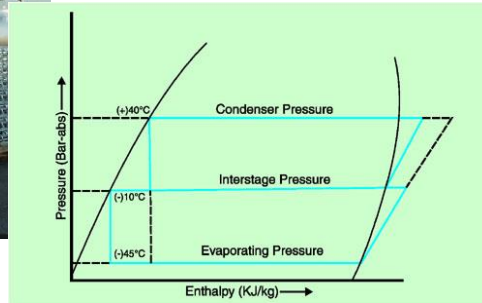




บทที่ 5 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)



ความสำคัญ

อาคารบางแห่งบางประเภทที่มีการใช้ระบบทำความเย็น เพื่อการแช่แข็งหรือลดอุณหภูมิสินค้า จำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมหาศาล หากสามารถควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้แล้ว การใช้พลังงานก็จะเป็นไปอย่างคุ้มค่า และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับสถานประกอบการลงได้เป็นอันมาก

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 5 ระบบทำความเย็น ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้น และทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. ทราบหลักการทำงาน และอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทำความเย็น
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบทำความเย็น
3. เข้าใจวิธีประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็น

5.1 บทนำ

การทำความเย็นเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศเพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก เช่น การแช่เย็นอาหารในตู้เย็น การแช่แข็งอาหารสดในตู้แช่แข็งหรือห้องเย็นในห้างสรรพสินค้า ไฮเปอร์มาร์เกต

ระบบทำความเย็นมีหลากหลายประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้เราจะเน้นที่การทำความเย็นโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

5.2 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

การทำความเย็นเป็นการดูดความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ เพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้ เรียกว่า เครื่องทำความเย็น (Refrigerator) กระบวนการทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นอาจจำแนกได้เป็น

ก) การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cooling)

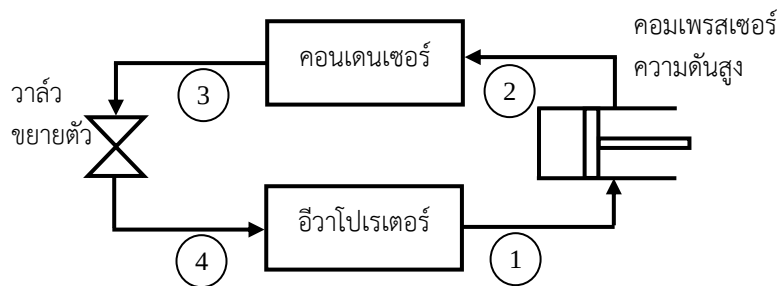
- แบบขั้นเดียว (Single stage)
- แบบหลายขั้น (Multi stage)

ข) การทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Cooling)

ในเครื่องทำความเย็นจะมีสารตัวกลางที่ทำหน้าที่ขนถ่ายความร้อน เรียกว่า สารทำความเย็น (Refrigerant) โดยมากเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะใช้แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟรอนเป็นสารทำความเย็น ส่วนในเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมจะใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นร่วมกับการใช้สารในกลุ่มน้ำเกลือ เช่น ลิเทียมโบรไมด์ เป็นสารดูดซึม (Absorbent)

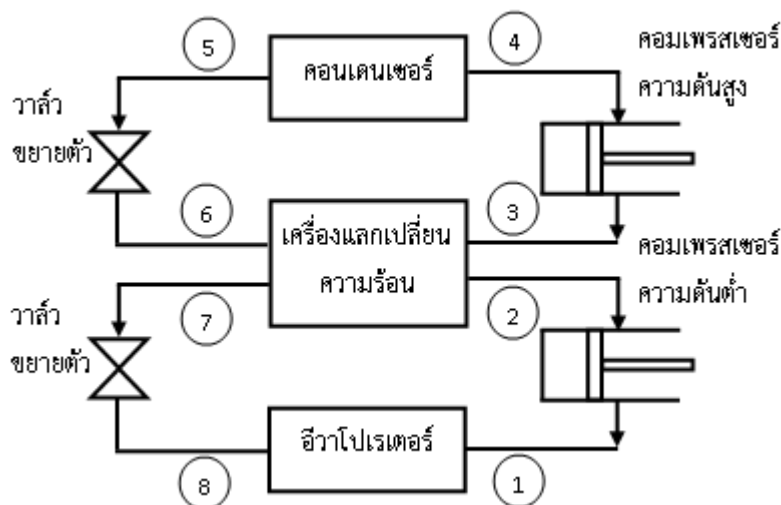
5.2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

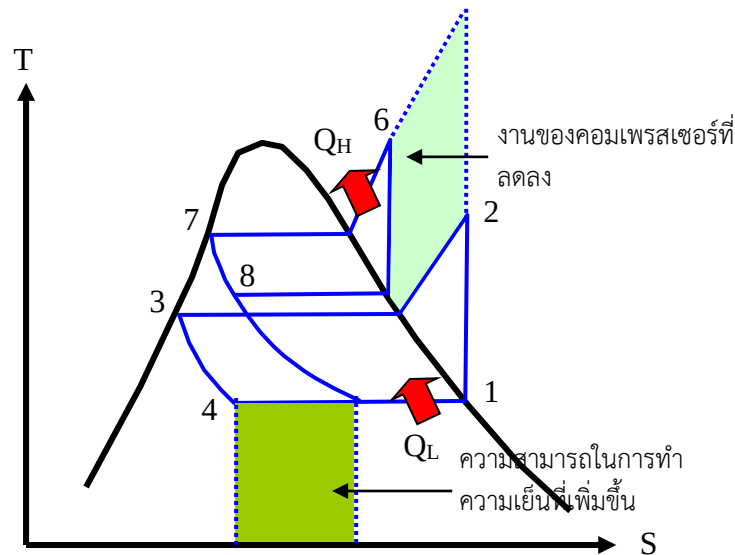
เช่นเดียวกับการปรับอากาศซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการสร้างสภาวะสบายให้กับผู้ใช้อาคาร การทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควรก็ใช้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว ดังรูป



รูปที่ 5-1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขั้นเดียว

ในบางกรณีของการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควร เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะมีกระบวนการที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น เป็นกระบวนการทำความเย็นแบบ 2 ขั้น หรือแบบหลายขั้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องควบแน่น และเครื่องระเหยมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวัฏจักรเดียวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติ ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง





รูปที่ 5-2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ 2 ชั้น

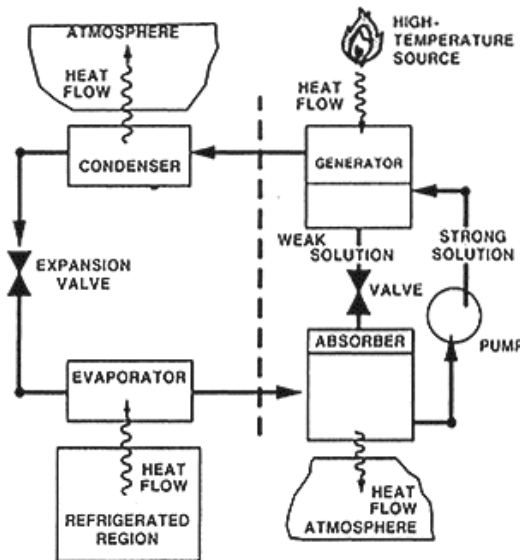
ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการทำความเย็นเป็นขั้น ๆ หรือการใช้วัฏจักรการทำความเย็นมากกว่า 2 วัฏจักรขึ้นไปในลักษณะที่เป็นอนุกรม วัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบหลั่น (Cascade refrigeration cycles) รูปที่ 5-2 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นประเภท 2 ชั้น โดยการเชื่อมต่อกันโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องระเหยในวัฏจักรส่วนบน และเป็นเครื่องควบแน่นในวัฏจักรส่วนล่าง

ระบบอาจใช้สารทำความเย็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้ เพราะไม่มีการผสมของสารทำความเย็นทั้งสองภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้น เราสามารถเลือกใช้สารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมได้ในแต่ละวัฏจักร จากภาพข้างต้น งานที่ต้องป้อนให้กับเครื่องอัดจะลดลง และปริมาณความร้อนที่ถูกดูดออกจะเพิ่มขึ้น

5.2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้มักจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นพลังงานคุณภาพต่ำ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะต่ำกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่หากพลังงานความร้อนที่ป้อนมาจากความร้อนเหลือทิ้ง (เช่น ไอเสีย) หรือมาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (เช่น แสงอาทิตย์ ชีวมวล) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) เครื่องควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condenser) อีวาโปเรเตอร์หรือคอยล์เย็น (Evaporator) เครื่องดูดซึม (Absorber) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ส่วนสารทำงานจะเป็นลักษณะของสารคู่ผสมระหว่างสารทำความเย็น (เช่น น้ำ) และสารดูดซึม (เช่น สารลิเทียมโบรไมด์, LiBr) ดังแสดงในรูปที่ 5-3



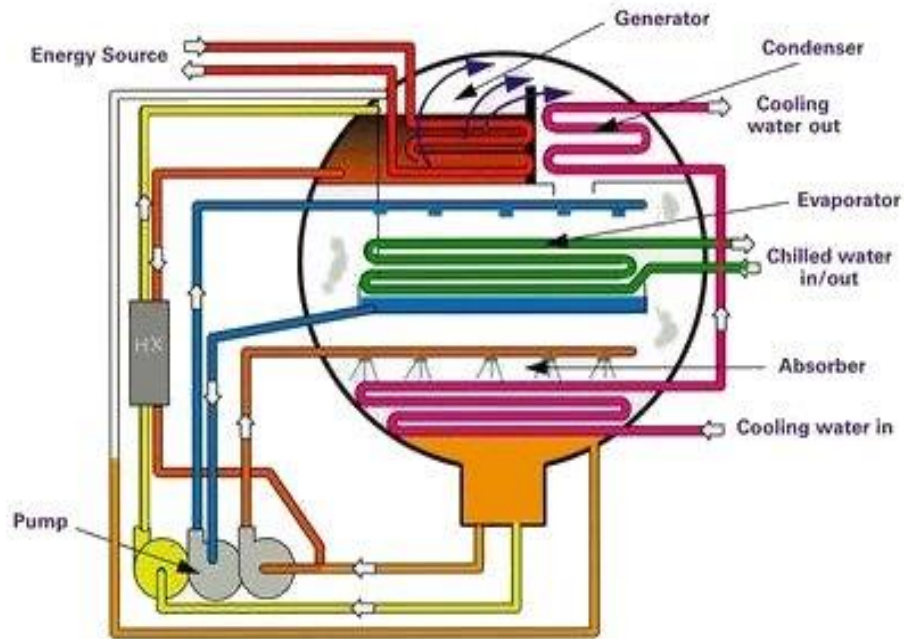
รูปที่ 5-3 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

หลักการทำงานเริ่มต้นจากเครื่องกำเนิดรับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอและแยกตัวจากสารดูดซึม ไอสารทำความเย็นจะถูกทำให้ควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (คอยล์ร้อน) ที่อุณหภูมิ $\sim 40-50^{\circ}\text{C}$ และเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้วไหลผ่านวาล์วลดความดันไปสู่คอยล์เย็น ที่คอยล์เย็น สารทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อระเหยกลายเป็นไอ (ที่อุณหภูมิ $\sim 5^{\circ}\text{C}$ ความดัน $\sim 6 \text{ mm.Hg}$) จากนั้นไอสารทำความเย็นจะถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึมที่ไหลผ่านวาล์วลดความดันอีกตัวหนึ่งที่ต่อมาจากเครื่องกำเนิด และกลายเป็นของเหลวในเครื่องดูดซึม ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จากนั้นของเหลวผสมจะถูกสูบโดยปั๊มให้มีความดันสูงขึ้นเป็น 75 mm.Hg และส่งไปยังเครื่องกำเนิดเพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นการทำงานครบรอบวัฏจักร

ความแตกต่างระหว่างระบบทำความเย็นแบบอัดไอและแบบดูดซึม คือ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นทำโดยใช้คอมเพรสเซอร์ซึ่งทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม การเพิ่มความดันให้กับสารทำงานทำโดยอาศัยเครื่องกำเนิด และเครื่องดูดซึมร่วมกัน โดยใช้ความร้อนป้อนเข้าที่เครื่องกำเนิดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อผลิตไอที่มีสมบัติเช่นเดียวกับไอที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ในระบบแบบอัดไอ

ก) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขั้นเดียว (Single Effect Absorption Cooling)

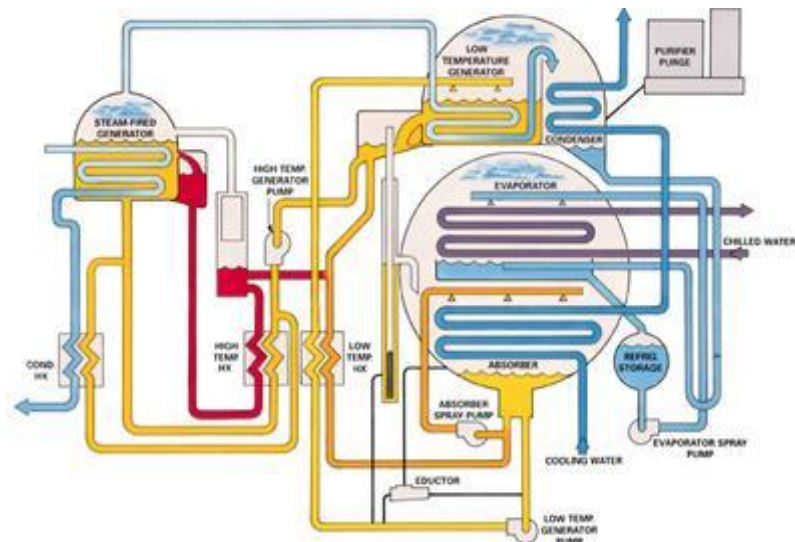
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำที่ความดันระหว่าง $0.8-1.5 \text{ kg/cm}^2$ หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง $130-150^{\circ}\text{C}$ รูปที่ 5-4 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขั้นเดียว



รูปที่ 5-4 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว

ข) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น (Double Effect Absorption Cooling)

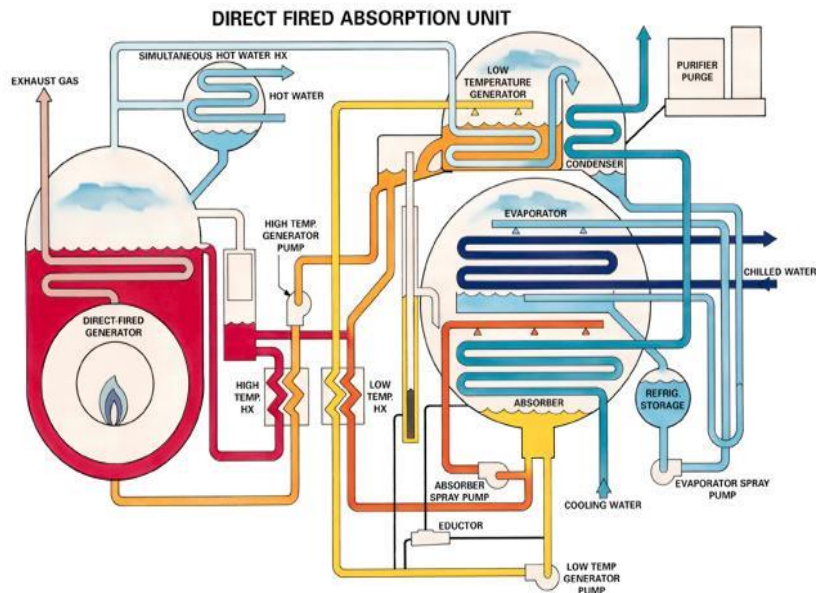
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำที่ความดันประมาณ 8 kg/cm^2 หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง $180\text{-}200^\circ\text{C}$ โดยระบบนี้จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าระบบแรกประมาณ 65% รูปที่ 5-5 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น



รูปที่ 5-5 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น

ค) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired Absorption Cooling)

ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเครื่องกำเนิด หรือความร้อนในรูปของก๊าซร้อน โดยอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องกำเนิดจะมีอุณหภูมิประมาณ $190-204^{\circ}\text{C}$ โดยระบบนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะอยู่ในช่วง 0.85-1.14 รูปที่ 5-6 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง



รูปที่ 5-6 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง

5.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็นที่ใช้กันทั่วไปในระบบทำความเย็น ได้แก่ แอมโมเนีย และสารในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน ในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่ได้รับความนิยมใช้กัน

แอมโมเนียเป็นสารความเย็นชนิดเดียวที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน แต่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แม้ว่าแอมโมเนียจะเป็นสารพิษและสามารถจุดระเบิดได้ในบางสภาวะก็ตาม แต่คุณสมบัติทางด้านความร้อนที่ดีเยี่ยมของแอมโมเนีย ทำให้แอมโมเนียเหมาะที่จะนำไปใช้กับโรงงานลานสเก็ต และห้องหรืออุปกรณ์ทำความเย็นขนาดใหญ่ และถ้าประกอบกับความรู้ความชำนาญในการควบคุมระบบ จะทำให้ปัญหาความเป็นพิษของแอมโมเนียกลายเป็นเพียงปัญหาเล็ก ๆ เท่านั้น

แอมโมเนียมีความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด เมื่อเทียบกับสารความเย็นชนิดอื่น แอมโมเนียมีจุดเดือดต่ำประมาณ -2.2°C ที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้น อีวาโปเรเตอร์และเครื่องควบแน่นในระบบจึงมีอุณหภูมิ และความดันอยู่ในช่วงปานกลางคือ -15°C และ 30°C ที่ความดัน 2.37 bar และ 11.67 bar

โดยปกติแอมโมเนียแห้งจะไม่กัดกร่อนโลหะ แต่เมื่อถูกความชื้นแอมโมเนียจะกัดโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น ทองแดง ทองเหลือง เป็นต้น ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าจะไม่มีการใช้โลหะเหล่านี้ในระบบที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น

แอมโมเนียมีคุณสมบัติไม่ผสมกับน้ำมัน จึงไม่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดเหวี่ยง สำหรับการรั่วไหลของแอมโมเนีย เราสามารถทดสอบได้โดยเผาเทียนที่ทำด้วยกัมมะถันในจุดที่จะทดสอบ ถ้าหากมีแอมโมเนียรั่วออกมาจะเกิดควันสีขาวขึ้น หรืออาจหาบริเวณรอยต่อของท่อด้วยสารละลายสบู่เข้มข้น ถ้ามีการรั่วไหลจะมีฟองเกิดขึ้น

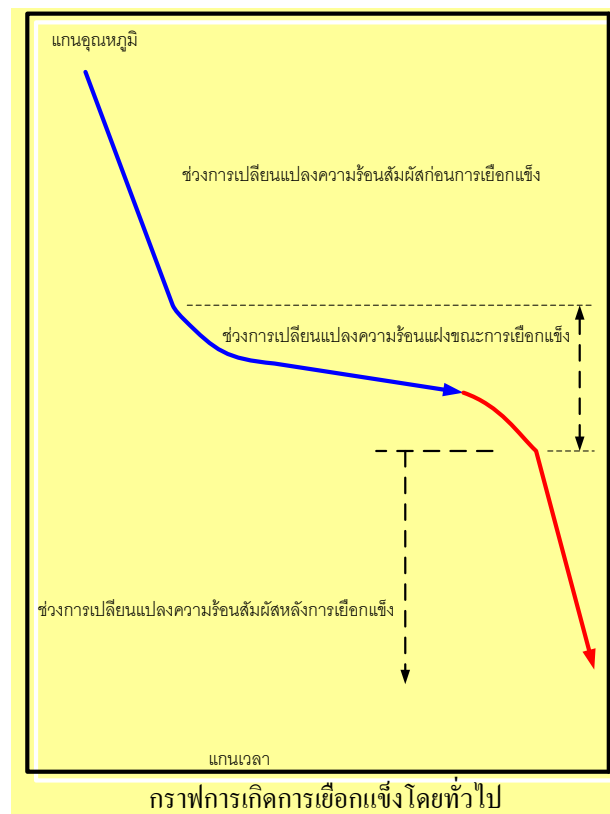
แอมโมเนียเป็นสารความเย็นที่มีราคาถูก และใช้งานได้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางเคมีหลายอย่างที่เหมาะจะใช้กับระบบทำความเย็นใหญ่ ๆ ซึ่งความเป็นพิษไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ เช่น มีระบบควบคุมดีหรือตั้งอยู่ห่างจากชุมชน และแอมโมเนียยังมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงอีกด้วย แอมโมเนียสามารถใช้กับเครื่องอัดทั้งแบบลูกสูบชัก แบบโรตารีและแบบใช้แรงเหวี่ยง

5.4 การแช่เยือกแข็งอาหารและห้องเย็น

การแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ และเคมี รวมถึงปฏิกิริยาการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย โดยทั่วไปอาหารจะถูกแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จากรูปที่ 5.7 ขบวนการแช่เยือกแข็งจะเริ่มตั้งแต่การนำอาหารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งมาลดอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิของอาหารจะลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัส จากนั้น อาหารจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่จุดเยือกแข็ง ซึ่งจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร ขบวนการที่อาหารเข้าสู่จุดเยือกแข็งนี้ อาหารจะเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของแข็งตามขบวนการความร้อนแฝง ซึ่งอุณหภูมิของอาหารจะเกือบคงที่ และหากลดอุณหภูมิของอาหารต่อไป อาหารจะมีอุณหภูมิลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัสอีกครั้งหนึ่ง

5.4.1 การแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Blast Freezing)

การแช่แข็งอาหารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการพาความร้อน (Convection) โดยลมที่มีอุณหภูมิต่ำจะหมุนเวียนภายในห้องเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้อง (รูปที่ 5.8) ลมที่มีอุณหภูมิต่ำนี้จะถูกลดอุณหภูมิลงตามวัฏจักรการทำความเย็นที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยห้องเย็นที่หุ้มฉนวนมิดชิดด้วยโฟมที่มีขนาดความหนาเพื่อป้องกันการเกิดหยดน้ำที่ผนังภายนอก โดยความหนาของฉนวนขึ้นอยู่กัอุณหภูมิของห้องเย็น และประเภทของฉนวน ส่วนอุปกรณ์ทำความเย็นนิยมใช้เป็นวัฏจักรการทำความเย็นแบบกดดันไอที่ใช้แอมโมเนียหรือสารประกอบกลุ่ม CFC การกระจายลมเย็นภายในห้องเย็นนิยมใช้เครื่องกระจายลมเย็น ลักษณะเหมือนเครื่องเป่าลมเย็น แต่จะมีจำนวนครีบลายเทความร้อนเพียง 4-6 ครีบนั่นเอง ขณะที่เครื่องเป่าลมเย็นของระบบปรับอากาศ จะมีครีบลาย 10-12 พินนั่นเอง เหตุที่ต้องให้ครีบลายจำนวนน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งที่ครีบลายเนื่องจากอากาศที่ไหลเข้าทางประตูขณะเปิดประตู



รูปที่ 5-7 การเกิดการเยือกแข็งของอาหาร

ห้องเย็น (Cold Storage Room)

ห้องเย็นทั่วไปที่ใช้แช่อาหารมีอุณหภูมิภายในห้องเย็นคงที่เพื่อให้เหมาะสมกับอาหารที่เก็บภายในห้อง ซึ่งอาจจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่ผัก และผลไม้ และต่ำกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่เนื้อ และ ไอศกรีม โดยถนอมอาหาร และบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องเย็นให้เหมาะสมกับระยะเวลาการบริโภค โดยทั่วไป ห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องมากกว่า 0°C มักนิยมใช้สารประกอบ CFC เป็นสารทำความเย็น ส่วนห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า -10°C นิยมใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น ห้องเย็นประเภทนี้ เช่น ห้องแช่เนื้อ ห้องแช่ผัก ห้องแช่นม และไข่ ห้องแช่ปลา รวมไปถึงห้องแช่น้ำแข็งที่ผลิตแล้ว เป็นต้น ศูนย์การค้า และซูเปอร์มาร์เก็ตส่วนใหญ่จะมีห้องเย็นลักษณะนี้



รูปที่ 5-8 ห้องแช่แข็งแบบการพาความร้อน (ห้องเย็นในห้างสรรพสินค้า)

ตารางที่ 5-1 การแช่แข็งอาหารประเภทต่าง ๆ

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาดำเนินการ (สัปดาห์)
ผัก	หน่อไม้ฝรั่ง	0-2	95-100	2-3
	ถั่ว	5-7	95	1
	ข้าวโพด	0-2	95-100	1
	แครอท	0-2	95-100	4-6
	บร็อคโคลี่	0-2	95-100	2
	พริก	0-10	60-70	2-3
	มะเขือเทศ	2-4	90-95	1
	กะหล่ำปลี	0-2	95-100	35
	ฟักทอง	10-12	50-55	21
	ผักกาดหอม	0-2	95-100	2-3
	หัวหอม	0-2	95-100	3-4
	แตงกวา	5-7	95-100	2
ผลไม้	แอปเปิ้ล	2-4	90-95	21
	กล้วย	10-12	85-95	1-3
	องุ่น	10-12	90-95	2-8
	มะนาว	10-12	90-95	4-6
	ลิ้นจี่	0-2	90-95	3-5
	มะม่วง	10-12	90-95	2-3
	สตอเบอรี่	0-2	90-95	1
	ฝรั่ง	5-7	90-95	2-3
	ลำไย	0-2	90-95	0.5
	ส้ม	2-4	85-90	3-6
	มะละกอ	2-4	85-90	1-3
เนื้อสัตว์	ปลาทู	0-2	95-100	2.5
	ปลาทูน่า	0-2	95-100	2
	ปลาแซลมอน	0-2	95-100	2
	กุ้ง	0-2	95-100	2
	ปลาหมึก	0-2	95-100	1.5
	หอย	0-2	100	1
	เนื้อ	0-2	85	1-3
	ตับ	0	90	0.75
	หมู	0-2	85-90	1
	เบคอน	0-2	80-85	2-3
	ไส้กรอก	0-2	85	1
	แฮม	0-2	80-85	0.75
	ไก่	-1 ถึง 0	90-95	1-3
นมและไข่	เนย	0	75-85	2-4

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนเน่าเสีย (สัปดาห์)
	ชีส	0	65	52
	ไอศกรีม	-15 ถึง -20	90-95	52-100
	นม	2-4	90-95	1
	ไข่	0-2	80-90	35
	ชีสโกแลต	-15 ถึง 0	40	42
	ขนมปัง	0	90-95	3-13
	กาแฟ	2-4	80-85	28
	เปียร์	2-4	80-85	3-8
	น้ำผึ้ง	10	80-85	มากกว่า 52
	น้ำมันพืช	20	65-70	มากกว่า 52
	น้ำส้ม	2-4	90-95	3-6
	ข้าวโพดยังไม่คั่ว	2-4	85	4-6
	บุหรี	2-4	50-55	42

5.5 การทำความเย็น

การทำความเย็นของระบบทำความเย็นเป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากแหล่งต่างๆ ประกอบด้วย

ภาระจากความร้อนผ่านผนัง (Wall Heat Gain Load)	ภาระส่วนนี้ ได้แก่ ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังจากภายนอกเข้ามาภายในบริเวณทำความเย็นหรือห้องเย็น ถึงแม้ว่าจะมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ก็ตาม สิ่งที่ต้องระวังประการหนึ่งคือความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านช่องเปิดต่างๆ เข้ามาภายในห้องโดยตรง
ภาระจากอากาศอุ่นภายนอก (Air Change Load)	ในขณะที่เปิดประตูห้องเย็นหรือบริเวณทำความเย็นอากาศอุ่นจากภายนอกจะเข้าไปแทนที่อากาศเย็น เราจำเป็นต้องขจัดความร้อนออกจากอากาศอุ่นนี้เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในการออกแบบ ภาระความร้อนส่วนนี้จะต้องถูกรวมเข้าใน การทำความเย็น
ภาระจากตัวสินค้า (Product Load)	ความร้อนที่ต้องดึงออกจากตัวสินค้า เพื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงระดับที่ต้องการ ในบางกรณีผลิตภัณฑ์อาจถูกแช่แข็งซึ่งจะต้องรวมความร้อนแฝงเข้าไปด้วย ภาระจากตัวสินค้านี้มีผลต่อการทำความเย็นโดยรวมซึ่งก็ขึ้นกับลักษณะงาน ภาระจากตัวสินค้าอาจเป็นทั้งในลักษณะชั่วคราวและในลักษณะต่อเนื่องขึ้นอยู่กับลักษณะงานเช่นกัน ภาระจากตัวสินค้าจะเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นเฉพาะช่วงที่กำลังลดอุณหภูมิลงเพื่อให้เท่าอุณหภูมิห้องเก็บ เมื่ออุณหภูมิเท่าห้องเก็บ ก็จะไม่มีความร้อนที่ต้องขจัดทิ้งอีกต่อไป
ภาระอื่น ๆ (Miscellaneous Load)	ความร้อนจากคนที่กำลังทำงานภายในบริเวณทำความเย็น และความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวเกิดความร้อนที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ดวงไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ภาระความร้อนต่าง ๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากการทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

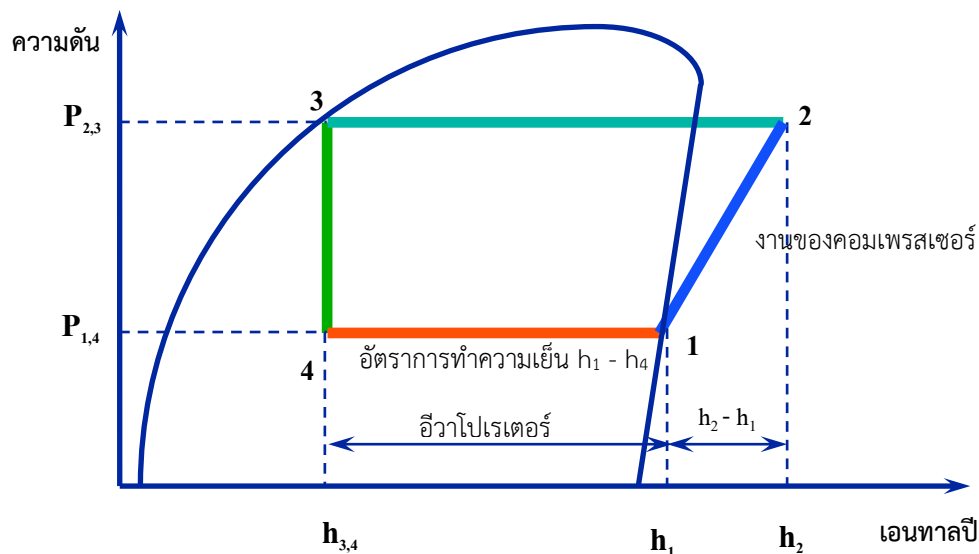
5.6 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ค่า COP หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานที่ระบบใช้

การวิเคราะห์ค่า COP ของระบบทำความเย็นทำโดยใช้แผนภาพความดัน-เอนทาลปีดังแสดงในรูปที่ 5-9 จากแผนภาพด้านบน ค่า COP ของระบบทำความเย็นจะคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5.1)$$

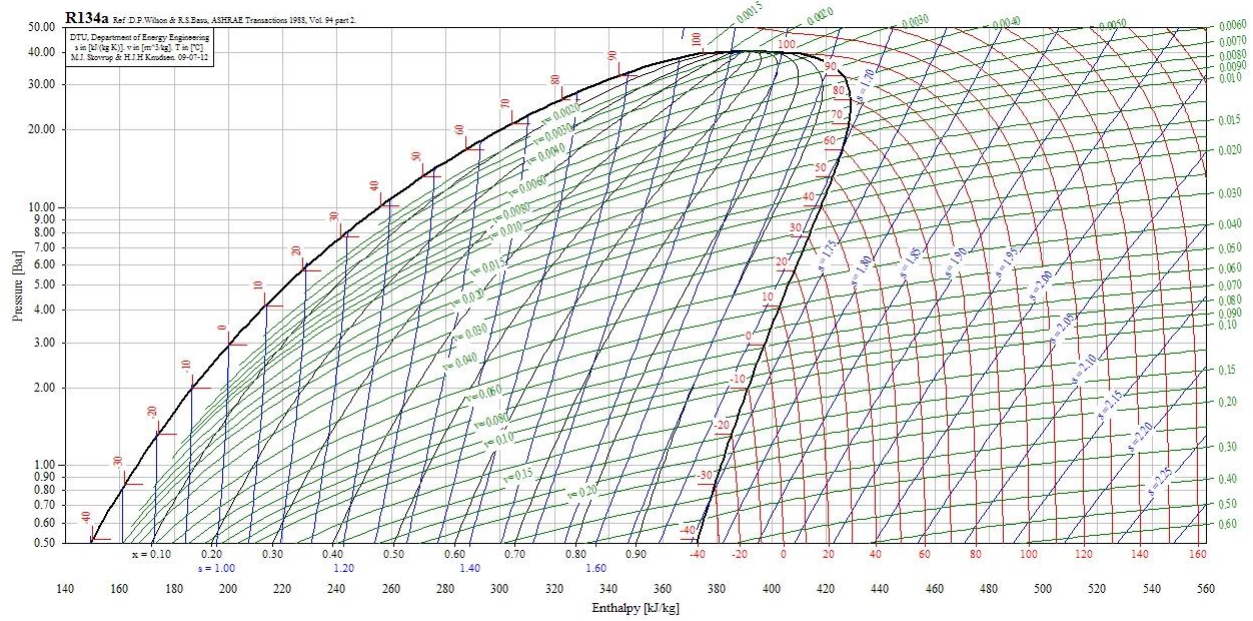
โดย h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 h_4 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอยล์เย็น (เท่ากับเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อน), kJ/kg



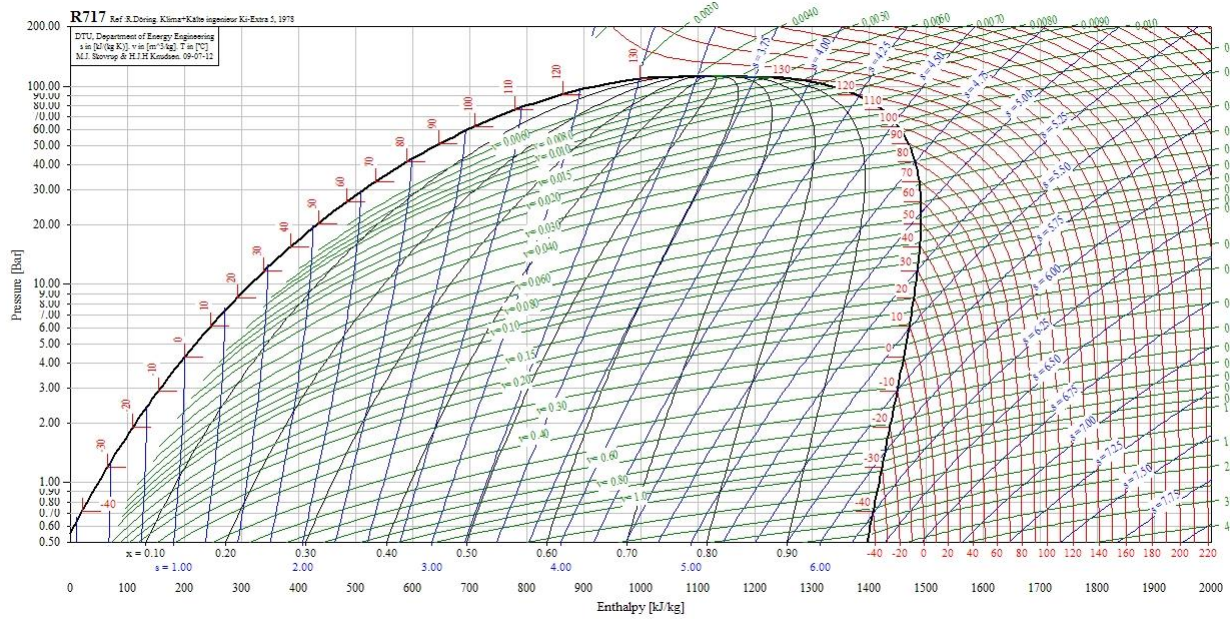
รูปที่ 5-9 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ดังนั้น สิ่งที่จะต้องทราบ ได้แก่ สภาวะ (ความดันและอุณหภูมิ) ของสารทำความเย็นที่แต่ละจุดของระบบ เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีจากตารางคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ หรือจากแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นชนิดที่ใช้ในระบบ ตัวอย่างแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น R-134a แอมโมเนีย และ R-22 ในหน่วย SI และ IP แสดงอยู่ในรูปที่ 5-10 ,5-11, 5-12 และ 5-13 ตามลำดับ

ตอนที่ 3 บทที่ 5 ระบบทำความเย็น



รูปที่ 5-10 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น R-134a



รูปที่ 5-11 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของแอมโมเนีย

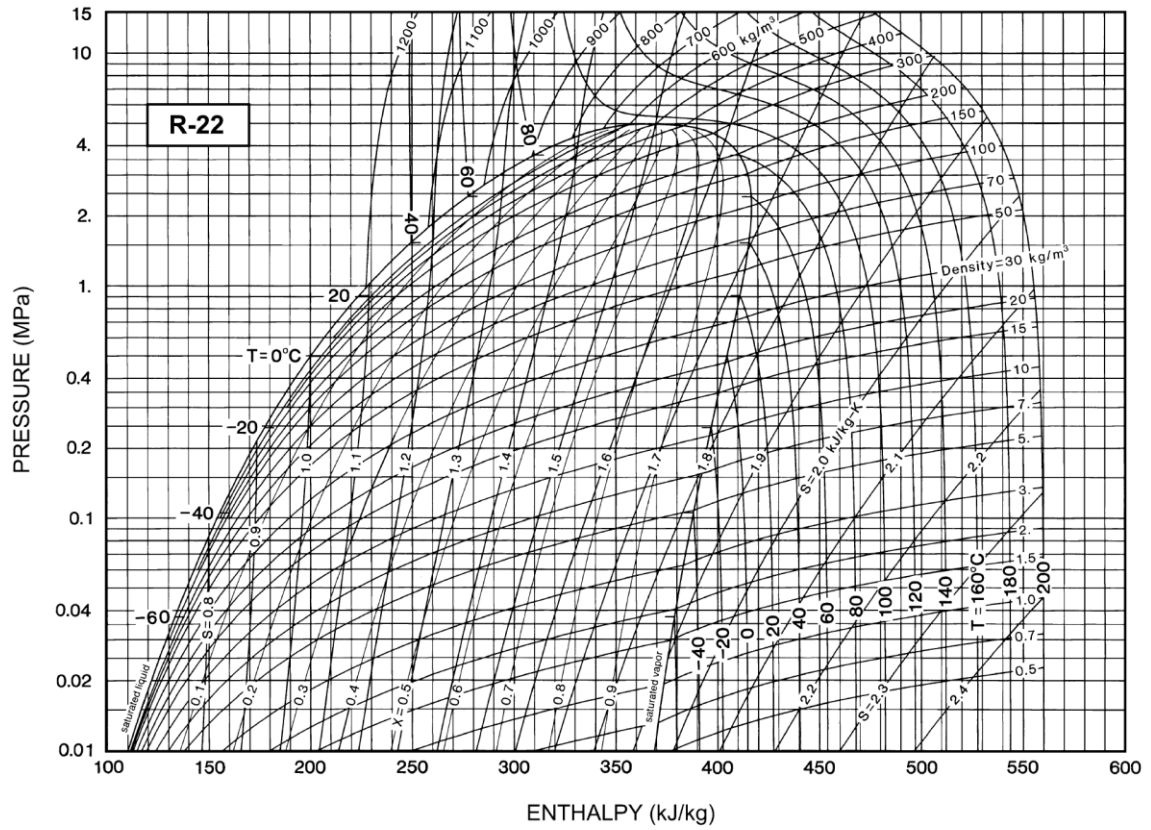


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 5-12 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (SI)

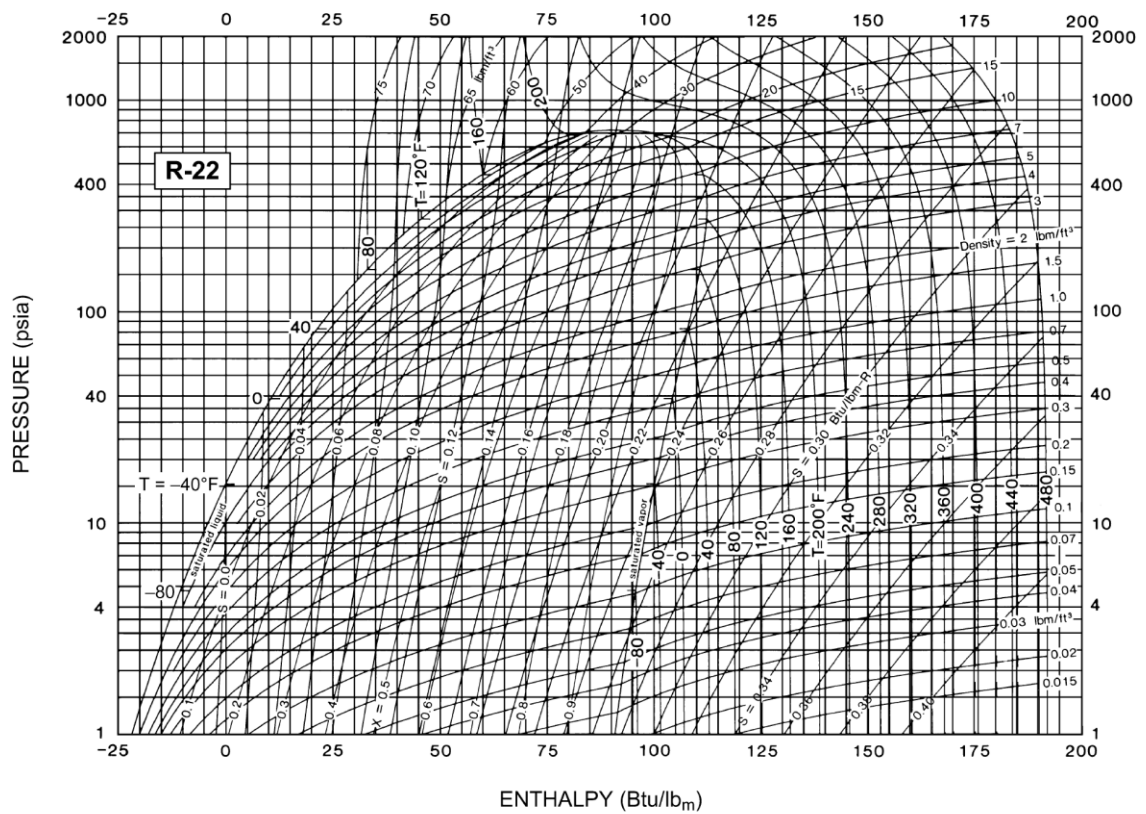


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 5-13 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (IP)

5.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ อุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และของอีวาโปเรเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็น หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ได้ สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น

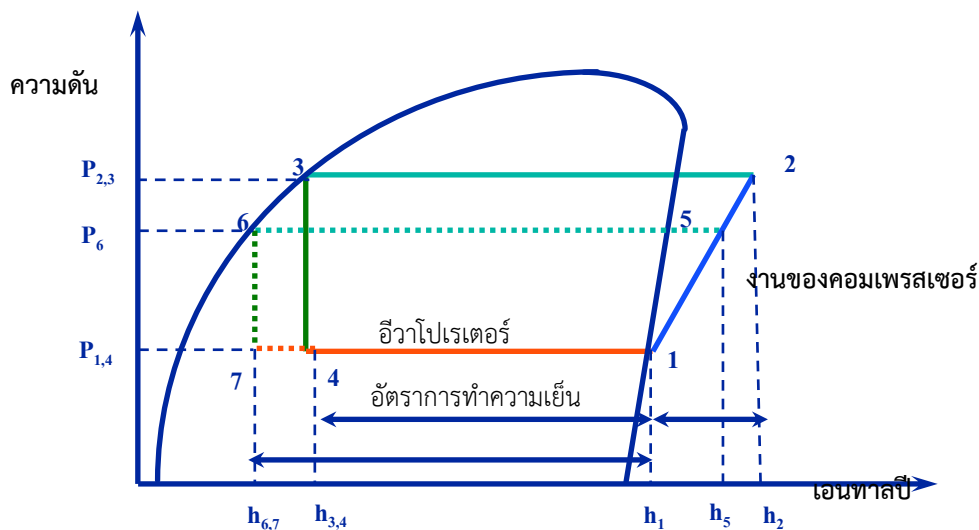
ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ระบบทำความเย็นมีสมรรถนะสูงขึ้น ระบบมีการใช้พลังงานลดลง ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ การลดภาระการทำงานของระบบให้ต่ำลง

5.8 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น

แนวคิดหลักในการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น คือ การปรับปรุงสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสม การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ นอกจากนี้ มาตรการเสริมอย่างการบำรุงรักษาที่เหมาะสมก็สามารถช่วยอนุรักษ์พลังงานได้โดยไม่จำเป็นต้องลงทุนมาก

5.8.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

พิจารณารูปที่ 5-14 การควบแน่นของสารทำงานในระบบทำความเย็นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 2-3 ถ้าสามารถลดอุณหภูมิ และความดันที่คอนเดนเซอร์ลงได้ การควบแน่นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 5-6 แทน และการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 มาเป็น 1-5 ส่วนอัตราการทำงานทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-1 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จะสามารถลดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ลง และเพิ่มอัตราการทำงานทำความเย็นขึ้นได้ ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น



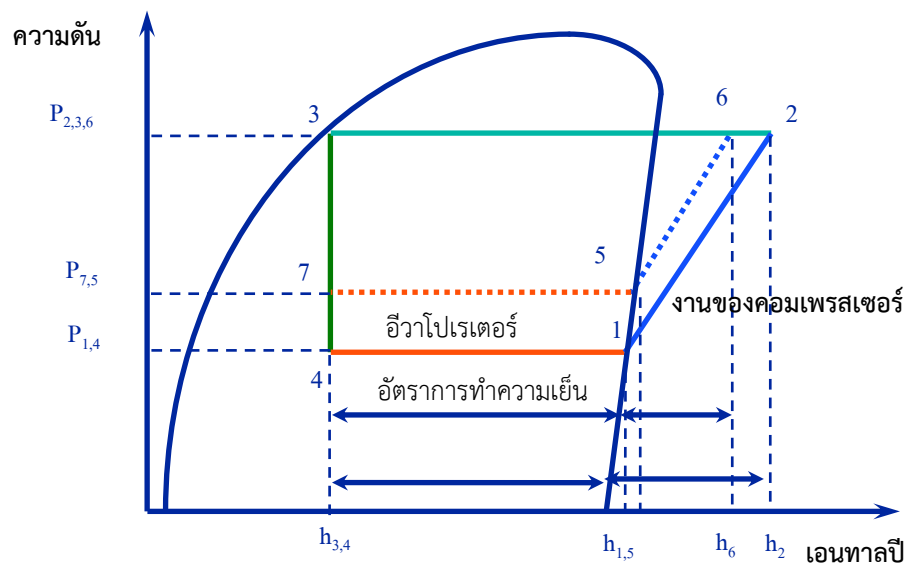
รูปที่ 5-14 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

ข้อเสนอแนะในการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำการเดินพัดลมคอนเดนเซอร์ และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นให้มากที่สุด เพื่อให้ อุณหภูมิควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับระบบที่มีคอมเพรสเซอร์ และ คอนเดนเซอร์หลายชุดนั้น ควรจะมีการตรวจตราการใช้พลังงานของเครื่องจักรทั้งสอง อย่างสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการใช้งานให้เหมาะสม โดยปกติ คอนเดนเซอร์ควรจะใช้ พลังงานน้อยกว่า 15 % ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้
- หัวฉีด (Spray Nozzle) ของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด
- ลดปริมาณลมเลี้ยง (Bypass) ที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด
- รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาด และตรวจสอบให้แน่ใจว่า น้ำหล่อเย็นที่ใช้ผ่าน การปรับสภาพ (Treatment) มาอย่างดีแล้ว
- ไล่อากาศ และก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมด โดยหมั่นตรวจสอบอย่าง สม่ำเสมอ

5.8.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์

พิจารณารูปที่ 5-15 กระบวนการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นภายในอีวาโปเรเตอร์ตาม เส้นทาง 4-1 เมื่อความร้อนถูกดูดจากผลิตภัณฑ์ สารทำความเย็นจะมีค่าเอนทัลปีสูงขึ้น โดยที่ความดันยังคง คงที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิ และความดันในอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-5 งานของคอมเพรสเซอร์ ที่ทำจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 เป็น 5-6 ผลที่ได้คือ งานที่จะต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลง และอัตรา การทำความเย็นจะสูงขึ้นเล็กน้อย มีผลทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นสูงขึ้น



รูปที่ 5-15 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์

ข้อแนะนำในการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่เทอร์โมสแตทภายในพื้นที่ทำความเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้จะต้องไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
- ควบคุมความร้อนภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องเย็นมากเกินไป
- ระวังไม่ให้เกิดสภาพความเป็นไอร้อนยิ่งยวดของสารทำความเย็นที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ (ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์) มากเกินไป
- พื้นที่ผิวของอีวาโปเรเตอร์ต้องมีมากเพียงพอเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนทำได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์สูงขึ้น และช่วยลดการสูญเสียความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย
- ละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นเป็นระยะ เพราะน้ำแข็งที่เกาะที่คอยล์จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลง ซึ่งจะสังเกตได้จากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว
- ใช้พัดลมและมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในห้องเย็น และห้องแช่แข็ง
- สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องถูกต้องเหมาะสม ทั้งชนิด คุณภาพ และปริมาณ
- ป้องกันการที่น้ำมันหล่อลื่นจะถูกพาไปตกค้างในอีวาโปเรเตอร์ได้ด้วยการบันทึกปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออก และใส่เข้าไปแทนที่ในระบบ

บทสรุป

การแช่เยือกแข็งเป็นการใช้งานระบบทำความเย็นอีกลักษณะหนึ่ง นอกจากการใช้เพื่อการปรับอากาศและสร้างความรู้สึกสบายให้กับพนักงานในโรงงาน และอาคาร การแช่เยือกแข็งปกติเป็นการทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (0°C หรือต่ำกว่า)

ในบางกรณีของการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควร เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะมีกระบวนการที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น เป็นกระบวนการทำความเย็นแบบ 2 ขั้น หรือแบบหลายขั้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องควบแน่น และเครื่องระเหยมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวัฏจักรเดียวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติ ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการทำความเย็นเป็นขั้นๆ หรือการใช้วัฏจักรการทำความเย็นมากกว่า 2 วัฏจักรขึ้นไปในลักษณะที่เป็นอนุกรม วัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบหลั่น (Cascade refrigeration cycles) ดังแสดงในรูปที่ 5-2

สิ่งที่ควรคำนึงในระบบทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ คือ การประเมินภาระทำความเย็น ซึ่งแหล่งความร้อนประกอบด้วย

- ภาระจากความร้อนผ่านผนัง (Wall Heat Gain Load)
- ภาระจากอากาศอุ่นภายนอก (Air Change Load)
- ภาระจากตัวสินค้า (Product Load)
- ภาระอื่น ๆ (Miscellaneous Load)

ภาระความร้อนต่าง ๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณี

ของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

มาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่

- การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์
- การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์
- การทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
- การลดภาระทำความเย็นของระบบทำความเย็น

ในบทนี้ยังให้ข้อมูลอย่างย่อๆ เกี่ยวกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม ซึ่งใช้ความร้อนเป็นแหล่งพลังงาน ถึงแม้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอแต่ในกรณีที่โรงงานมีความร้อนซึ่งเหลือทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนทิ้งเหล่านั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทำความเย็นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2549), คู่มือประกอบการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (อุตสาหกรรมโรงงานน้ำแข็ง) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง
- [4] http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/caution.htm บทเรียนจำลองสถานการณ์ออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต วิชา การทำความเย็น ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2552)