

## สารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนสำหรับกลุ่มสารทำความเย็น

สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน (Ozone Depleting Substances หรือ ODSs) คือ สารที่มีส่วนประกอบของ ฮาโลคาร์บอน (Cl) ฟลูออรีน (F) หรือ โบรมีน (Br) ซึ่งเป็นสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายส่องถึงโลกมากขึ้น และเป็นอันตรายต่อมนุษย์และทรัพย์สิน เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก พิษแคระแกรน และวัสดุต่างๆ เปราะและเสียหายได้เร็วขึ้น

สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สารทำความเย็นในตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ โฟม กระจกสปเรย์ สารดับเพลิง สารทำลายในอุตสาหกรรมการทำความสะอาด อิเล็กทรอนิกส์ และการรมฆ่าแมลงศัตรูพืชในอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่

- คลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือ ซีเอฟซี (Chlorofluorocarbons, CFCs) ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สารทำความเย็นในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ โฟม กระจกสปเรย์ สารดับเพลิง
- ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือ เอชซีเอฟซี (Hydrochlorofluorocarbons, HCFCs) ใช้เป็นสารทดแทนสาร CFCs ชั่วคราว ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน และใช้ในการผลิตโฟม เช่น ฉนวนกันความร้อน
- ฮาลอน (Halon) นำมาใช้เป็นสารดับเพลิง
- คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) มักใช้เป็นตัวทำลายในห้องปฏิบัติการ และการผลิตยาเม็ด
- เมทิลคลอโรฟอร์ม (Methyl Chloroform or 1,1,1-trichloroethane) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าเย็บ และใช้ทำความสะอาดชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- เมทิลโบรมاید (Methyl Bromide) ใช้ในการรมฆ่าแมลงศัตรูพืช และการรมผลิตภัณฑ์พืชก่อนการส่งออก

สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนเหล่านี้ ได้ถูกควบคุมการผลิต และการใช้ โดยพิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยการลดและเลิกใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ซึ่งเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศที่มีประเทศภาคีสมาชิกมากถึง 197 ประเทศ สาระสำคัญของพิธีสารนี้ คือ การกำหนดให้ประเทศภาคีสมาชิกต้องลด และเลิกการผลิต นำเข้า และส่งออกสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนภายในระยะเวลาที่กำหนด ทำให้ประเทศภาคีสมาชิกต้องดำเนินการเลิกใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน และปรับเปลี่ยนไปเป็นสารทดแทนอื่นๆ

พิธีสารมอนทรีออลได้กำหนดระยะเวลาในการลดและเลิกการผลิต การนำเข้า และการส่งออกสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนสำหรับกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา และกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว ที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว มีกำหนดระยะเวลาในการลดและเลิกการผลิตและการใช้ก่อนกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ประมาณ 10 ปี สำหรับประเทศกำลังพัฒนารวมถึงประเทศไทยนั้น จะต้องปฏิบัติตามพันธกรณีของพิธีสาร ดังนี้

- ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2553 ต้องควบคุมปริมาณการใช้<sup>\*</sup> สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ฮาลอน (Halons) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ให้เท่ากับศูนย์

\* ปริมาณการใช้ (Consumption) ของพิธีสารมอนทรีออล หมายถึง (ปริมาณการนำเข้า + ปริมาณการผลิต) - ปริมาณการส่งออก

- ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2558 ต้องควบคุมปริมาณการใช้สาร 1,1,1-ไตรคลอโรเอเทน (1,1,1-Trichloroethane) ให้เท่ากับศูนย์
- ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2573 ต้องควบคุมปริมาณการใช้สารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) (แต่อนุญาตให้มีปริมาณการใช้ได้ 2.5% ของค่าฐานระหว่างปี พ.ศ. 2573 - 2582 เพื่อนำมาใช้ในการซ่อมบำรุง) และต้องเลิกการใช้อย่างสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2583

เพื่อให้ประเทศภาคีสมาชิก สามารถบรรลุพันธกรณีในการลดและเลิกการผลิต การนำเข้า และการส่งออกสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนตามกำหนดระยะเวลาสำหรับกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว หรือกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ขึ้นอยู่กับว่าประเทศนั้นจัดอยู่ในกลุ่มใดตามข้อกำหนดของพิธีสารมอนทรีออล เทคโนโลยีสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่ถูกควบคุมดังกล่าว จึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่จะต้องลดและเลิกใช้อย่างสมบูรณ์ และที่มีการใช้ในปริมาณมากและแพร่หลาย อย่างเช่น อุตสาหกรรมทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ และอุตสาหกรรมโพลี โดยสารทดแทนที่จะนำมาใช้แทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนต้องไม่ส่งผลกระทบในด้านอื่นๆ หรือส่งผลกระทบในระดับที่ยอมรับได้ เช่น ด้านเศรษฐกิจ ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นนอกจากเรื่องการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก การใช้พลังงาน เป็นต้น

สารทดแทนบางสารที่นำมาใช้เป็นสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่ถูกควบคุม โดยพิธีสารมอนทรีออล อาจถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนชั่วคราวในช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องด้วยในช่วงเวลานั้นสารเหล่านั้นเป็นสารทดแทนที่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์และการทำงานมากที่สุด และจะต้องถูกทดแทนในช่วงเวลาถัดไป ด้วยสารอื่นที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนอย่างสิ้นเชิง และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่น ยกตัวอย่างเช่น สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนกลุ่มแรกๆ ที่ถูกกำหนดให้เลิกผลิต นำเข้า และส่งออก แล้วทั้งกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว หรือกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา โดยใช้สารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) ใช้เป็นสารทดแทนสาร CFCs ชั่วคราว และสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) อยู่ในระหว่างการควบคุม และต้องเลิกการใช้อย่างสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2573 สำหรับกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และในปี พ.ศ. 2583 สำหรับกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นแต่ละประเทศสมาชิกจะต้องเลือกใช้สารทดแทนสารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) ที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละประเภทของประเทศตนเอง ซึ่งสารทดแทนที่นำมาใช้อาจจะต้องถูกทดแทนด้วยสารอื่นอีกในอนาคต เมื่อสามารถพัฒนาเทคโนโลยีสารทดแทนที่เหมาะสมและดีกว่าได้ หรือเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือกฎระเบียบที่จะบังคับใช้

สารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนมีหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน ในบทความนี้จึงขอกล่าวถึงสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน สำหรับกลุ่มสารทำความเย็นเท่านั้น เนื่องด้วยเป็นหนึ่งในกลุ่มที่มีการใช้ปริมาณมากมาย และเป็นกลุ่มสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่ถูกกำหนดให้ควบคุมและต้องเลิกใช้ ซึ่งการควบคุมและเลิกใช้สารทำความเย็นที่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนนั้น ย่อมส่งผลกระทบในวงกว้าง และเป็นความท้าทายในการพัฒนาและการเลือกใช้สารทดแทนให้เหมาะสมและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การศึกษาในเรื่องสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซน ได้มีการศึกษาโดย คณะกรรมการประเมินด้านเทคโนโลยีและเศรษฐกิจ หรือเรียกว่า TEAP (Technology and Economic Assessment Panel, TEAP) เป็นหนึ่ง คณะกรรมการภายใต้พิธีสารมอนทรีออล ซึ่งได้จัดตั้งคณะทำงานเพื่อศึกษาเพิ่มเติมข้อมูลเกี่ยวกับสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนในหลายภาคอุตสาหกรรม และความแตกต่างระหว่างในกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว กับกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา และได้เผยแพร่รายงานการศึกษา ในปี ค.ศ. 2014

จากรายงาน TEAP (2014) ดังกล่าว สามารถสรุปสาระสำคัญโดยย่อของสารทดแทนสารทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนในกลุ่มสารทำความเย็น โดยแยกตามประเภทการใช้งานเครื่องทำความเย็น ดังนี้

### 1. ระบบทำความเย็นที่ใช้ในบ้านเรือน (Domestic Refrigeration)

ภาคอุตสาหกรรมย่อยระบบทำความเย็นที่ใช้ในบ้านเรือน ประกอบด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในที่พักอาศัย เช่น ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง ตู้จ่ายเครื่องดื่ม เป็นต้น โดยมีปริมาณการผลิตเครื่องทำความเย็นในกลุ่มนี้ประมาณ 100 ล้านเครื่องต่อปี เครื่องทำความเย็นโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ขนาด 50 – 250 วัตต์ และเติมสารทำความเย็นในช่วง 50 – 250 กรัม อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ติดตั้งทั่วโลก อยู่ในช่วงประมาณการอายุเฉลี่ยตั้งแต่ 9-19 ปี โดยเฉพาะประเทศกลุ่มกำลังพัฒนาจะมีการใช้งานนาน ด้วยการที่มีอายุการใช้งานที่ยาวและปริมาณการผลิตประจำปีในปริมาณมาก คาดว่ามีจำนวนอยู่ทั่วโลก ประมาณ 1,500 – 1,800 ล้านเครื่อง

สารทำความเย็นหลักที่ใช้ คือ ไฮโดรคาร์บอน HC-600a (Iso-butane) และ HFC-134a สำหรับการผลิตใหม่ในปัจจุบัน กว่า 50% ของการผลิต (ทั่วโลก) ใช้ HC-600a ส่วนที่เหลือจะใช้ HFC-134a ซึ่ง HC-600a ยังคงเป็นสารทดแทนหลักสารทำความเย็น HFC-134a ซึ่งจะไม่มีความกังวลเกี่ยวกับความไวไฟสูงของสารไฮโดรคาร์บอนสำหรับการเติมสารทำความเย็นในปริมาณต่ำ และยังมีสารทดแทนใหม่ที่จะให้เกิดผลด้านประสิทธิภาพพลังงานและการแข่งขันด้านต้นทุน ถ้าพิจารณาเฉพาะต้นทุนของสารทำความเย็นต้นทุนของ HC-600a มีค่าต่ำกว่า HFC-134a แต่ต้นทุนการผลิตตู้เย็นที่ใช้ HC-600a จะสูงกว่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับระบบความปลอดภัย

มีการริเริ่มพัฒนานำสาร HFC-1234yf มาใช้ทดแทน HFC-134a ซึ่ง HFC-1234yf มีศักยภาพในเรื่องประสิทธิภาพเทียบเคียงกับ HFC-134a และเป็นสารที่ติดไฟต่ำ ทำให้ง่ายต่อการนำมาใช้เป็นสารทดแทนในประเทศที่มีข้อจำกัดในการใช้ HC-600a

### 2. ระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ (Commercial Refrigeration)

ระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ เป็นระบบทำความเย็นที่มีลักษณะเป็นที่จัดเก็บและสามารถมองเห็นอาหารและเครื่องดื่มที่เก็บอยู่ โดยมีอุณหภูมิอยู่ 2 ระดับหลัก คือ ระดับปานกลาง (ประมาณ 0°C) สำหรับอาหารแช่เย็น และระดับต่ำ (ประมาณ -18°C) สำหรับอาหารแช่แข็ง ความสามารถในการทำความเย็นจะแตกต่างกัน ตั้งแต่ หลายร้อยวัตต์ จนถึง 1.5 เมกะวัตต์ ขึ้นอยู่กับประเภทของระบบทำความเย็น ว่าเป็น แบบเดี่ยวๆ (Stand-alone equipment) ระบบควบแน่น (Condensing unit) และระบบซูเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket system) ทางเลือกในการใช้สารทำความเย็นขึ้นอยู่กับปริมาณสารทำความเย็นที่ต้องเติม ระดับของอุณหภูมิ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน รวมทั้งกฎระเบียบในระดับภูมิภาค

**ระบบทำความเย็นแบบเดี่ยวๆ (Stand-alone equipment)** เป็นระบบที่มีชิ้นส่วนประกอบทำความเย็นรวมอยู่ที่เดียวกัน เป็นประเภทที่มีขนาดเล็กที่สุด

HFC-134a และ R-404A ยังคงเป็นสารทำความเย็นหลักที่ใช้ในระบบนี้ ในยุโรปมีข้อกำหนดกฎหมายเกี่ยวกับสารกลุ่มฟลูออรีน ซึ่งได้กำหนดให้ห้ามใช้ R-404A ในอุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่ตั้งแต่ 1 มกราคม ปี ค.ศ. 2020

R-407F (มีค่า GWP เท่ากับ 1,800) และ R-407A (มีค่า GWP เท่ากับ 2,100) เป็นสารทำความเย็นแบบผสมที่นำมาใช้เป็นสารทดแทนชั่วคราวแทนสาร R-404A หรือ HCFC-22 ในยุโรปและสหรัฐอเมริกา

HC-600a และ HC-290 (Propane) เป็นสารไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิดที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นเชิงพาณิชย์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องทำไอศกรีม ตู้แช่ขนาดเล็ก โดยที่ปริมาณการเติมสารทำความเย็น อยู่ในช่วง 15 กรัม ถึง 1.5 กิโลกรัม

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจำหน่ายเครื่องดื่มที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะใกล้เคียงกับเครื่องที่ใช้ HFC-134a ซึ่งจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในอากาศสูงกว่า 25 °C โดยมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องที่ใช้ HCFC หรือ HFC แต่ยังมีอุปสรรคในเรื่องความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเทคโนโลยีระดับสูง สำหรับการนำระบบที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาประยุกต์ใช้

ด้วยความตระหนักถึงการพัฒนาสารทดแทนกลุ่ม HFCs ที่มีค่าศักยภาพทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ต่ำ ที่จะนำมาใช้เป็นสารทดแทน สถาบันระบบทำความเย็น ระบบทำความร้อน และระบบปรับอากาศ (Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute: AHRI) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของสารทำความเย็นใหม่ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานของ HFC-1234yf HFC-1234ze และสารผสมของทั้ง 2 สาร พบว่า ทั้งความสามารถทำความเย็น และอัตราส่วนของกำลังงานความเย็นที่ได้ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Coefficient of Performance: COP) ของสารเหล่านี้มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ HFC-134a โดยถ้ามีการดัดแปลงง่ายๆ เช่น ปริมาตรช่วงชักลูกสูบของคอมเพรสเซอร์ และขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ก็จะทำให้มีสมรรถนะที่ดีเท่าเดิม

**ระบบควบแน่น (Condensing unit)** ขนาดทำความเย็นของระบบควบแน่น โดยทั่วไปอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 กิโลวัตต์ จนถึง 20 กิโลวัตต์ ระบบประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และรีซีฟเวอร์ ส่วนใหญ่จะติดตั้งในร้านค้า ร้านสะดวกซื้อ ประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่มีการใช้ระบบควบแน่นเป็นจำนวนมาก ไม่เฉพาะในร้านค้าขนาดเล็ก แต่ยังใช้ในซูเปอร์มาร์เก็ตที่อาจใช้ระบบควบแน่นถึง 20 หน่วยในเวลาเดียวกัน

R-717 (Ammonia: NH<sub>3</sub>) ไม่เคยถูกนำมาใช้ในระบบควบแน่น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในด้านความปลอดภัยที่สูง

R-744 (Carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) ในระบบควบแน่น มีการใช้ในยุโรปเหนือ แต่ส่วนแบ่งการตลาดอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิอากาศสูงบ่อยๆ จำเป็นต้องออกแบบเป็นแบบ double-stage โดยแบบ Single-stage เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิอากาศหนาวเย็น ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสำหรับแบบ double-stage นั้นค่อนข้างสูง จึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญของระบบควบแน่นที่ใช้ R-744

ระบบควบแน่นแบบ Indirect หลายระบบที่ใช้ HC-290 (Propane) หรือ HC-1270 (Propene) มีการใช้ในยุโรป โดยทั่วไปมีการเติมสารทำความเย็นในปริมาณระหว่าง 1 - 20 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดี ถ้ามีการออกแบบอย่างดี ด้วยการมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขนาดขึ้น ค่าใช้จ่ายสำหรับระบบที่ใช้ไฮโดรคาร์บอน โดยทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น 5-15% เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ HFC และสำหรับระบบควบแน่นที่มีขนาดทำความเย็นต่ำกว่า จะใช้ระบบควบแน่นที่ใช้ไฮโดรคาร์บอนแบบ Direct

**ระบบรวมศูนย์ (Centralised system)** เหมาะสำหรับใช้ในซูเปอร์มาร์เก็ต จะติดตั้งคอมเพรสเซอร์ทั้งหมดไว้ในห้องเครื่องจักร มีให้เลือกใช้ทั้งระบบ Direct และ Indirect โดยระบบ Direct มีการใช้อย่างแพร่หลาย R-404A และ HCFC-22 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในระบบนี้

เทคนิคใหม่ๆ ที่มีการใช้งานในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ระบบ CO<sub>2</sub> cascade ได้ถูกนำมาใช้อย่างมากในยุโรป มีการติดตั้งในซูเปอร์มาร์เก็ตประมาณ 20,000 แห่งที่มีพื้นที่ขนาดตั้งแต่ 400 จนถึงพื้นที่มากกว่า 15,000 ตารางเมตร

ทางเลือกที่บริษัทขนาดใหญ่ในยุโรป นิยมใช้ระบบรวมศูนย์ที่ใช้ HFC-134a สำหรับการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิปานกลาง (-10 ถึง -15°C) และ cascade ด้วยระบบที่ใช้ R-744 แบบ Direct สำหรับการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิต่ำ (-35 ถึง -38°C) เพราะสามารถนำไปใช้ในทุกสภาพอากาศ

สำหรับสภาพอากาศที่หนาวเย็น CO<sub>2</sub> ถูกนำมาใช้ทั้ง 2 ระดับอุณหภูมิ และเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงกว่า 25 °C ระบบ CO<sub>2</sub> อุณหภูมิสูงจะทำงานที่ความดันสูง ประมาณ 9-10 เมกะปาสคาล ซึ่งประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับการทำงานปกติในโหมดทำความเย็นควบแน่น ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 10-15% ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าในที่อุณหภูมิสูงจึงเป็นอุปสรรค โดยสรุปแล้ว R-744 หรือ CO<sub>2</sub> จะเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับระบบรวมศูนย์ในเครื่องทำความเย็นเชิงพาณิชย์ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีระบบ cascade ด้วยสารทำความเย็นอื่นสำหรับที่ระดับอุณหภูมิต่ำ

### 3. ระบบทำความเย็นที่ใช้ในการขนส่ง (Transport Refrigeration)

ข้อกำหนดทางเทคนิคของระบบทำความเย็นที่ใช้ในการขนส่ง คือ เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ต้องทำงานในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และสภาพอากาศที่หลากหลาย เช่น ลมแรง แดดจัด ฝนตก ละอองน้ำทะเล เป็นต้น และความต้องการใช้งานในการเก็บสินค้าที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณการเติมสารทำความเย็น เริ่มตั้งแต่ น้อยกว่า 1 กิโลกรัม สำหรับรถขนส่งสินค้าแบบรถตู้ ถึง มากกว่าหลายกิโลกรัม สำหรับรถบรรทุก รถพ่วง และรถตู้คอนเทนเนอร์ห้องเย็น และจนถึง 3,000 กิโลกรัม สำหรับห้องเย็นในเรือประมงขนาดใหญ่

ในปี 2012 มีผู้ผลิตเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในการขนส่ง ได้เสนอแนวคิดในการใช้ R-744 ในหน่วยทำความเย็นสำหรับรถพ่วงหรือรถตู้ แม้ว่าจะมีข้อดีหลายประการ แต่ยังไม่สามารถพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากมีอุปสรรคที่สำคัญคือ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ลดลงภายใต้อุณหภูมิสูง ต้องการใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ความซับซ้อนของวงจร และราคาที่สูงขึ้น

การใช้ไฮโดรคาร์บอน (ส่วนใหญ่ใช้ HC-290) ในหน่วยทำความเย็นของรถบรรทุก ได้มีการทดลองใช้ในสหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย และเยอรมนี ถ้าไม่มีข้อเสียเรื่องการติดไฟได้ง่าย ก็จะเป็นทางเลือกที่ดี เพราะใช้พลังงานต่ำกว่าถึง 20% หรือมากกว่า เมื่อเร็ว ๆ นี้ บริษัทของเยอรมันได้พัฒนารถบรรทุกห้องเย็นที่ใช้ HC-1270 และอยู่ระหว่างการทดสอบใช้งานในภาคสนามสำหรับกลุ่มบริษัทซูเปอร์มาร์เก็ตในประเทศเยอรมนี มีการรายงานว่ารระบบนี้ดีกว่า R-404A และเทียบเคียงได้กับ R-410A สำหรับการทำความเย็นที่กว้างขึ้น, ผู้ผลิตและลูกค้าต้องปฏิบัติตามกฎหมาย กฎระเบียบ และมาตรฐานที่เฉพาะเจาะจงสำหรับสารไฮโดรคาร์บอนเพื่อความปลอดภัยในการใช้ขนส่งสินค้า

ผู้ผลิตของญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาระบบที่ใช้รถบรรทุกที่บรรจุสารละลายน้ำแข็ง สำหรับจัดส่งสินค้าแช่เย็นในเมืองขนาดใหญ่ที่มีข้อจำกัดเรื่องมลพิษทางอากาศ สารละลายน้ำแข็งจะผลิตในระบบทำความเย็นที่อยู่กับที่ และช่องพิเศษบนรถบรรทุกจะเติมสารละลายน้ำแข็งก่อนที่จะบรรจุอาหารแช่เย็น ซึ่งสามารถเก็บความเย็นได้ถึง 8 ถึง 10 ชั่วโมง

สำหรับเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ (Vessels) ส่วนใหญ่ถึง 80% ในปัจจุบันใช้ HCFC-22 ซึ่งจะถูกทดแทนด้วย R-417A หรือ R-422D สำหรับสารทดแทน HFC อื่น เช่น R-410A R-407C และ R-427A จะต้องมีการปรับปรุงดัดแปลงส่วนเรือท่องเที่ยวสมัยใหม่ ใช้ R-410A และ HFC-134a สำหรับเครื่องปรับอากาศ ใช้ R-404A สำหรับระบบทำความเย็น และใช้ HFC-23 สำหรับการแช่แข็ง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -60 °C หรือต่ำกว่า โดยส่วนใหญ่ใช้สำหรับแช่แข็งปลา

เรือประมงเดินสมุทรขนาดใหญ่ของยุโรป ใช้ระบบ R-717/R-744 cascade ซึ่งประสิทธิภาพพลังงานสูง โดยใช้พลังงานน้อยลงประมาณ 6%

#### 4. ระบบทำความเย็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (Large size (industrial) Refrigeration)

มากกว่า 90% ของระบบทำความเย็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้ R-717 (Ammonia: NH<sub>3</sub>) แต่ไม่นิยมใช้ R-717 ในระบบขนาดเล็กที่ใช้ HCFC และ HFC เพราะไม่มีคอมเพรสเซอร์ที่เหมาะสมใช้ได้ ด้วยความเป็นพิษของ R-717 จึงเป็นข้อกั่วงวลในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งสารทดแทนที่มีค่า GWP ต่ำ รวมถึง R-717 เพื่อทดแทนการใช้ HCFCs ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายอยู่แล้ว เช่นเดียวกับการใช้สารไฮโดรคาร์บอน และ R-744 (Carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) สำหรับการแช่แข็งอุณหภูมิต่ำ และการใช้งานพิเศษอื่น ๆ ที่อุณหภูมิต่ำมาก (ต่ำกว่า -60 ° C) และอาจจะใช้ HFCs แบบไม่อ้อมตัวเป็นสารทดแทนในอนาคต ถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น โดยคาดว่า HFCs แบบไม่อ้อมตัวจะสามารถนำมาใช้ในระบบที่ต้องเติมสารทำความเย็นในปริมาณที่มาก ๆ ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับระบบที่ใช้ไฮโดรคาร์บอน

R-744 (Carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) ถูกนำมาใช้โดยมีประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในระบบที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ระบบ R-717 cascade ร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่ง R-744 เป็นสารทำความเย็นสารเดียวที่เหมาะสมด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำมาก

#### 5. ฮีตปั๊มที่ใช้ทำน้ำร้อน (Water heating heat pumps)

สำหรับประเทศกำลังพัฒนายังมีการใช้ HCFC-22 อยู่ แต่ฮีตปั๊มที่ผลิตขายในปัจจุบันจะผลิตเพื่อใช้กับ R-410A HFC-134a R-407C HC-290 HC-600a R-717 และ R-744 โดยเครื่องทำความเย็นใหม่ๆ ส่วนใหญ่ใช้ R-410A ในการใช้สารทดแทนอื่นแทน HCFC-22 นั้นไม่มีอุปสรรคทางด้านเทคนิค แต่การเลือกใช้สารทดแทนสารใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความคุ้มค่า ผลกระทบทางเศรษฐกิจ ความปลอดภัยและความง่ายในการใช้งาน การทดแทนด้วย HFC-32 และ HFC ที่เป็นสารผสมที่มีค่า GWP ต่ำสารอื่นๆ เช่น R-444B กำลังพัฒนาให้เป็นเชิงพาณิชย์

ฮีตปั๊มที่ใช้ทำน้ำร้อนที่ใช้ R-744 ได้รับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์แล้ว และส่วนใหญ่ใช้ในประเทญี่ปุ่น ส่วน R-717 ยังได้ถูกนำมาใช้ในฮีตปั๊มแบบ reversible และ absorption แต่ในจำนวนที่ไม่มาก เนื่องจาก R-717 มีความเป็นพิษสูง จำเป็นต้องมีบุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมเฉพาะ มีข้อจำกัดในการนำมาใช้ และข้อกำหนดด้านความปลอดภัย ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้งานจริง

HFC-32 จะถูกนำมาใช้ผลิตภัณฑ์ฮีตปั๊มที่ใช้ทำน้ำร้อนขนาดใหญ่ ในเร็วๆ นี้

การพัฒนา HFC ที่เป็นสารผสมที่มีค่า GWP ต่ำ ให้เป็นเชิงพาณิชย์ได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแข่งขันด้านราคาของเครื่องทำความเย็น เมื่อเทียบกับการใช้สารทดแทนอื่นในเครื่องทำความเย็นที่ขนาดทำความเย็นและประสิทธิภาพทำความเย็นเดียวกัน