือเพื่อหาข้อสรุป สำหรับประเทศไทยได้มีผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก (Mini Split) บางรายนำสารทำความเย็นกลุ่มที่ติดไฟได้ต่ำ (A2L) มาใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 30,000 Btu/hr และวางจำหน่ายเรียบร้อยแล้วในปัจจุบัน

จากการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของสารทำความเย็นกลุ่มใหม่นี้ ทำให้มีการพัฒนาสารทำความเย็นทางเลือกออกมาเป็นจำนวนมาก โดยมีทั้งที่ผลิตออกมาจำหน่ายเรียบร้อยแล้ว และที่ยังอยู่ระหว่างกระบวนการพัฒนาทดสอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1 สารทำความเย็นที่มีค่า GWP น้อยกว่า 150 ได้แก่ กลุ่ม HFOs (Hydro-fluoro-olefins – Unsaturated Hydrofluorocarbons)</u> เป็นสารทำความเย็นทางเลือกใหม่ที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาต่อยอดให้มีค่า GWP ที่ต่ำมาก อันเป็นผลมาจากอายุตกค้างในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Life) ที่น้อยกว่า 30 วัน โดยส่วนมากจะอยู่ที่ประมาณ 10 – 15 วัน โดยในปัจจุบันมีข้อมูลเผยแพร่ออกมาทั้งหมด 3 ชนิดดังต่อไปนี้

1) R-1234yf มีสูตรทางเคมีว่า "$CF_3CF=CH_2$" เป็นสารทำความเย็นเดี่ยว (Pure Refrigerant) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทน R-134a จัดอยู่ในกลุ่ม A2L ติดไฟต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

2) R-1234ze(E) มีสูตรทางเคมีว่า "trans - $CHF = CHCF_3$" เป็นสารทำความเย็นเดี่ยวที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทน R-134a จัดอยู่ในกลุ่ม A2L ติดไฟต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

<u>ตารางที่ 1</u> - ตารางเปรียบเทียบสารทำความเย็นทางเลือกกลุ่ม HFOs เพื่อใช้ทดแทนสารทำความเย็น R-134a

สารทำความเย็น	R-134a	R-1234yf	R-1234ze(E)
ODP	0	0	0
GWP	1,300	<1*	<1*
ความปลอดภัย	A1	A2L	A2L
BV (cm/s)	0	1.5	0**
MIE (MJ/kg)	-	50,000	-
อายุ[1] (ปี)	13.4	0.031	0.038
ประสิทธิภาพ[2]	8.472	8.168	8.452
ราคา (€/kg)	-	30 – 50	30 – 40

[1] อายุในชั้นบรรยากาศ [2] ประสิทธิภาพเชิงทฤษฎี

*อ้างอิงจาก Hodneberg. O. et. al. "Global Warming Potential and Radiative Efficiencies of Halocarbons and Related Compounds: A Comprehensive Review," Reviews of Geophysics (June 2013)

** ที่อุณหภูมิห้อง

3) R-1233zd(E) มีสูตรทางเคมีว่า "$C_3H_2ClF_3$" เป็นสารทำความเย็นเดี่ยวที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทน R-123 จัดอยู่ในกลุ่ม A1 ไม่ติดไฟ ดังที่แสดงในตารางที่ 2

<u>ตารางที่ 2</u> - ตารางเปรียบเทียบสารทำความเย็นทางเลือกกลุ่ม HFOs เพื่อใช้ทดแทนสารทำความเย็น R-123

สารทำความเย็น	R-123	R-1233zd(E)
ODP	0.012	0.0002
GWP	79	1*
ความปลอดภัย	B1	A1
BV (cm/s)	0	0
MIE (MJ/kg)	-	-
อายุ[1] (ปี)	1.3	0.0712
ประสิทธิภาพ[2]	8.949	8.854
ราคา (€/kg)	-	30 – 40

[1] อายุในชั้นบรรยากาศ [2] ประสิทธิภาพเชิงทฤษฎี

*อ้างอิงจาก Hodneberg. O. et. al. "Global Warming Potential and Radiative Efficiencies of Halocarbons and Related Compounds: A Comprehensive Review," Reviews of Geophysics (June 2013)

สารทำความเย็นที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาในกลุ่มนี้ (HFOs) จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารทำความเย็นเดิมแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ลดลงเป็นอย่างมาก โดยพิจารณาได้จากค่า GWP และอายุตกค้างในชั้นบรรยากาศที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ถือได้ว่าเป็นสารทำความเย็นทางเลือกที่น่าสนใจ และได้เริ่มมีการนำมาใช้ในเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ขนาดใหญ่ในบางประเทศในทวีปยุโรปแล้ว แต่ทว่าราคาของสารทำความเย็นกลุ่มนี้ (ที่เปิดเผยในยุโรป) จะสูงกว่าราคาของสารทำความเย็นที่ใช้อยู่เดิมค่อนข้างมาก ราคาของสารทำความเย็นกลุ่ม HFOs นี้จะอยู่ที่ประมาณ 30 – 50 ยูโรต่อกิโลกรัม (€/kg) หรือประมาณ 1,200 – 2,000 บาทต่อกิโลกรัม (฿/kg)

กลุ่มที่ 2 สารทำความเย็นที่มีค่า GWP มากกว่า 150 แต่ไม่เกิน 1,000 จะเป็นกลุ่ม HFCs และ HFCs ผสมกับ HFOs ที่มีการพัฒนาเพื่อหาสารทำความเย็นที่เหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โดยมีความท้าทายในการพัฒนาสารทำความเย็นทางเลือกให้ไม่ติดไฟและได้ระดับความปลอดภัยที่ A1 แต่ปัจจุบันยังไม่มีสารทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่สามารถตอบโจทย์นี้ได้ มีเพียงแค่สารทำความเย็นที่จะมาใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศดังที่แสดงในตารางที่ 4 โดยในปัจจุบันมีข้อมูลเผยแพร่สารทำความเย็นกลุ่มนี้ออกมาทั้งหมด 2 ชนิดดังต่อไปนี้

1) R-32 มีสูตรทางเคมีว่า “CH_2F_2” – “ไดฟลูออโรมีเทน – Difluoromethane” เป็นสารทำความเย็นเดี่ยวที่เป็นหนึ่งในสารตั้งต้นของ R-410A และ R-407C รวมถึงสารทำความเย็นผสมระหว่าง HFCs กับ HFOs ที่กำลังวิจัยและพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน จัดอยู่ในกลุ่ม A2L ติดไฟต่ำ และได้เริ่มมีการนำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็กไม่เกิน 30,000 Btu/hr มีค่า GWP ที่ดีกว่าทั้ง R-22 และ R-410A ดังที่แสดงในตารางที่ 3 ซึ่ง R-32 จัดเป็นสารทำความเย็นที่มีค่า GWP อยู่ในระดับกลาง อาจจะยังไม่ใช่สารทำความเย็นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็กในระยะยาว

ตารางที่ 3 - ตารางเปรียบเทียบสารทำความเย็นทางเลือกกลุ่ม HFCs เพื่อมาทดแทนสารทำความเย็น R-22 และ R-410A

สารทำความเย็น	R-22	R-410A	R-32
ODP	0.034	0	0
GWP	1760	1924	677
ความปลอดภัย	A1	A1	A2L
BV (cm/s)	0	0	6.7
MIE (MJ/kg)	-	-	15
อายุ[1] (ปี)	11.9	28.2	5.2
ประสิทธิภาพ[2]	8.483	7.988	8.215
ส่วนประกอบ	-	R-32/R-125	-

[1] อายุในชั้นบรรยากาศ [2] ประสิทธิภาพเชิงทฤษฎี

2) R-513A เป็นสารทำความเย็นที่เกิดจากการผสมระหว่าง HFCs และ HFOs เข้าด้วยกัน ได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้ทดแทน R-134a และมีค่า GWP อยู่ในระดับกลางใกล้เคียงกับ R-32 จัดอยู่ในกลุ่ม A1 ไม่ติดไฟ ดังที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 - ตารางเปรียบเทียบสารทำความเย็นทางเลือกกลุ่ม HFCs ผสมกับ HFOs เพื่อมาทดแทนสารทำความเย็น R-134a

สารทำความเย็น	R-134a	R-513A
ODP	0	0
GWP	1,300	572
ความปลอดภัย	A1	A1
BV (cm/s)	0	0
MIE (MJ/kg)	-	-
อายุ[1] (ปี)	13.4	5.9
ประสิทธิภาพ[2]	8.472	8.280
ส่วนประกอบ	-	R-134a/R-1234yf

[1]อายุในชั้นบรรยากาศ [2]ประสิทธิภาพเชิงทฤษฎี

นอกเหนือจากสารทำความเย็นทางเลือกดังที่แสดงในตารางที่ 3 และ 4 แล้ว ยังมีสารทำความเย็นจำนวนมากที่กำลังอยู่ในระหว่างการวิจัยและพัฒนาหรืออยู่ในระหว่างกระบวนการทดสอบเพื่อนำมาทดแทน R-22 และ R-410A โดยมีค่า GWP ที่ต่ำใกล้เคียงระดับ 150 ให้มากที่สุด ทั้งนี้จัดอยู่ในกลุ่ม A2L ทั้งหมด ซึ่งจากข้อมูลที่เผยแพร่ในปัจจุบัน ยังไม่มีสารทำความเย็นทดแทน R-22 และ R-410A ที่มีค่า GWP ต่ำ และไม่ติดไฟหรือจัดอยู่ในกลุ่ม A1 ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าสารทำความเย็นทางเลือกที่คาดการณ์ว่าจะมาทดแทน R-22 นั้น จะมีสารตั้งต้นจาก R-32 และ R-1234yf หรือ R-1234ze(E) โดยที่ค่า GWP จะอยู่ในช่วง 219 — 1,548

Commercial name	Components and compositions	GWP	$T_{critical}$ et T_{normal} boiling (glide)	Volumetric capacity referred to HCFC-22 at $T_{water\ outlet}$ 7°C	COP relative to COP HCFC-22
HCFC-22		**1790**	TC = 96.1°C **TNe = --40.8°C**	**1**	**1**
ARM-32a	HFC-32/125/134a/1234yf 25/30/25/20	**1548**	Tc = 83.3°C **TNe = -42.3°C (-39.3/-45.3°C)**	**1.06**	**0.93**
DR-7	HFC-32/1234yf 36/64	**259**	TC=89.2°C **TNe = -40.7°C (-38.2/-43.2°C)**	**1.1**	**0.93**
L-20	R32/152a/1234yf/1234ze 40/10/20/30	**302**	TC = 89.9°C **TNe = -40.8°C (-37/-44.6°C)**	**1**	**0.98**
LTR4X	HFC-32/125/134a/1234ze 28/25/16/31	**1276**	Tc = 83.2°C **TNe= -42.2°C (-38.4/-46.1°C)**	**1**	**0 .95**
LTR6A	HFC-32/744/1234ze 30/7/63	**219**	Tc = 87.9°C **TNe = -45.6°C (-35/-56.2°C)**	**1.01**	**0.98**
D52Y	HFC-32/125/1234yf 15/25/60	**965**	Tc = 85.7°C **TNe = -39.6°C (-37.2/-42°C)**	**0.95**	**0.93**

รูปที่ 8 - สารทำความเย็นที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาหรือทดสอบ เพื่อนำมาทดแทน R-22

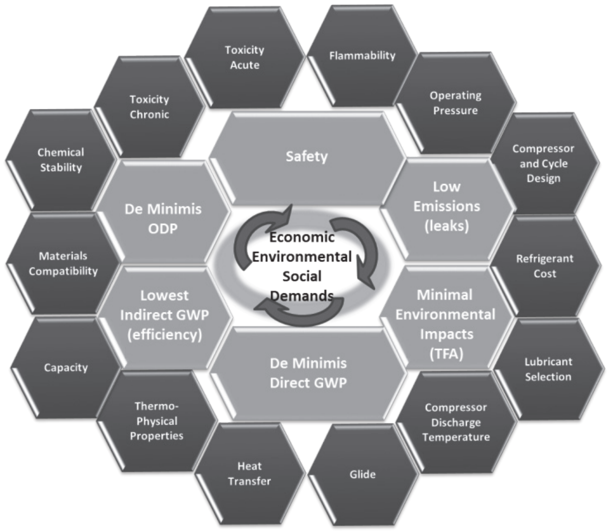
ASHRAE Designation	Common Name	Composition	Safety Classification	GWP[1] (100-year)
N/A	Daikin D2Y-60	R-32/R-1234yf (40/60)	A2L	271
N/A	Mexichem HPR1D	R-32/R-744/R-1234ze(E) (60/6/34)	A2L	407
R-446A	-	R-32/R-1234ze(E)/R-600 (68/29/3)	A2L	461
N/A	Arkema ARM-70a	R-32/R-134a/R-1234yf (50/10/40)	A2L	469
N/A	DuPont DR-5	R-32/R-1234yf (72.5/27.5)	A2L	491
R-447A	-	R-32/R-125/R-1234ze(E) (68/3.5/28.5)	A2L	572

1. IPCC Fifth Assessment Report, Table 8.A.1. Blends calculated using weighted average of components.

รูปที่ 9 - สารทำความเย็นที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาหรือทดสอบ เพื่อนำมาทดแทน R-410A

รูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าสารทำความเย็นทางเลือกที่คาดการณ์ว่าจะมาทดแทน R-410A นั้น จะมีสารตั้งต้นจาก R-32 โดยที่ค่า GWP จะอยู่ในช่วง 271 – 572 และจัดอยู่ในกลุ่ม A2L ทั้งหมด

สารทำความเย็นทางเลือกที่จะนำมาใช้ในระบบปรับอากาศในอนาคตไม่เพียงแต่พิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางตรงที่วัดค่าได้จาก ODP และ GWP เท่านั้นแต่ยังรวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ควรนำมาพิจารณาควบคู่ประกอบกันไป ทั้งเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย ความเป็นพิษ ประสิทธิภาพ ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ส่งผลให้สารทำความเย็นทางเลือกอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ อาทิเช่น ไฮโดรคาร์บอน (Hydro carbons) แอมโมเนีย (Ammonia) รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) นั้น ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาแต่อย่างใด อันเนื่องจากข้อจำกัดด้านต่างๆ เช่น การติดไฟของสารไฮโดรคาร์บอน ความเป็นพิษของแอมโมเนีย และประสิทธิภาพการทำความเย็นที่แย่ของคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ

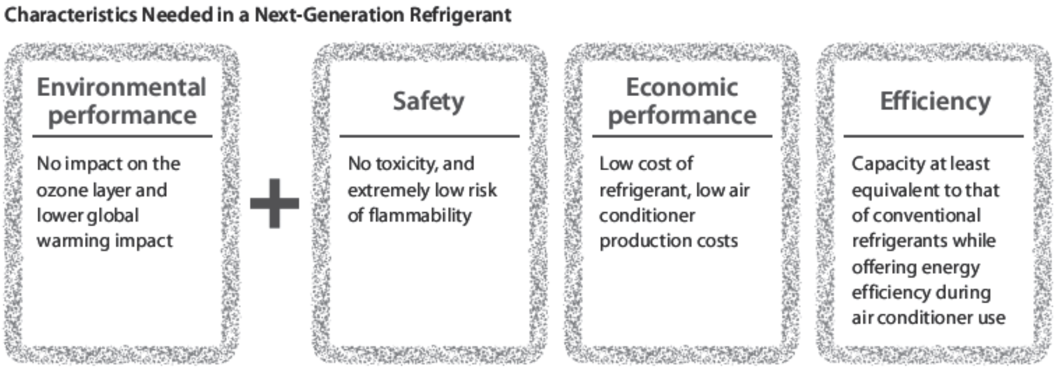


รูปที่ 10 - ปัจจัยการพิจารณาสารทำความเย็นทางเลือกโดยผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศชั้นนำรายหนึ่งจากสหรัฐอเมริกา

สรุป

ปัจจุบันการพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นทางเลือกสำหรับระบบปรับอากาศในอนาคตนั้นจะคำนึงถึงคุณสมบัติในหลายๆ มิติไปพร้อมๆ กัน ดังต่อไปนี้

- ค่า ODP เท่ากับ 0 หรือเทียบเท่า
- ค่า GWP ต่ำหรือน้อยกว่า 150



รูปที่ 11 – ปัจจัยการพิจารณาสารทำความเย็นทางเลือกโดยผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศชั้นนำรายหนึ่งในเอเชีย

- ไม่ติดไฟหรือติดไฟในระดับต่ำ (Non/Slightly/Mildly Flammable)
- อายุตกค้างในชั้นบรรยากาศสั้น (Short Atmospheric Life)
- ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency)
- อัตราการรั่วต่ำ (Low Leakage Rate)
- ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle/Reuse)
- ราคาสมเหตุสมผล (Reasonable Price)

สารทำความเย็นทางเลือกที่จะนำมาใช้กับระบบปรับอากาศในอนาคตเริ่มมีความชัดเจนในบางชนิด เช่น สารทำความเย็นที่จะมาทดแทน R-123 หรือ R-134a ที่ใช้กันแพร่หลายในเครื่องทำน้ำเย็น สามารถตอบโจทย์ทางด้านสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี แม้จะมีราคาที่ค่อนข้างแพงในปัจจุบัน ในส่วนของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนจากสารทำความเย็นทางเลือกที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ ยังต้องได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถตอบโจทย์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยให้มากที่สุดหรือเทียบเท่ากับสารทำความเย็นทางเลือกที่จะนำมาใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นในอนาคต

สำหรับประเทศไทยที่กำลังจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนผ่านจากการใช้สารทำความเย็น HCFCs และ HFCs ไปสู่สารทำความเย็นทางเลือก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือและการสนับสนุนจากทุกฝ่ายในการพิจารณาและตัดสินใจร่วมกัน เพื่อเลือกใช้สารทำความเย็นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง ขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพสูงและไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้งาน รวมถึงทำให้ผู้บริโภคได้รับผลประโยชน์สูงสุดทั้งทางตรงและทางอ้อม

เอกสารอ้างอิง

1. Moe, J., Thompson, M. and Bakkum, B. (2011). HVAC Refrigerants: A Balanced Approach, ***TRANE Engineers Newsletter,*** vol. 40-2, June 2011, pp. 1 — 5.
2. Thompson, M., Patterson, M. and Geister, R. (2015). Considerations for Next Generation HVAC Refrigerants, TRANE Environment Newsletter, vol.1, March 2015, pp.1 — 4.
3. “Technology and Development of Refrigerant for HVAC”, Trane Environmental Perspective, October 2013.
4. Goetzler, W., Sutherland, T., Rassi, M. and Burgos, J. (2014). Research and Development Roadmap for Next-Generation Low Global Warming Potential Refrigerants, November 2014.
5. Clodic, D. et Xueqin, P., Devin, E., Michineau, T. and Barrault, S. (2013). Alternatives to High GWP in Refrigeration and Air-Conditioning Applications, Final Report, December 2013.
6. Higashi, Y. (2010). Thermophysical Properties of HFO-1234yf and HFO-1234ze(E) in 2010 International Symposium on Next-Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan.
7. Gluckman Consulting. (2014). EU F-Gas Regulation Guidance, Information Sheet 27: Flammability Issues, November 2014.
8. Gluckman Consulting. (2014). EU F-Gas Regulation Guidance, Information Sheet 29: Low GWP Alternatives, December 2014.
9. Daikin Industries, Ltd., CSR & Global Environment Center. (2013). Corporate Social Responsibility Report 2013.
10. Daikin Industries, Ltd., CSR & Global Environment Center. (2014). Corporate Social Responsibility Report 2014.
11. ทศพล สถิตย์สุวงศ์กุล (2556). สาระน่ารู้ 20 ประการเกี่ยวกับ R-123, มิถุนายน 2556, หน้า 1 — 8.