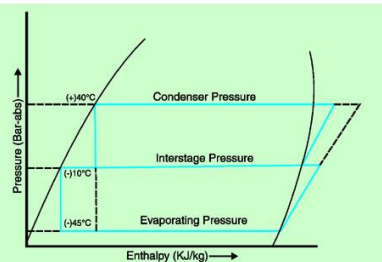


บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานสำหรับ ระบบทำความเย็น (Energy Conservation for Refrigeration System)



ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

โรงงานที่มีการใช้ระบบทำความเย็น ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการแช่แข็งหรือลดอุณหภูมิสินค้า จำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมหาศาล แต่หากโรงงานสามารถควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้แล้ว การใช้พลังงานก็จะเป็นไปอย่างคุ้มค่าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับสถานประกอบการลงได้เป็นอันมาก

วัตถุประสงค์

1. ทราบหลักการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทำความเย็น
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบทำความเย็น
3. เข้าใจวิธีประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็น

6.1 บทนำ

การทำความเย็นเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศเพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก เช่น การแช่เย็นอาหารในตู้เย็น การแช่แข็งอาหารสดในตู้แช่แข็งหรือห้องเย็นในโรงงานแปรรูปอาหารหรือห้างสรรพสินค้า หรือการผลิตน้ำแข็งในโรงงานน้ำแข็ง

ระบบทำความเย็นมีหลากหลายประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้เราจะเน้นที่การทำความเย็นโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ เนื่องจากการใช้งานอย่างแพร่หลาย

6.2 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

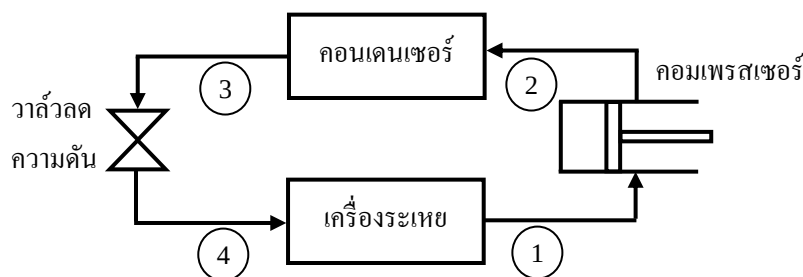
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ เพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก เรียกว่า เครื่องทำความเย็น (Refrigerator) กระบวนการทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นอาจจำแนกได้เป็น

- 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)

6.2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

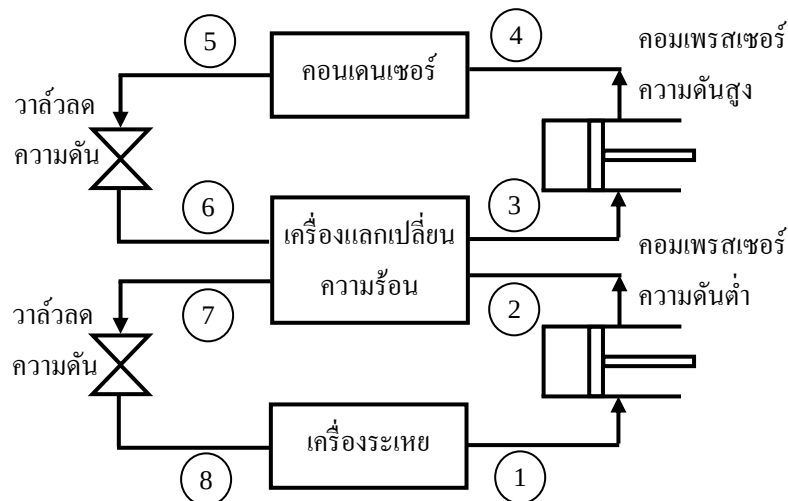
ระบบทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว ได้แก่ เครื่องระเหย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และวาล์วลดความดัน เช่นเดียวกับระบบปรับอากาศ ดังแสดงในรูป



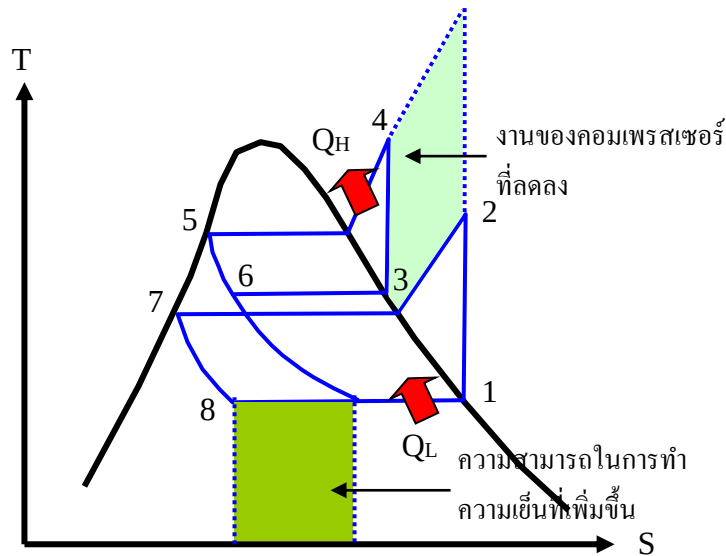
รูปที่ 6.2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขั้นเดียว

ในกรณีของการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างคอนเดนเซอร์และเครื่องระเหยจะมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอขั้นเดียวไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีนี้ เนื่องจากอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์จะมีค่าสูงเกินไป ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์จะแปรผกผันกับค่าอัตราส่วนความดัน

ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยวัฏจักรทำความเย็นแบบหลายชั้น (Cascade vapour compression refrigeration cycle) ดังแสดงในรูปที่ 6.2-2 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอที่ทำงานที่อุณหภูมิแตกต่างกันตั้งแต่ 2 วัฏจักรขึ้นไปเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (cascade heat exchanger) ซึ่งทำหน้าที่เป็นคอนเดนเซอร์ของวัฏจักรที่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ และเป็นเครื่องระเหยของวัฏจักรที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยที่สารทำความเย็นของวัฏจักรทั้งสองจะแยกออกจากกัน ระบบนี้มีข้อได้เปรียบคือ วัฏจักรที่นำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันสามารถใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกันได้ สารทำความเย็นบางชนิดเหมาะกับการใช้งานที่มีอุณหภูมิต่ำ บางชนิดก็เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เราจึงสามารถเลือกใช้สารทำความเย็นชนิดต่างๆ เพื่อที่จะให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็นที่ดีที่สุด แต่ข้อเสียของวัฏจักรนี้ก็คือ อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ของวัฏจักรที่มีอุณหภูมิต่ำจะต้องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของเครื่องระเหยของวัฏจักรอุณหภูมิสูง เพื่อที่จะให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัฏจักรทั้งสองเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ค่าอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ในวัฏจักรทั้งสองมีค่าสูงขึ้น การที่จะลดอุณหภูมิแตกต่างในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำเป็นต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย



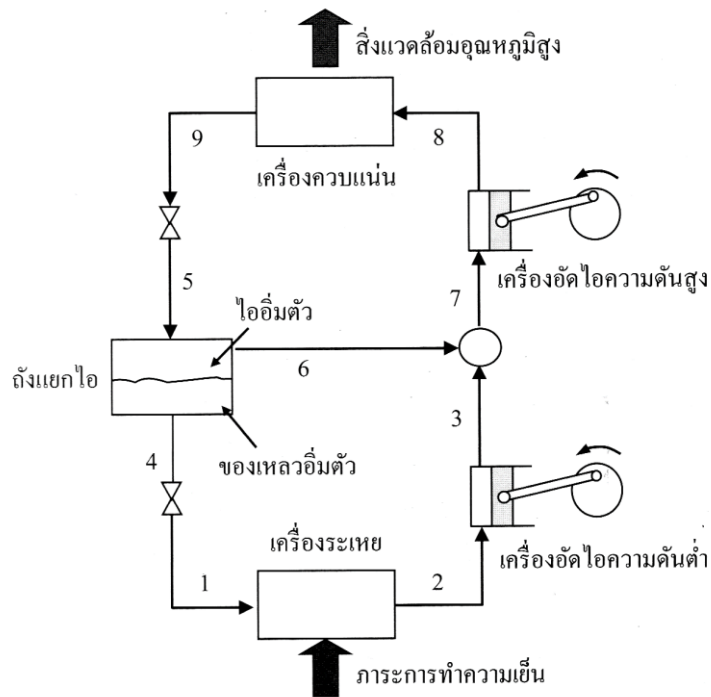
รูปที่ 6.2-2 (ก) ระบบทำความเย็นแบบหลายชั้น (Cascade vapour compression refrigeration system)



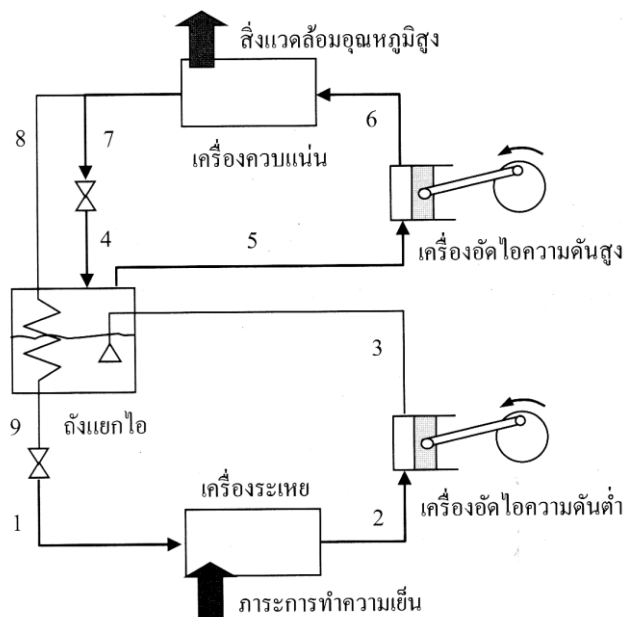
รูปที่ 6.2-2 (ข) แผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปีสำหรับวัฏจักรในรูปที่ 6.2-2 (ก)

ถ้าวัฏจักรทั้งสองในวัฏจักรทำความเย็นแบบหลายขั้นใช้สารทำความเย็นชนิดเดียวกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจจะถูกแทนที่โดยถังความดันธรรมดา ซึ่งเรียกว่า ถังแยกไอ (liquid-vapour separator หรือ flash intercooler) ดังแสดงในรูปที่ 6.2-3 ซึ่งถังแยกไอนี้จะทำหน้าที่แยกสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวและไอออกจากกัน ไอสารทำความเย็นที่ออกจากถังแยกไอ (6) จะรวมตัวกับไอสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์ความดันต่ำ (3) และถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์ความดันสูงต่อไป (7) ส่วนสารทำความเย็นเหลวที่ออกจากถังแยกไอ (4) จะถูกลดความดันผ่านวาล์วลดความดันก่อนที่จะเข้าเครื่องระเหยเพื่อทำความเย็น ซึ่งจะเรียกวัฏจักรชนิดนี้ว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดัน (Multistage compression vapour compression refrigeration cycle)

ในบางกรณีถังแยกไอของวัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดันอาจจะมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรวมอยู่ ดังรูปที่ 6.2-4 ในระบบนี้ สารทำความเย็นในสถานะของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก (8) จะไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อคายความร้อนให้กับสารทำความเย็นเหลวในถังแยกไอเพื่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้สารทำความเย็นเหลวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิลดลง (9) ก่อนที่จะเข้าวาล์วลดความดันและเข้าเครื่องระเหยต่อไป ส่วนที่สอง (7) จะไหลเข้าวาล์วลดความดันทำให้มีความดันและอุณหภูมิลดลง (4) ก่อนที่จะเข้าถังแยกไอ สารทำความเย็นเหลวในถังแยกไอจะรับความร้อนทั้งจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและจากไอสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์ความดันต่ำ (3) ทำให้เกิดการระเหย จากนั้นไอสารทำความเย็นส่วนนี้ (5) จะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์ความดันสูงต่อไป ระบบนี้เหมาะที่จะใช้กับงานที่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องระเหยกับวาล์วลดความดันไกลจากอุปกรณ์อื่น

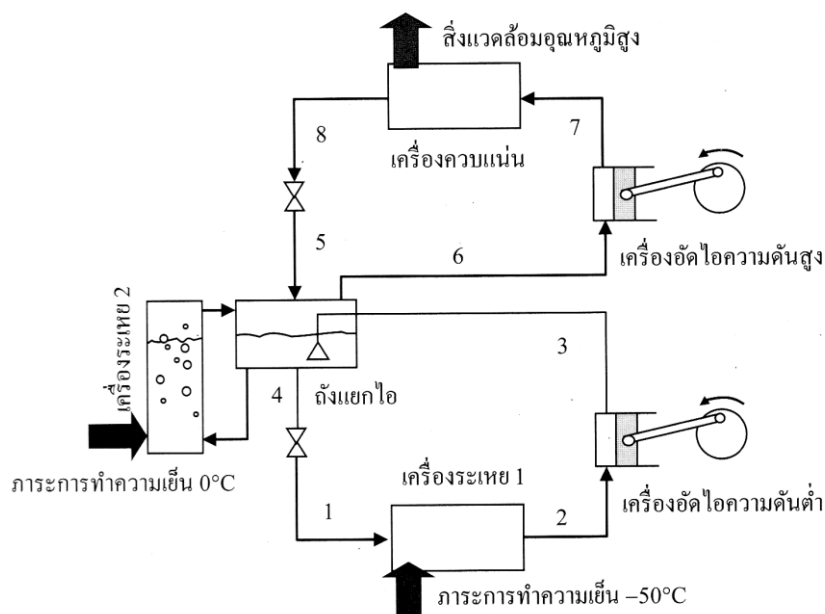


รูปที่ 6.2-3 วัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดัน



รูปที่ 6.2-4 วัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดัน โดยใช้ถังแยกไอเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

นอกจากนี้ วัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดันยังสามารถทำความเย็นได้มากกว่า 1 อุณหภูมิ โดยติดตั้งเครื่องระเหยมากกว่า 1 ชุด ตัวอย่างของระบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.2-5

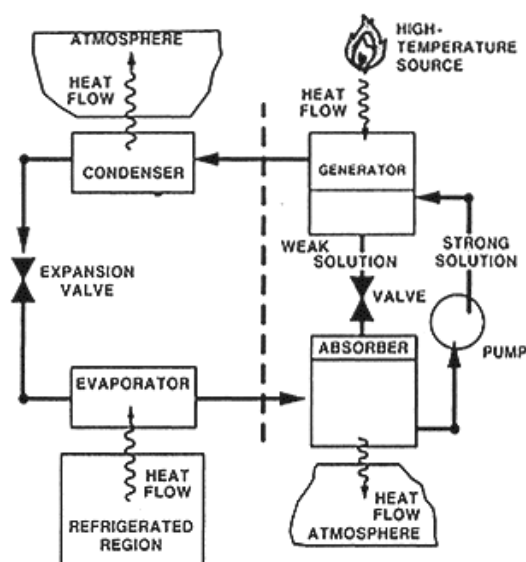


รูปที่ 6.2-5 วัฏจักรทำความเย็นแบบหลายความดันและมีเครื่องระเหย 2 ชุด

6.2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

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

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) คอนเดนเซอร์หรือคอยล์ร้อน (Condenser) เครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น (Evaporator) เครื่องดูดซึม (Absorber) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ส่วนสารทำงานจะเป็นลักษณะของสารคู่ผสมระหว่างสารทำความเย็น (เช่น น้ำ) และสารดูดซึม (เช่น สารลิเทียมโบรไมด์, LiBr) ดังแสดงในรูปที่ 6.2-6



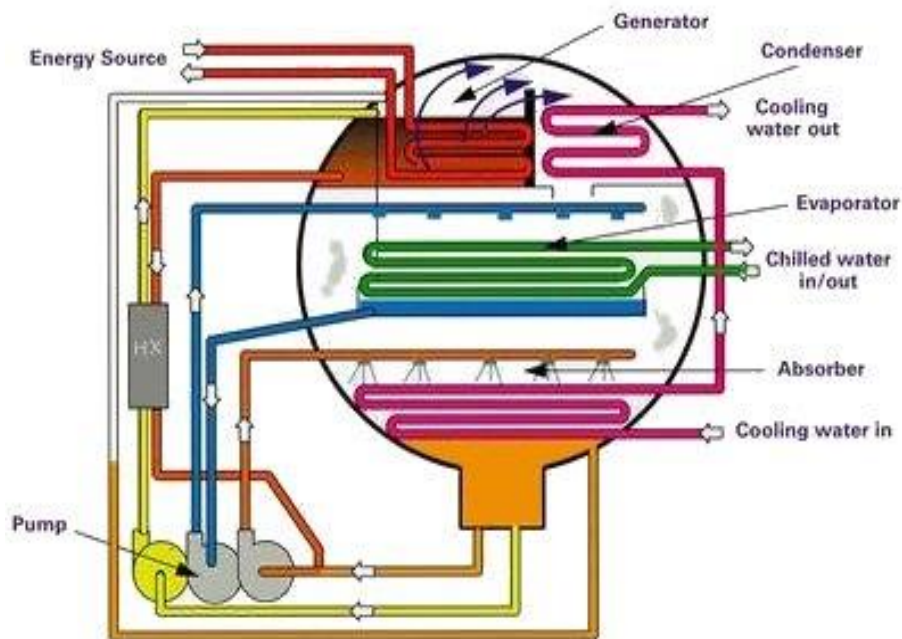
รูปที่ 6.2-6 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

หลักการทำงานเริ่มต้นจากเครื่องกำเนิดรับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอและแยกตัวจากสารดูดซึม ไอสารทำความเย็นจะถูกทำให้ควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (คอยล์ร้อน) ที่อุณหภูมิ $\sim 40-50^{\circ}\text{C}$ และเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้วไหลผ่านวาล์วลดความดันไปสู่คอยล์เย็น ที่คอยล์เย็น สารทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อระเหยกลายเป็นไอ (ที่อุณหภูมิ $\sim 5^{\circ}\text{C}$ ความดัน $\sim 6\text{ mmHg}$) จากนั้นไอสารทำความเย็นจะถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึมที่ไหลผ่านวาล์วลดความดันอีกตัวหนึ่งที่ต่อมาจากเครื่องกำเนิดและกลายเป็นของเหลวในเครื่องดูดซึม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จากนั้นของเหลวผสมจะถูกสูบโดยปั๊มให้มีความดันสูงขึ้นเป็น 75 mmHg และส่งไปยังเครื่องกำเนิดเพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นการทำงานครบรอบวัฏจักร

ความแตกต่างระหว่างระบบทำความเย็นแบบอัดไอและแบบดูดซึม คือ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นทำโดยใช้คอมเพรสเซอร์ซึ่งทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าขับ แต่ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม การเพิ่มความดันให้กับสารทำงานทำโดยอาศัยเครื่องกำเนิดและเครื่องดูดซึมร่วมกัน โดยใช้ความร้อนป้อนเข้าที่เครื่องกำเนิดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อผลิตไอที่มีสมบัติเช่นเดียวกับไอที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ในระบบแบบอัดไอ

ก) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว (Single Effect Absorption Cooling)

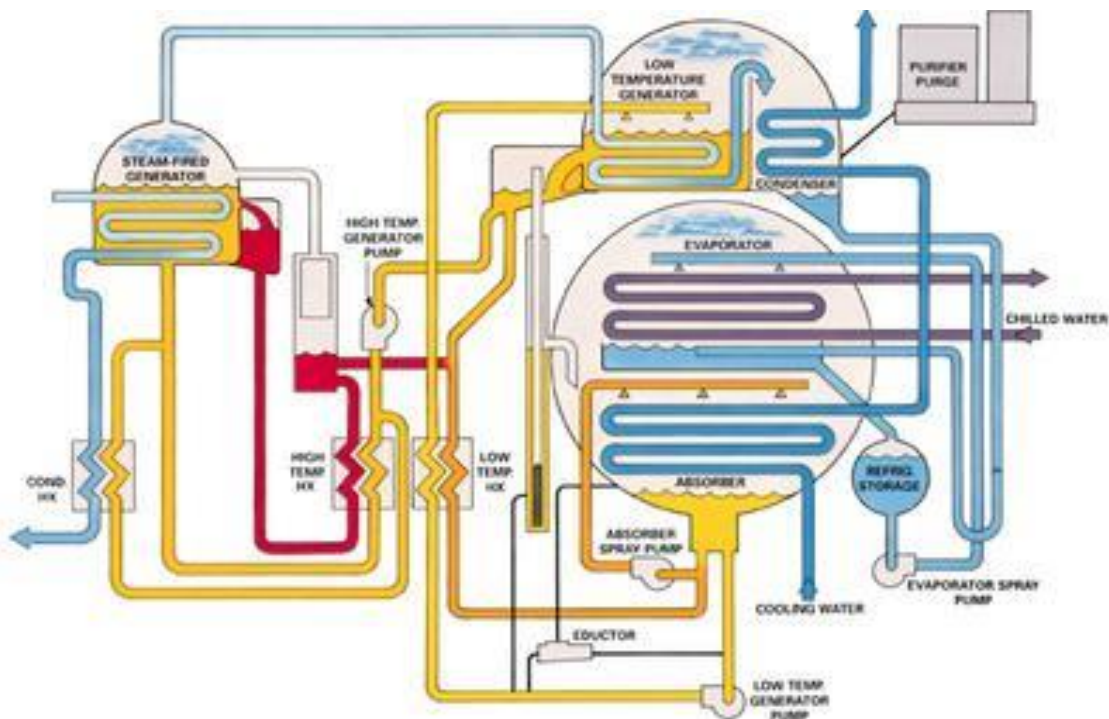
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำที่ความดันระหว่าง $0.8 - 1.5\text{ kg/cm}^2$ หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง $130 - 150^{\circ}\text{C}$ รูปที่ 6.2-7 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว



รูปที่ 6.2-7 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว

ข) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น (Double Effect Absorption Cooling)

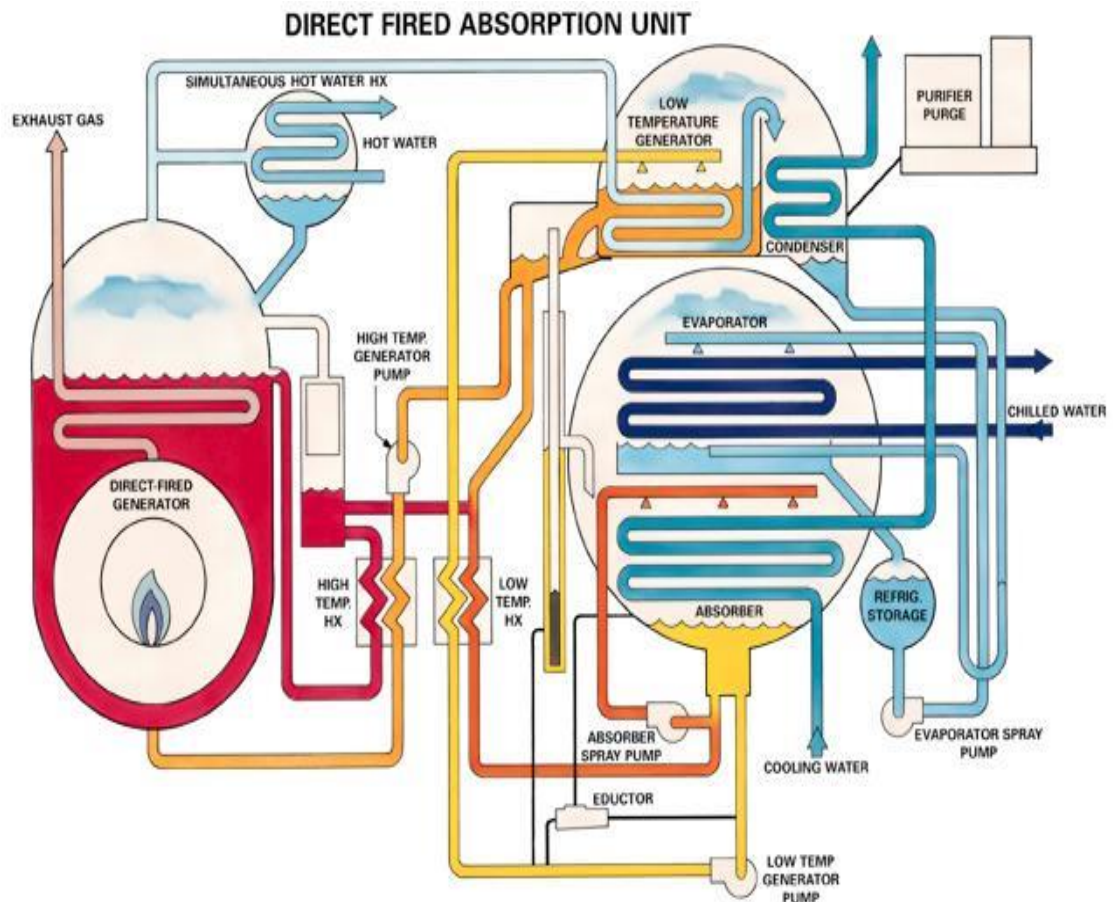
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำที่ความดันประมาณ 8 kg/cm^2 หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง $180 - 200^\circ\text{C}$ โดยระบบนี้จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าระบบแรกประมาณ 65% รูปที่ 6.2-8 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น



รูปที่ 6.2-8 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น

ค) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired Absorption Cooling)

ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเครื่องกำเนิด หรือความร้อนในรูปของก๊าซร้อน โดยอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องกำเนิดจะมีอุณหภูมิประมาณ 190-204 °C โดยระบบนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะอยู่ในช่วง 0.85 – 1.14 รูปที่ 6.2-9 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง



รูปที่ 6.2-9 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง

6.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็นที่ใช้กันทั่วไปในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ได้แก่ แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน ในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

แอมโมเนียเป็นสารความเย็นชนิดเดียวที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน แม้ว่าแอมโมเนียจะเป็นสารพิษและสามารถจุดระเบิดได้ในบางสภาวะก็ตาม แต่คุณสมบัติทางด้านความร้อนที่ดีเยี่ยมของแอมโมเนีย ทำให้แอมโมเนียเหมาะที่จะนำไปใช้กับโรงงาน ลานสเก็ตและห้องหรืออุปกรณ์ทำความเย็นขนาดใหญ่ และถ้าประกอบกับความรู้ความชำนาญในการควบคุมระบบ จะทำให้ปัญหาความเป็นพิษของแอมโมเนียกลายเป็นเพียงปัญหาเล็กๆ เท่านั้น

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

โดยปกติแอมโมเนียแห้งจะไม่กัดกร่อนโลหะ แต่เมื่อถูกความชื้นแอมโมเนียจะกัดโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น ทองแดง ทองเหลือง เป็นต้น ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าจะไม่พบโลหะเหล่านี้ในระบบที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารความเย็น

แอมโมเนียมีคุณสมบัติไม่ผสมกับน้ำมัน จึงไม่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดเหวี่ยง สำหรับการรั่วไหลของแอมโมเนีย เราสามารถทดสอบได้โดยเผาเทียนที่ทำด้วยกำมะถันในจุดที่จะทดสอบ ถ้าหากมีแอมโมเนียรั่วออกมาจะเกิดควันสีขาวขึ้น หรืออาจหาบริเวณรอยต่อของท่อด้วยสารละลายสบู่เข้มข้น ถ้ามีการรั่วไหลจะมีฟองเกิดขึ้น

แอมโมเนียเป็นสารความเย็นที่มีราคาถูกและใช้งานได้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางเคมีหลายอย่างที่เหมาะสมจะใช้กับระบบทำความเย็นใหญ่ๆ ซึ่งความเป็นพิษไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ เช่น มีระบบควบคุมดีหรือตั้งอยู่ห่างจากชุมชน และแอมโมเนียยังมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงอีกด้วย แอมโมเนียสามารถใช้กับคอมเพรสเซอร์ทั้งแบบลูกสูบชัก แบบโรตารีและแบบใช้แรงเหวี่ยง

6.4 การทำความเย็น

ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นเป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากแหล่งต่างๆ ประกอบด้วย

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

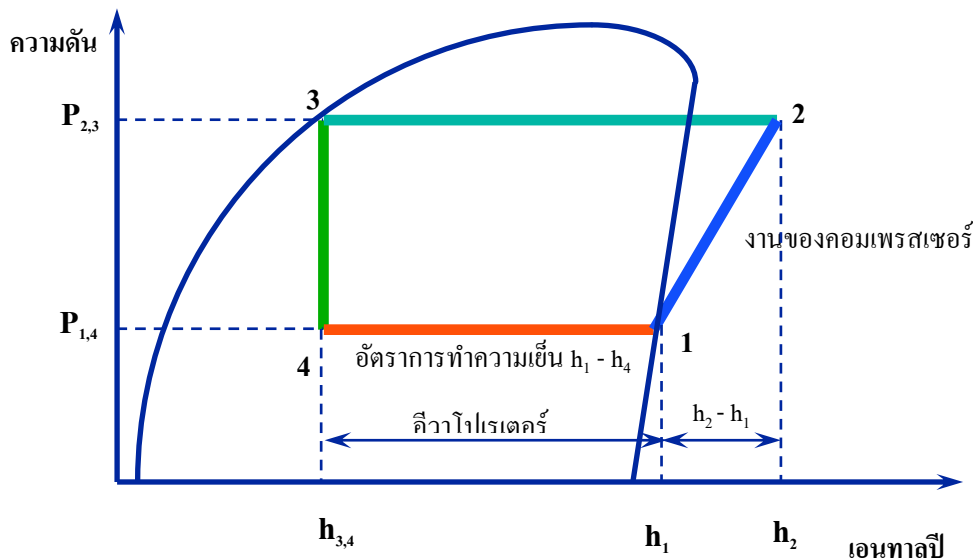
ภาระความร้อนต่างๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากการทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

6.5 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

สมรรถนะของระบบทำความเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานที่ระบบใช้การวิเคราะห์ค่า COP ของระบบทำความเย็นทำโดยใช้แผนภาพความดัน-เอนทาลปีดังแสดงในรูปที่ 6.5-1 จากรูป ค่า COP ของระบบทำความเย็นจะคำนวณได้จาก

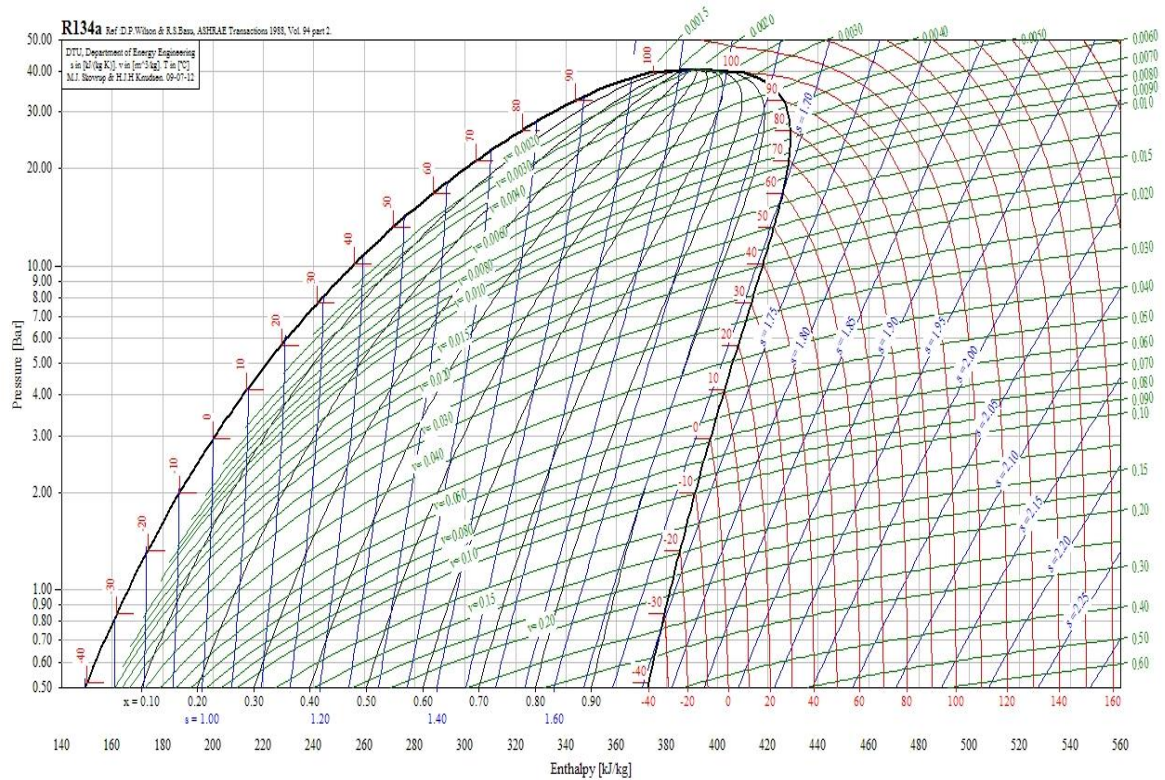
$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6.1)$$

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

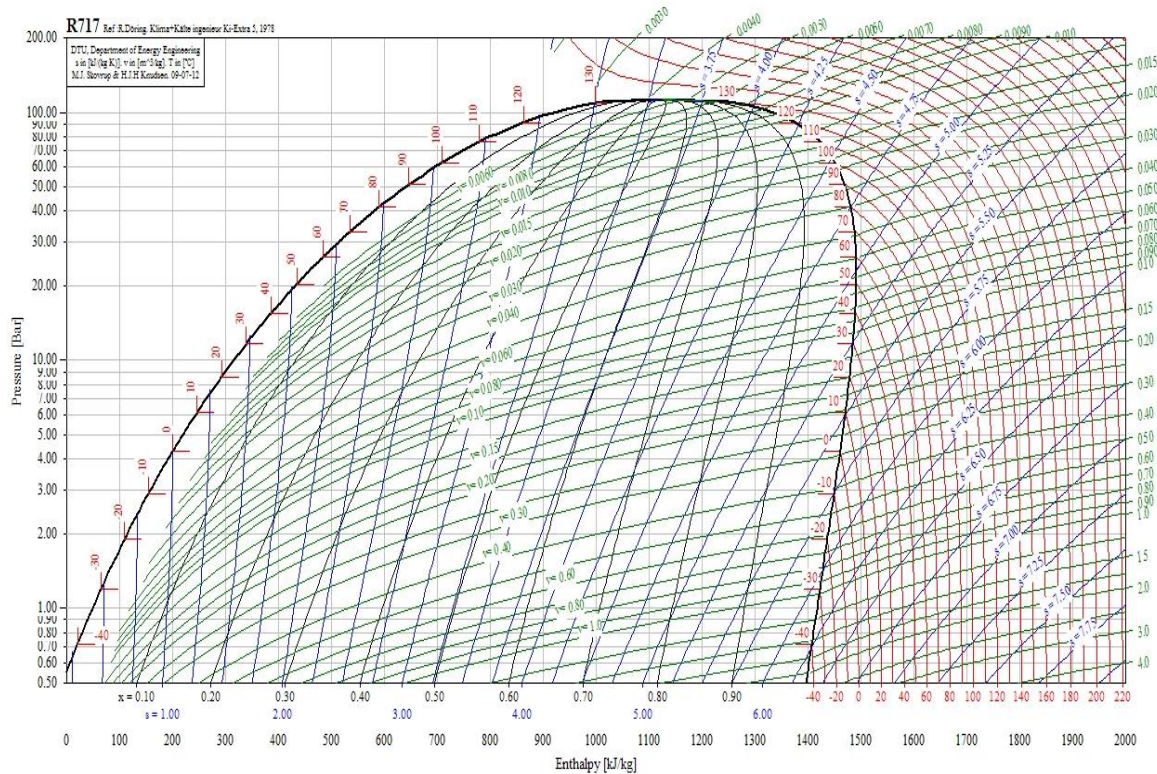


รูปที่ 6.5-1 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ดังนั้น สิ่งที่จะต้องทราบ ได้แก่ สภาวะ (ความดันและอุณหภูมิ) ของสารทำความเย็นที่แต่ละจุดของระบบ เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีจากตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ หรือจากแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นชนิดที่ใช้ในระบบ ตัวอย่างแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น R-134a แอมโมเนีย R-22 (SI) และ R-22 (IP) แสดงอยู่ในรูปที่ 6.5-2 ถึง 6.5-5 ตามลำดับ



รูปที่ 6.5-2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น R-134a



รูปที่ 6.5-3 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของแอมโมเนีย

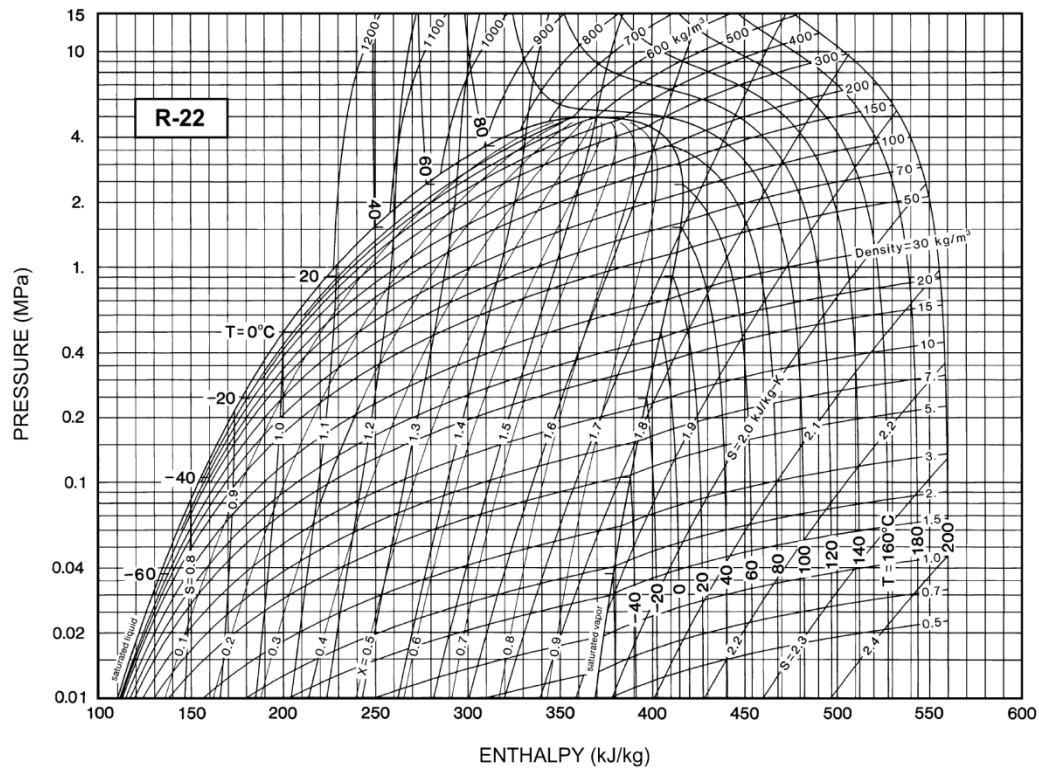


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 6.5-4 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (SI)

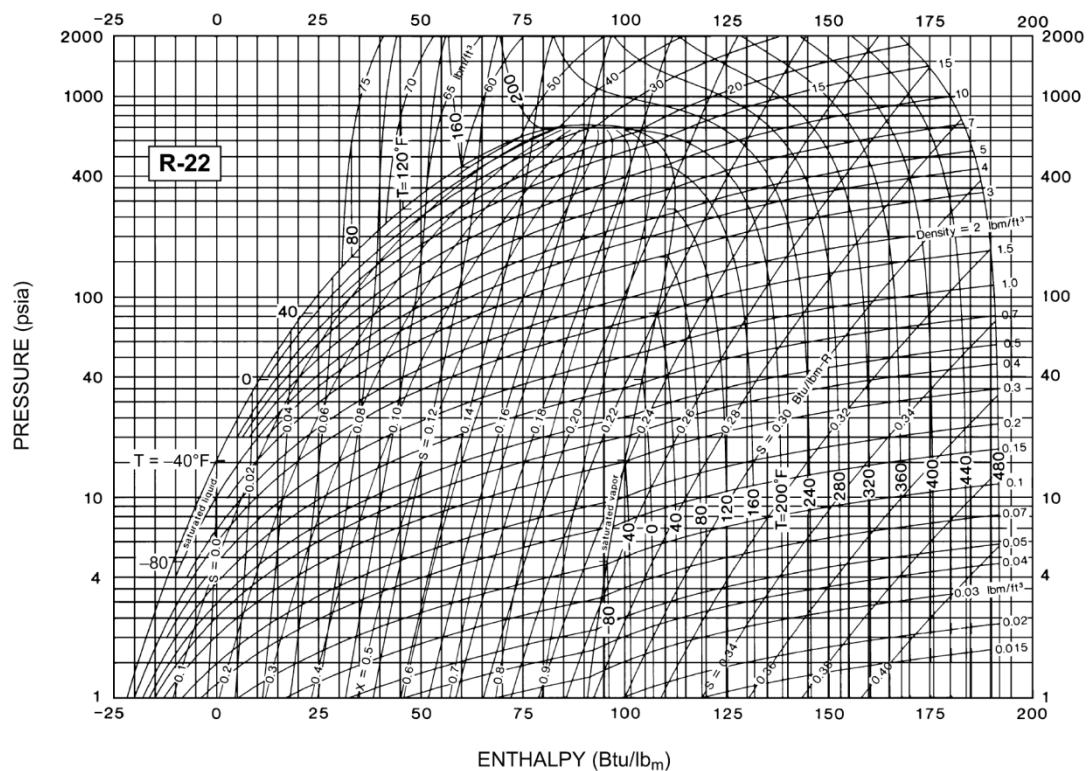


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 6.5-5 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (IP)

6.6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ อุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และของเครื่องระเหยเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็น หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหยได้ สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น

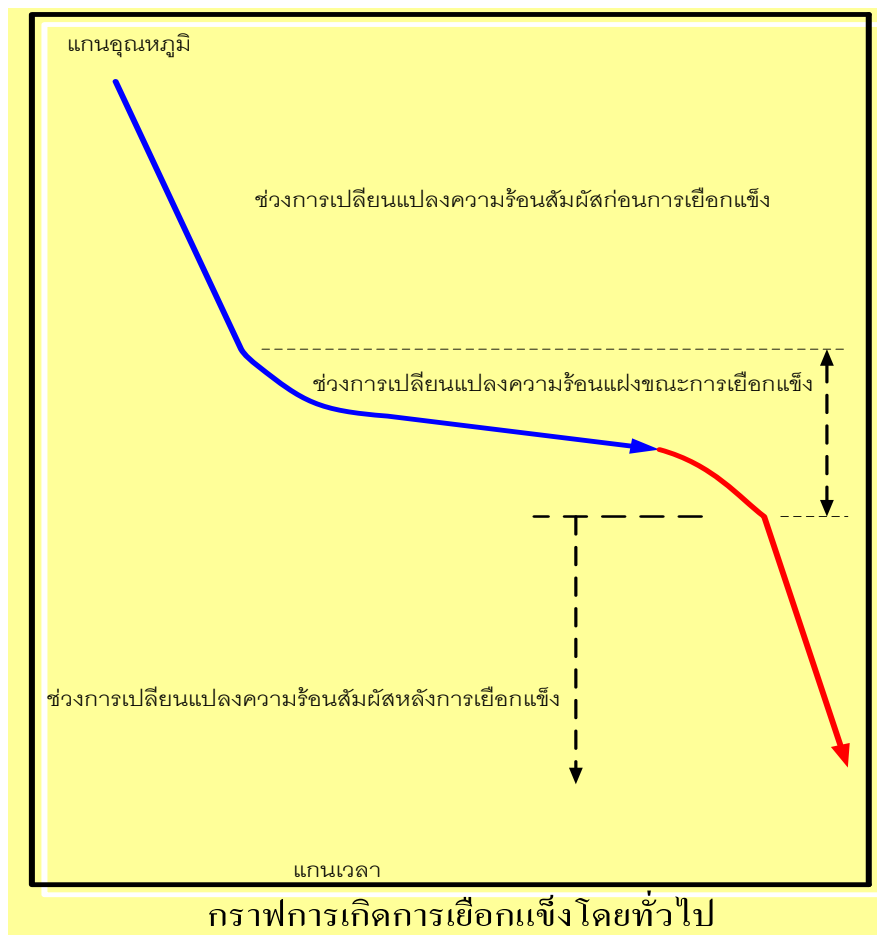
ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ระบบทำความเย็นมีสมรรถนะสูงขึ้น ระบบมีการใช้พลังงานลดลง ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ การลดภาระการทำงานของระบบให้ต่ำลง

6.7 อุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งและห้องเย็น

การแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมี รวมถึงปฏิกิริยาการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย โดยทั่วไปอาหารจะถูกแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จากรูปที่ 6.7-1 ขบวนการแช่เยือกแข็งจะเริ่มตั้งแต่การนำอาหารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งมาลดอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิของอาหารจะลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัส จากนั้น อาหารจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่จุดเยือกแข็ง ซึ่งจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร ขบวนการที่อาหารเข้าสู่จุดเยือกแข็งนี้ อาหารจะเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของแข็งตามขบวนการความร้อนแฝง ซึ่งอุณหภูมิของอาหารจะเกือบคงที่ และหากลดอุณหภูมิของอาหารต่อไป อาหารจะมีอุณหภูมิลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัสอีกครั้งหนึ่ง กรรมวิธีที่ใช้ในการแช่แข็งอาหารแบ่งได้เป็น 4 วิธีดังต่อไปนี้

6.7.1 การแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Blast Freezing)

การแช่แข็งอาหารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการพาความร้อน (Convection) โดยลมที่มีอุณหภูมิต่ำจะหมุนเวียนภายในห้องเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้อง (รูปที่ 6.7-2) ลมที่มีอุณหภูมิต่ำนี้จะถูกลดอุณหภูมิลงตามวัฏจักรการทำความเย็นที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยห้องเย็นที่หุ้มฉนวนมิดชิดด้วยโฟมที่มีความหนาเพื่อป้องกันการเกิดหยดน้ำที่ผนังภายนอก โดยความหนาของฉนวนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของห้องเย็นและประเภทของฉนวน ส่วนอุปกรณ์ทำความเย็นนิยมใช้เป็นวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้แอมโมเนียหรือสารประกอบกลุ่ม CFC การกระจายลมเย็นภายในห้องเย็น นิยมใช้เครื่องกระจายลมเย็นลักษณะเหมือนเครื่องเป่าลมเย็น แต่จะมีจำนวนครีบก่ายความร้อนเพียง 4-6 ครีบท่อนี้ว ขณะที่เครื่องเป่าลมเย็นของระบบปรับอากาศ จะมีครีบ 10-12 ครีบท่อนี้ว เหตุที่ต้องให้ครีบมีจำนวนน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งที่ครีบเนื่องจากอากาศที่ไหลเข้าทางประตูขณะเปิดประตู



รูปที่ 6.7-1 การเกิดการเยือกแข็งของอาหาร



(ก) ห้องเย็นในห้างสรรพสินค้า



(ข) ห้องเย็นสำหรับอุตสาหกรรม

รูปที่ 6.7-2 ห้องแช่แข็งแบบการพาความร้อน

6.7.1.1 ห้องเย็น (Cold Storage Room)

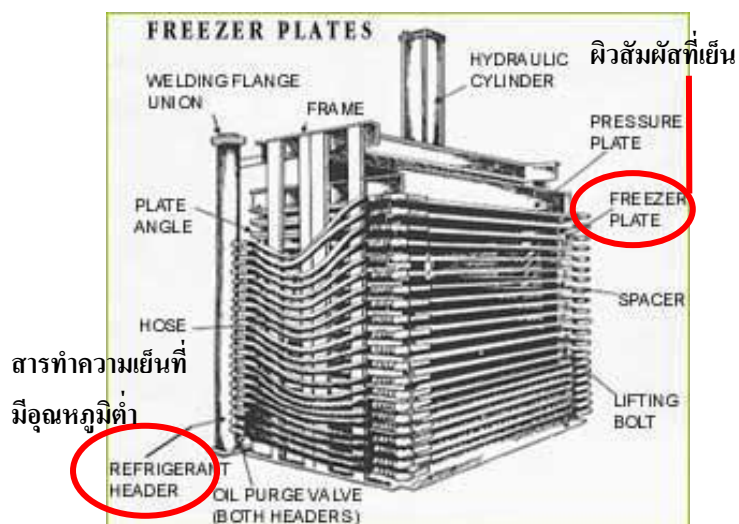
ห้องเย็นทั่วไปที่ใช้แช่อาหารมีอุณหภูมิภายในห้องเย็นคงที่เพื่อให้เหมาะสมกับอาหารที่เก็บภายในห้อง ซึ่งอาจจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่ผักและผลไม้ และต่ำกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่เนื้อและไอศกรีม โดยถนอมอาหารและบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องเย็นให้เหมาะสมกับระยะเวลาการบริโภค โดยทั่วไปห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องมากกว่า 0°C มักนิยมใช้สารประกอบ CFC เป็นสารทำความเย็น ส่วนห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า -10°C นิยมใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น ห้องเย็นประเภทนี้ เช่น ห้องแช่เนื้อ ห้องแช่ผัก ห้องแช่นมและไข่ ห้องแช่ปลา รวมไปถึงห้องแช่น้ำแข็งที่ผลิตแล้ว เป็นต้น ศูนย์การค้าและซูเปอร์มาร์เก็ตส่วนใหญ่จะมีห้องเย็นลักษณะนี้

6.7.1.2 ห้องเย็นสำหรับอุตสาหกรรม

ห้องเย็นสำหรับอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะตามกระบวนการผลิต คือ **แบบที่แช่แข็งเป็นเที่ยว (Batch)** เช่น ห้องเย็นแช่ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งแล้ว และห้องเย็นที่นำอาหารใส่กระบะเก็บเพื่อถนอมอาหารก่อนนำไปเข้ากระบวนการอื่นๆ และ **แบบแช่แข็งต่อเนื่อง** เช่น ห้องเย็นที่ใช้ในการผลิตนม เครื่องดื่ม และไอศกรีม เป็นต้น

6.7.2 การแช่แข็งแบบการสัมผัส (Contact Freezing)

การแช่แข็งอาหารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการนำความร้อน (Conduction) โดยอาหาร หรือบรรจุภัณฑ์ของอาหารจะวางอยู่บนผิวสัมผัสที่มีความเย็น (รูปที่ 6.7-3) ความร้อนของอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ของอาหารจะถูกลดลงโดยผิวสัมผัสที่มีความเย็น

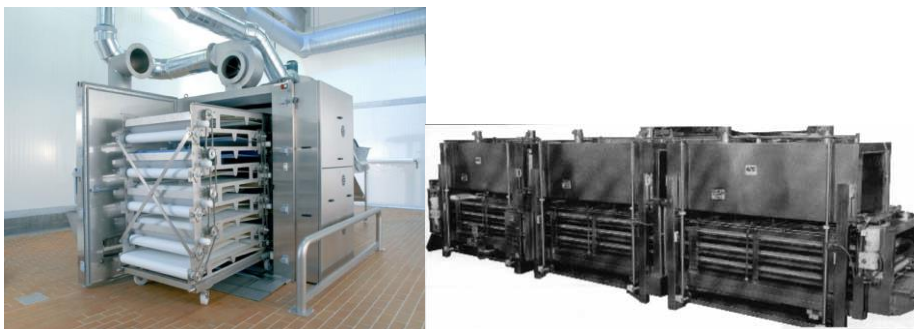


รูปที่ 6.7-3 ห้องแช่แข็งแบบการสัมผัส

ภายในผิวสัมผัสความเย็นจะมีสารทำความเย็นไหลอยู่ภายใน ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายตู้เย็นที่อยู่ตามบ้าน การแช่แข็งแบบการสัมผัสมีทั้งแบบแช่เป็นเที่ยว หรือเป็นสายพานให้อาหารผ่านผิวสัมผัสที่เป็นโลหะ อุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งที่ต้องนำน้ำแข็งแบบเกล็ดไปใช้ในการประกอบอาหาร มักนิยมใช้เครื่องทำน้ำแข็งแบบเกล็ด ซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบการแช่แข็งแบบการสัมผัส

6.7.3 การแช่แข็งโดยใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Freezing)

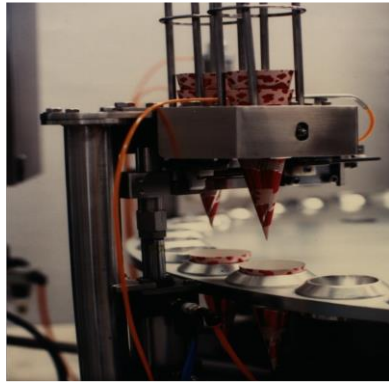
การแช่แข็งโดยใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการแช่แข็งในปริมาณที่ไม่มาก หรือผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่จำหน่ายตามฤดูกาล สารแช่แข็งโดยทั่วไปนิยมใช้ในไนโตรเจนเหลว หรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นตัวกลางในการแช่แข็ง โดยไนโตรเจนเหลว จะมีอุณหภูมิระหว่าง -150°C ถึง -200°C ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะมีอุณหภูมิตั้งแต่ -70°C ถึง -80°C การลดอุณหภูมิของอาหารแช่แข็งโดยใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำนี้ อาหารจะถูกสัมผัสโดยตรงกับสารแช่แข็งในลักษณะของก๊าซ ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายและถูกสุขลักษณะ



รูปที่ 6.7-4 การแช่แข็งโดยใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำ

6.7.4 การแช่แข็งแบบใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำรวมกับการแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Cryomechanical Freezing)

การแช่แข็งแบบใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำรวมกับการแช่แข็งแบบการพาความร้อน เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร เช่น กุ้ง สตรอเบอร์รี่ วัตถุประสงค์ของการแช่แข็งแบบนี้ เพื่อไม่ให้อาหารที่จะแช่แข็งติดกันเป็นก้อน เช่น กุ้งสด อาหารจะถูกไนโตรเจนเหลวไหลผ่านให้แข็งอย่างรวดเร็ว โดยยังคงความสด และน้ำภายในอาหาร จากนั้น อาหารดังกล่าวจะถูกนำไปยังห้องเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิไม่ให้อาหารเน่าเสีย ตัวอย่างของอาหารชนิดนี้ เช่น IQF ประเภทต่าง ๆ



(ก) เครื่องทำไอศกรีมเป็นการทำอาหารแช่แข็งแบบอาศัยสารแช่แข็งและการพาความร้อน



(ข) เครื่องแช่แข็งสำเร็จรูปแบบ IQF



(ค) เครื่อง IQF กุ้ง

รูปที่ 6.7-5 การแช่แข็งแบบใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำร่วมกับการแช่แข็งแบบการพาความร้อน

ตารางต่อไปนี้แสดงค่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่อาหารจะคงสภาพไม่เน่าเสีย

ตารางที่ 6.7-1 การแช่แข็งอาหารประเภทต่างๆ

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนเน่าเสีย (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

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนเน่าเสีย (สัปดาห์)
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
	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
	เบียร์	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

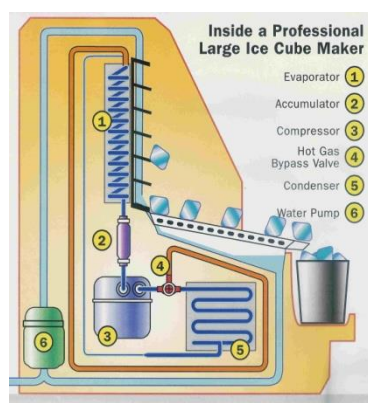
ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนเน่าเสีย (สัปดาห์)
	บุหรี	2-4	50-55	42

6.8 อุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง

ประเทศที่อยู่ในเขตร้อนจะนิยมการบริโภคน้ำแข็ง ซึ่งนอกจากน้ำแข็งที่ใช้ในการบริโภคแล้ว น้ำแข็งยังเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในการถนอมอาหาร อุตสาหกรรมประมง รวมไปถึงการใช้น้ำแข็งสำหรับงานตกแต่ง



(ก) น้ำแข็งเพื่อการบริโภค



(ข) เครื่องทำน้ำแข็งหลอด



(ค) น้ำแข็งเพื่อใช้ในการถนอมอาหาร



(ง) น้ำแข็งสำหรับงานตกแต่ง

รูปที่ 6.8-1 อุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง

6.8.1 เครื่องทำน้ำแข็งเพื่อการบริโภค

เครื่องทำน้ำแข็งที่ใช้ในการบริโภค ประกอบด้วย เครื่องทำน้ำแข็งหลายรูปแบบตามความนิยมของผู้บริโภค เช่น เครื่องทำน้ำแข็งหลอดขนาดต่าง ๆ (19 มม. 25 มม. 38 มม. 47 มม.) เครื่องทำน้ำแข็งแบบเกล็ด เครื่องทำน้ำแข็งแบบแผ่น เครื่องทำน้ำแข็งแบบซอง และเครื่องทำน้ำแข็งแบบขึ้น เป็นต้น



(ก) น้ำแข็งเกล็ด



(ข) น้ำแข็งขึ้น



(ค) น้ำแข็งช่อง



(ง) น้ำแข็งแผ่น



(จ) น้ำแข็งหลอด

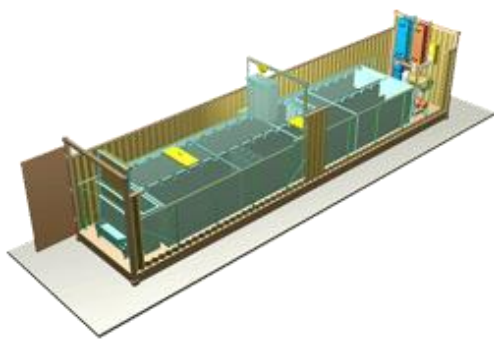
รูปที่ 6.8-2 อุตสาหกรรมน้ำแข็งเพื่อบริโภค

6.8.2 เครื่องทำน้ำแข็งสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและประมง

ในอุตสาหกรรมอาหารและประมงจำเป็นต้องใช้น้ำแข็งเพื่อถนอมอาหาร (รูปที่ 6.8-3) โดยคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการทำน้ำแข็งจะต้องควบคุมไม่ให้มีสารแขวนลอยและสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำมากจนเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อุตสาหกรรมอาหารที่ใช้เครื่องทำน้ำแข็งในการถนอมอาหาร ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมแช่เยือกแข็ง อุตสาหกรรมไก่ทอดกระดุก เป็นต้น รูปที่ 6.8-4 แสดงตัวอย่างเครื่องทำน้ำแข็งสำหรับอุตสาหกรรม



รูปที่ 6.8-3 อุตสาหกรรมน้ำแข็งเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและประมง



(ก) เครื่องทำน้ำแข็งแบบช่องสำเร็จรูป



(ข) เครื่องทำน้ำแข็งแบบแผ่นสำเร็จรูป

รูปที่ 6.8-4 อุตสาหกรรมน้ำแข็งเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและประมง

6.9 เครื่องผลิตน้ำแข็ง

น้ำแข็งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมประมงและการบริโภคสามารถแบ่งเป็นแบบต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

6.9.1 น้ำแข็งซอง (Block Ice)

น้ำแข็งซองถือได้ว่าเป็นน้ำแข็งแบบแรกของเครื่องผลิตน้ำแข็ง การทำน้ำแข็งซอง น้ำจะถูกแช่อยู่ในน้ำเกลือและทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงโดยขนาดของน้ำแข็งจะมีน้ำหนักประมาณ 150 กิโลกรัม



รูปที่ 6.9-1 การผลิตน้ำแข็งซองและภาพตัดขวางแสดงลักษณะของซองน้ำแข็งในบ่อน้ำเกลือ

น้ำแข็งแบบซองที่นิยมผลิตในประเทศไทยจะมีน้ำหนักประมาณ 150 กิโลกรัม มีความกว้าง 10 นิ้ว ความหนา 20 นิ้ว และสูง 50-60 นิ้ว ซึ่งความสูงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของน้ำแข็งในซอง แต่ละโรงผลิตจะใช้คนงานประมาณ 10-15 คนต่อการผลิตน้ำแข็ง 100 ตันต่อวัน โดยแรงงานผลิตส่วนใหญ่จะเริ่มทำงานตั้งแต่ 02.00 น. จนถึง 18.00 น. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซองประกอบด้วย



(ก) เครื่องอัดน้ำยาซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบสกปรู เนื่องจากราคาถูกกว่าแบบอื่นๆ



(ข) ชุดระบายความร้อนเพื่อควบแน่นน้ำยานิยมใช้หอระบายความร้อนที่ใช้ น้ำกับอากาศ ระบายความร้อน ส่วนน้ำแข็งหลอดนิยมใช้ชุดระบายความร้อนแบบใช้น้ำระบายความร้อน



(ค) น้ำยาทำความสะอาดเย็นนิยมใช้แอมโมเนีย



(ง) บ่อน้ำเกลือและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนระหว่างแอมโมเนียและน้ำเกลือ



(จ) ไบกวนน้ำเกลือ

6.9.2 เครื่องทำน้ำแข็งแบบเกล็ดหรือแบบแผ่น

เครื่องทำน้ำแข็งแบบเกล็ดหรือแบบแผ่นประกอบด้วยอุปกรณ์ผลิตน้ำแข็งดังนี้



(ก) แผ่นเพลทสแตนเลสเพื่อทำน้ำแข็ง



(ข) เครื่องอัดน้ำยานิยมใช้แบบลูกสูบ



(ค) น้ำยานิยมใช้ฟรอน



(ง) ชุดระบายความร้อนเพื่อควบแน่นน้ำยาโดยใช้
อากาศ



(จ) อุปกรณ์ลดแรงดันน้ำยา



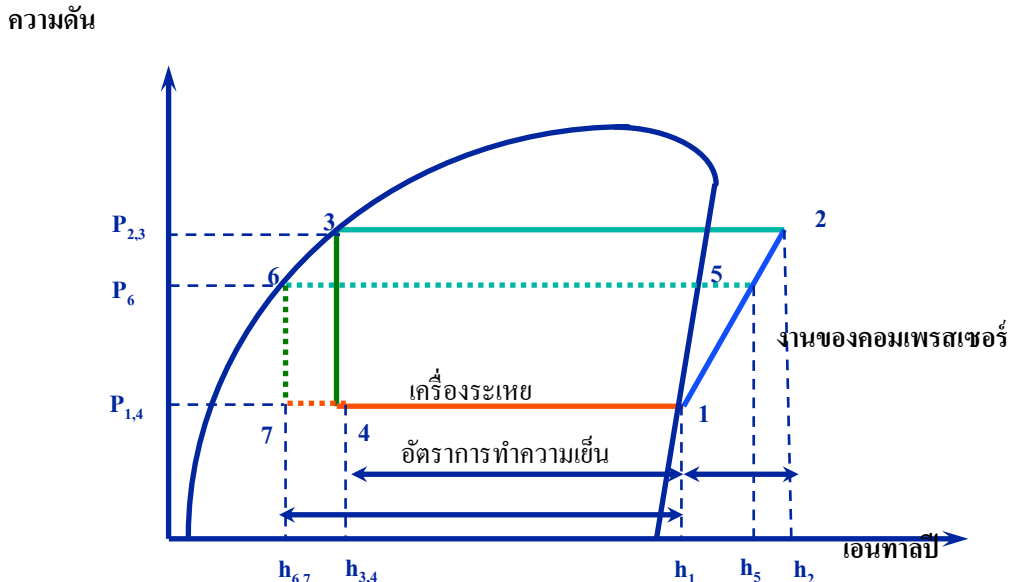
(ฉ) เครื่องสูบน้ำประปาประกอบสำเร็จจาก
โรงงานผู้ผลิตเพื่อสะดวกในการใช้งาน

6.10 มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น

แนวคิดหลักในการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น คือ การปรับปรุงสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสม การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหย นอกจากนี้ มาตรการเสริมอย่างการบำรุงรักษาที่เหมาะสมก็สามารถช่วยอนุรักษ์พลังงานได้โดยไม่จำเป็นต้องลงทุนมาก

6.10.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

พิจารณารูปที่ 6.10-1 การควบแน่นของสารทำงานในระบบทำความเย็นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 2-3 ถ้าสามารถลดอุณหภูมิและความดันที่คอนเดนเซอร์ลงได้ การควบแน่นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 5-6 แทน และการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 มาเป็น 1-5 ส่วนอัตราการทำความเย็นของเครื่องระเหยจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-1 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จะสามารถลดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ลง และเพิ่มอัตราการทำความเย็นขึ้นได้ ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น



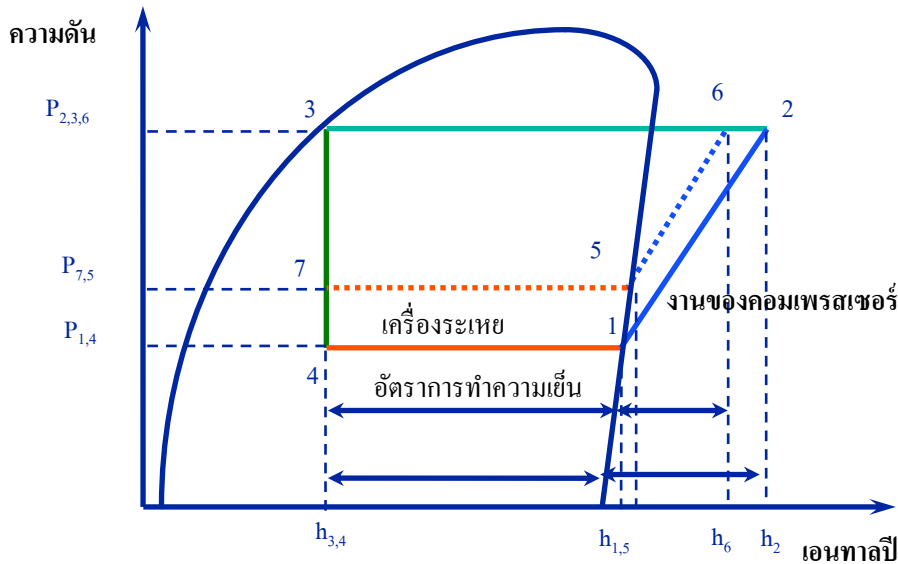
รูปที่ 6.10-1 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

ข้อแนะนำในการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- เดินพัดลมคอนเดนเซอร์และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นให้มากที่สุด เพื่อให้อุณหภูมิควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับระบบที่มีคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์หลายชุดนั้น ควรจะมีการตรวจตราการใช้พลังงานของเครื่องจักรทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการใช้งานให้เหมาะสม โดยปกติ คอนเดนเซอร์ควรจะใช้พลังงานน้อยกว่า 15% ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้
- หัวฉีด (Spray Nozzle) ของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด
- ลดปริมาณลมเลี้ยง (Bypass) ที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด
- รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาด และตรวจสอบให้แน่ใจว่า น้ำหล่อเย็นที่ใช้ผ่านการปรับสภาพ (Treatment) มาอย่างดีแล้ว
- ไล่อากาศและก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมด โดยหมั่นตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

6.10.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหย

พิจารณารูปที่ 6.10-2 กระบวนการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นภายในเครื่องระเหยตามเส้นทาง 4-1 เมื่อความร้อนถูกดูดจากผลิตภัณฑ์ สารทำความเย็นจะมีค่าเอนทัลปีสูงขึ้น โดยที่ความดันยังคงที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและความดันในเครื่องระเหยให้สูงขึ้นจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-5 งานของคอมเพรสเซอร์ที่ทำงานจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 เป็น 5-6 ผลที่ได้คือ งานที่จะต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลง และอัตราการทำความเย็นจะสูงขึ้นเล็กน้อย มีผลทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นสูงขึ้น



รูปที่ 6.10-2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหย

ข้อแนะนำในการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่เทอร์โมสแตทภายในพื้นที่ทำความเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ จะต้องไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
- ควบคุมความร้อนภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องเย็นมากเกินไป
- ระวังไม่ให้เกิดสภาพความเป็นไอร้อนยิ่งยวดของสารทำความเย็นที่ทางออกของเครื่องระเหย (ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์) มากเกินไป
- พื้นที่ผิวของเครื่องระเหยต้องมีเพียงพอเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนทำได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหยสูงขึ้น และช่วยลดการสูญเสียความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย
- ละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นเป็นระยะ เพราะน้ำแข็งที่เกาะที่คอยล์จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลง ซึ่งจะสังเกตได้จากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว
- ใช้พัดลมและมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในห้องเย็นและห้องแช่แข็ง
- สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องถูกต้องเหมาะสม ทั้งชนิด คุณภาพ และปริมาณ
- ป้องกันการที่น้ำมันหล่อลื่นจะถูกพาไปตกค้างในเครื่องระเหยได้ด้วยการบันทึกปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออกและใส่เข้าไปแทนที่ในระบบ

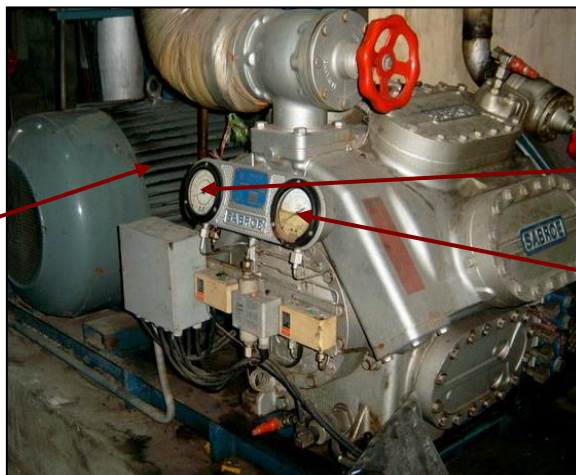
6.10.3 เทคนิคการตรวจวัด

การตรวจวัดความดันสารทำความเย็นนั้นเราจะใช้เครื่องวัดความดันที่ติดตั้งที่เครื่องอัดโดยเครื่องวัดความดันนั้นควรต้องมีการสอบเทียบตามกำหนดเวลา จะทำให้การวัดค่าที่ตรวจวัดได้ในแต่ละเครื่องสามารถจะนำมาเปรียบเทียบกันได้เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดการทำงานเพื่อประหยัดพลังงานด้วย หรืออาจติดตั้งเครื่องมือวัดความดันหรือหัวต่อสำหรับติดตั้งกับเครื่องมือวัดความดันไว้เก็บข้อมูลแยกต่างหากจากที่ติดตั้งมากับอุปกรณ์ก็ได้ เพื่อความถูกต้องในการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ

เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด

1. เครื่องมือวัดพลังไฟฟ้า (Clamp On Power Meter)
2. เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Gauge)

1. วัดพลังไฟฟ้าที่เข้าเครื่อง
อัดสารทำความเย็น
.....kW



2. วัดความดันสารทำความเย็นออก
.....barg

3. วัดความดันสารทำความเย็นเข้า
.....barg

รูปที่ 6.10-3 การตรวจวัดสมรรถนะระบบทำความเย็น

6.11 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบทำความเย็นนั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้น ควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอ ดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
เครื่องอัดสารทำความเย็น		
1. บันทึกความดันสารทำความเย็นด้านสูงและด้านต่ำ	เปรียบเทียบความดันสารทำความเย็นด้านสูง และด้านต่ำในแต่ละวันว่าผิดปกติไปจากเดิมหรือไม่	● ความดันสารทำความเย็นผิดปกติไปจากเดิมควรตรวจสอบแก้ไข
2. ตรวจสอบความดันสารทำความเย็นด้านสูงและด้านต่ำเทียบกับแต่ละเครื่อง	เครื่องที่ความดันสารทำความเย็นด้านสูงมีค่าสูงกว่าเครื่องอื่น และเครื่องที่ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำมีค่าต่ำกว่าเครื่องอื่นจะต้องหาสาเหตุและแก้ไขเพราะประสิทธิภาพจะต่ำกว่าเครื่องอื่น	● ลดการใช้งาน ● หาสาเหตุและแก้ไข
3. ตรวจสอบผลต่างของความดันสารทำความเย็นด้านสูงและด้านต่ำของแต่ละเครื่อง	เครื่องที่มีผลต่างของความดันสูงกว่าเครื่องอื่นเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพต่ำ	● ลดการใช้งาน ● หาสาเหตุและแก้ไข
4. ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าของเครื่องอัด	พลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำงานจริงควรอยู่ประมาณ 80-90 % ของ	● สลับมอเตอร์ที่เป็นประเภทเดียวกันภายในโรงงาน

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
เทียบกับฟิสิกส์มอเตอร์ขับ	พลังไฟฟ้าฟิสิกส์ของมอเตอร์ขับ เครื่องอัดเพราะเป็นจุดที่มอเตอร์ มีประสิทธิภาพสูง	เปลี่ยนขนาดของมอเตอร์ใหม่
5. ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำระบาย ความร้อนที่ออกและ อุณหภูมิสารทำความเย็นใน คอนเดนเซอร์ ที่ภาระสูง	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ ออกไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว ของสารทำความเย็นเกิน 6°F เพราะประสิทธิภาพของระบบทำ ความเย็นจะลดต่ำลง โดย สังเกต จากความดันด้านสูงจะเพิ่มสูงขึ้น	- ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ - ลดอัตราการไหลของน้ำ ระบายความร้อน - ลดปริมาณสารทำความเย็น - เพิ่มขนาดคอนเดนเซอร์
6. ตรวจสอบความดันสารทำ ความเย็นด้านสูง ด้านต่ำ และระดับกลาง (High Low Medium)	ความดันสารทำความเย็นที่ Medium = (ความดันด้าน High + ความ ดันด้าน Low) ^{0.5} ซึ่งเป็นจุดที่ระบบทำความเย็นมี ประสิทธิภาพสูงสุด	ปรับตั้งความดัน Medium ให้เหมาะสม
7. ตรวจสอบอุณหภูมิสารทำ ความเย็นด้านต่ำ (Low) เทียบกับอุณหภูมิใช้งาน ต่ำสุดของ Evaporator	อุณหภูมิสารทำความเย็นด้านต่ำ ควรใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน โดยต่างกันไม่เกิน 4°F เพราะถ้า อุณหภูมิสารทำความเย็นด้านต่ำ ลดลงมาก ประสิทธิภาพของ ระบบทำความเย็นจะลดลง	- ปรับเพิ่มความดันสารทำ ความเย็นด้านต่ำให้สูงขึ้น - เพิ่มปริมาณสารทำความเย็น

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
8. ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนก่อนเข้า Condenser	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนไม่ควรสูงกว่า 90 °F เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นลดลง	ปรับปรุงประสิทธิภาพ Evaporative Condenser หรือ Cooling Tower ติดตั้ง Evaporative Condenser หรือ Cooling Tower เพิ่ม
9. ตรวจสอบสมรรถนะในการทำความเย็น (COP) ของเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่อง	แต่ละเครื่องควรมีค่า COP ใกล้เคียงกัน ถ้ามีการปรับตั้งความดันด้านต่ำเท่ากัน	- ลดการใช้งานเครื่องที่มีค่า COP ต่ำ - ปรับปรุงให้มีค่า COP ใกล้เคียงกัน เปลี่ยนเครื่องใหม่ให้มีค่า COP สูงขึ้น
10. ตรวจสอบประวัติการซ่อมเครื่องอัดสารทำความเย็น	เครื่องอัดสารทำความเย็นที่ผ่านการซ่อมบำรุงใหม่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องที่ไม่ผ่านการซ่อมบำรุง	นำชุดที่ผ่านการซ่อมบำรุงมาใช้งานให้มากกว่าชุดอื่น
11. ตรวจสอบประวัติมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัด	มอเตอร์ที่เคียใหม่มีประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 4 % ต่อการไหม้แต่ละครั้ง	นำมาใช้งานให้น้อยลง เปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
12. ตรวจสอบระบบส่งกำลัง	ระบบส่งกำลังด้วยสายพานจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อสายพานหย่อน สายพานหมดสภาพ	- ปรับตั้งความตึงสายพานในระยะเวลาเหมาะสม - เปลี่ยนสายพานใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน เปลี่ยนไปใช้สายพานที่มีประสิทธิภาพสูง
เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน		
13. ตรวจสอบมีการหริวาล์วทางเข้า หรือออกของเครื่องสูบน้ำหรือไม่	การหริวาล์วจะส่งผลให้พลังงานที่เครื่องสูบน้ำใช้ลดลงเล็กน้อยแต่ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำลดลงมาก	- ลดรอบมอเตอร์ - ลดขนาดใบพัด - ลดขนาดเครื่องสูบน้ำและมอเตอร์
14. ตรวจสอบประวัติการซ่อมบำรุงเครื่องสูบน้ำแต่ละชุด	เครื่องสูบน้ำชุดที่ผ่านการซ่อมบำรุงมาใหม่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องสูบน้ำที่ยังไม่ผ่านการซ่อมบำรุง	- นำมาใช้งานให้มากขึ้นกว่าชุดอื่น - ทำแผนซ่อมบำรุงตามความเหมาะสม
15. ตรวจสอบกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานที่เครื่องสูบน้ำแต่ละชุดใช้	เครื่องสูบน้ำชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานน้อยควรนำมาใช้งานเป็นหลัก	เลือกใช้งานชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานต่ำเป็นหลัก

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
		• หาสาเหตุและแก้ไขชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูง
16. ตรวจสอบประวัติของมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ	มอเตอร์ชุดที่ผ่านการไหม้ประสิทธิภาพจะลดต่ำลง 4% ต่อการไหม้แต่ละครั้ง	• ลดการใช้งาน • เปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดเหมาะสมกับภาระ
17. ตรวจสอบพลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้เทียบกับฟักัด	มอเตอร์ควรใช้พลังไฟฟ้าที่ 80-90% ของฟักัดเพราะเป็นจุดที่มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูง	• สลับมอเตอร์ภายในโรงงานให้ขนาดเหมาะสม • เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีขนาดเหมาะสม
18. ตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำแต่ละชุด	เครื่องสูบน้ำชุดที่มีค่า GPM/kW สูง เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดอื่น	• จัดทำแผนการใช้งานเครื่องสูบน้ำใหม่ โดยนำชุดที่มี GPM/kW สูงมาใช้งานเป็นหลัก • ปรับปรุงแก้ไขชุดที่มีค่า GPM/kW ต่ำ
19. ตรวจสอบประสิทธิภาพของกลุ่มเครื่องสูบน้ำถ้าเดินครั้งละหลายชุดพร้อมกัน	เครื่องสูบน้ำกลุ่มที่มีค่า GPM/kW สูง เป็นเครื่องสูบน้ำกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องสูบน้ำกลุ่มอื่น เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งและการเชื่อมต่อท่อเข้า-ออก ของเครื่องสูบน้ำแต่ละชุดส่งผลให้เกิดการสูญเสียต่ำไม่เท่ากัน	• จัดทำแผนการใช้งานกลุ่มเครื่องสูบน้ำโดยนำกลุ่มเครื่องสูบน้ำที่มี GPM/kW สูงมาใช้งานเป็นหลัก • ปรับปรุงแก้ไขระบบเชื่อมต่อเครื่องสูบน้ำแต่ละชุด เช่น เปลี่ยนการต่อแบบตัวที่เป็นตัววาย และเพิ่มขนาด Header ให้ใหญ่ขึ้น
20. บันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้	เครื่องสูบน้ำชุดใดที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าแตกต่างไปจากเดิมเป็นเครื่องสูบน้ำที่ผิดปกติประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำจะลดลง	• ลดการใช้งาน • หาสาเหตุและแก้ไข
หอระบายความร้อน		
21. ตรวจสอบฟักัดของหอระบายความร้อนเทียบกับฟักัดของเครื่องทำความเย็น	ขนาดฟักัดของหอระบายความร้อนควรมีขนาดมากกว่าฟักัดของเครื่องทำความเย็นประมาณ 30-40%	• เปิดใช้งานหอระบายความร้อนให้มากกว่าจำนวนเครื่องทำความเย็นเพิ่มหอระบายความร้อน

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
22. ตรวจสอบระดับน้ำในถาดของหอระบายความร้อนแบบเหลี่ยม	ควรสูงกว่า 1/3 ของความสูงถาดเพื่อให้อัตราการไหลของน้ำเหมาะสม	ปรับสมดุลปริมาณน้ำในแต่ละถาดใหม่
23. ตรวจสอบรูน้ำในถาดของหอระบายความร้อนแบบเหลี่ยมหรือรูน้ำของ Sprinkle Pipe	รูน้ำทั้งหมดไม่ควรตันเพื่อให้เกิดการกระจายน้ำได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้น	จัดทำแผนการตรวจและบำรุงรักษาในระยะเวลาที่เหมาะสม
24. ตรวจสอบรอบการหมุนของ Sprinkle Pipe	รอบการหมุนจะต้องได้ตามมาตรฐานถ้าเร็วเกินมาตรฐานแสดงว่าปริมาณน้ำมากเกินไป ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง	ปรับลดปริมาณน้ำที่เข้าหอระบายความร้อน เพื่อให้ได้รอบการหมุนตามมาตรฐาน
25. ตรวจสอบว่ามีเมื่อน้ำออกด้านบนหรือไม่	เมื่อน้ำออกด้านบนทำให้เกิดการสูญเสีย	- ติดแผ่นกันน้ำด้านบน - ลดความเร็วลมดูด - ติดแผ่นกันน้ำ Sprinkle Pipe ลดปริมาณน้ำ
26. ตรวจสอบว่ามีเมื่อน้ำกระเด็นออกด้านข้าง	เมื่อน้ำกระเด็นออกด้านข้างทำให้เกิดการสูญเสีย	- ลดระดับน้ำในอ่าง - ลดปริมาณน้ำที่เข้าหอระบายความร้อน - ติดตั้ง Louver ให้ถูกต้อง
27. ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ทางเข้าหอระบายความร้อน	อากาศที่เข้าหอระบายความร้อนจะต้องมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำเท่ากับอากาศแวดล้อมทั่วไป ถ้าสูงกว่าอากาศแวดล้อมอาจเกิดจากการรั่วของอากาศที่ออกจากหอระบายความร้อน	- ติดตั้งปากทางออกให้สูงขึ้น - จัดระยะห่างของหอระบายความร้อนให้เหมาะสม ย้ายตำแหน่งหอระบายความร้อนไปอยู่ในจุดที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก
28. ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำที่ได้จากหอระบายความร้อน	อุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอระบายความร้อนแต่ละชุดไม่ควรสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอระบายความร้อนเกิน 6 °F	- ลดปริมาณน้ำให้ได้มาตรฐาน - เพิ่มปริมาณอากาศ - แก้ไขการกระจายน้ำให้ทั่วพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน - ทำความสะอาดฟิลเลอร์ เปลี่ยนฟิลเลอร์ใหม่
29. บันทึกและเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำที่ได้จากหอระบายความร้อนแต่ละชุด	อุณหภูมิน้ำที่ได้จากหอระบายความร้อนแต่ละชุดควรจะใกล้เคียงกัน	- ปรับปรุง แก้ไข หอระบายความร้อนชุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าชุดอื่น - ลดการใช้งานหอระบายความร้อน

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
		ร้อนที่มีอุณหภูมิสูง เลือกใช้หระบายความร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำต่ำเป็นหลัก
30. ตรวจสอบแผ่นฟิลเลอร์สกปรกและลัม	แผ่นฟิลเลอร์ต้องสะอาดตลอดทั้งแผ่นและไม่ลัมเพื่อให้น้ำแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศได้ดี	● ทำแผนการทำความสะอาดเป็นประจำตามความเหมาะสม ● ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการเกิดตะกรันและตะไคร่น้ำ ● ปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เติม
31. ตรวจสอบว่ามีการปล่อยน้ำผ่านหระบายความร้อนที่ไม่เปิดพัดลมหรือไม่	น้ำทั้งหมดควรไหลผ่านหระบายความร้อนที่มีการเปิดพัดลม เพราะจะทำให้ น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิไม่สูง	ปิดวาล์วน้ำที่เข้าออกหระบายความร้อนที่ไม่เปิดพัดลม
32. ตรวจสอบการเปิดใช้งานหระบายความร้อนมากเกินไปหรือไม่	ควรเปิดหระบายความร้อนให้มีจำนวนเหมาะสมกับภาระ เพื่อให้ได้อุณหภูมิ น้ำลดต่ำลง โดยทดลองเปิดหระบายความร้อนเพิ่ม หากอุณหภูมิ น้ำลดลงมากจึงควรเปิดเพิ่ม	เปิดหระบายความร้อนมากกว่าภาระการระบายความร้อนเล็กน้อย
33. ตรวจสอบวัดกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่หระบายความร้อนแต่ละชุดใช้	ชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าต่ำที่สุดแต่ได้อุณหภูมิ น้ำเท่ากับชุดอื่นเป็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	● นำมาใช้งานให้มากขึ้น ปรับปรุงชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ
34. บันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่หระบายความร้อนแต่ละชุดใช้เป็นประจำ	กระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่หระบายความร้อนแต่ละชุดใช้ไม่ควรสูงขึ้นจากเดิม โดยถ้าสูงขึ้นต้องหาสาเหตุและแก้ไข	● ทำแบบตรวจสอบและบันทึกเพื่อเปรียบเทียบเป็นประจำ
35. บันทึกปริมาณน้ำที่ใช้กับหระบายความร้อนแต่ละชุดทุกวัน	อัตราการใช้น้ำของหระบายความร้อนแต่ละชุดควรมีสัดส่วนการเพิ่มหรือลดที่ใกล้เคียงกัน ถ้าชุดใดแตกต่างมากควรหาสาเหตุและแก้ไข	ทำแบบตรวจสอบและบันทึกเพื่อเปรียบเทียบเป็นประจำทุกวัน
Evaporative Condenser		
36. ตรวจสอบบรูสเปรย์น้ำ	รูสเปรย์น้ำต้องสะอาด ไม่ตันการกระจายน้ำเต็มพื้นที่ขดท่อ จะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดี	ทำแบบการตรวจและทำความสะอาดในระยะเวลาที่เหมาะสม

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
37. ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่ เข้าระบายความร้อนเทียบกับ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของ อากาศที่เข้าระบายความร้อน	อุณหภูมิน้ำเข้าระบายความร้อน ควรใกล้เคียงกับอุณหภูมิ กระเปาะเปียกของอากาศ โดย ห่างกันไม่เกิน 6°F จะส่งผลให้ ความดันสารทำความเย็นใน คอนเดนเซอร์ลดต่ำลง	● ปรับปรุงการแลกเปลี่ยน ความร้อนระหว่างน้ำกับ อากาศ ● เพิ่มปริมาณอากาศให้มากขึ้น ● ลดปริมาณน้ำให้สมดุลกับ ปริมาณอากาศ ● เพิ่มปริมาณอากาศระบาย ความร้อน
38. ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำระบาย ความร้อนที่ออกและ อุณหภูมิสารทำความเย็นใน คอนเดนเซอร์	อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ ออกควรต่ำกว่าอุณหภูมิอิมตัว ของสารทำความเย็นไม่เกิน 6°F จะส่งผลให้ความดันสารทำความ เย็นในคอนเดนเซอร์ลดต่ำลง	● การสเปรย์น้ำเติมพื้นที่ผิว คอนเดนเซอร์ ● ทำความสะอาดผิวท่อด้าน นอกคอนเดนเซอร์โดยกำจัด ตะกรันและตะไคร่น้ำ ● ลดปริมาณน้ำระบายความ ร้อน ● เพิ่มปริมาณอากาศระบาย ความร้อน
39. ตรวจวัดอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ที่เข้าระบายความร้อน	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จะต้องต่ำที่สุดและเท่ากับสภาวะ อากาศโดยทั่วไปเพราะถ้าสูงจะ ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำระบายความ ร้อนสูงขึ้น	● ติดตั้งปากทางออกของ อากาศร้อนขึ้นให้สูงขึ้น ● จัดระยะห่างของแต่ละชุดให้ เหมาะสม ● ย้ายตำแหน่งไปอยู่ในจุดที่มี อากาศถ่ายเทได้สะดวก

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
40. ตรวจสอบตะกรันบนผิวท่อคอนเดนเซอร์	ผิวท่อคอนเดนเซอร์ควรปราศจากตะกรัน เพื่อให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดี	● จัดทำแผนการทำความสะอาดตามความเหมาะสม ● ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการเกิดตะกรัน ● ปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เติม
41. ตรวจสอบการทำงานของพัดลมตลอดเวลาในกรณีที่ใช้พัดลมหลายชุด	พัดลมแต่ละชุดควรทำงานเป็นปกติ เพราะถ้าพัดลมชุดใดชำรุด จะเกิดการลัดวงจรของอากาศผ่านทางช่องพัดลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง	● จัดทำแผนการตรวจสอบตลอดเวลาอย่างน้อยทุกชั่วโมง
42. ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่พัดลมแต่ละชุดใช้	พัดลมที่มีขนาดเท่ากันควรใช้กระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกัน	● จัดทำแผนการตรวจสอบตามความเหมาะสม ● หาสาเหตุและแก้ไขพัดลมชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าชุดอื่น และผิดปกติไปจากเดิม
43. ตรวจสอบแผ่นกันเซล	Evaporative Condenser ขนาดใหญ่มักแบ่งเป็นเซล เพื่อให้สามารถเปิดใช้งานแต่ละเซลได้ตามภาระการทำความเย็น ซึ่งแต่ละเซลควรมีแผ่นกันจนถึงพื้นน้ำ และปิดประตูให้สนิทเพื่อป้องกันการลัดวงจรของอากาศ	● ตรวจสอบและแก้ไข
44. ตรวจวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์แต่ละเซลหรือแต่ละชุด	ชุดที่อุณหภูมิสารทำความเย็นออกมีอุณหภูมิสูง เป็นชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ	● ลดการใช้งาน ● หาสาเหตุและปรับปรุง
45. ตรวจสอบประวัติของมอเตอร์พัดลม	มอเตอร์ใหม่แต่ละครั้งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงประมาณ 4 %	● สลับมอเตอร์ภายในโรงงาน ● เปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
Evaporator		
46. ตรวจสอบความสกปรกของครีบล้างและท่อทำความเย็น	ครีบล้างและตันส่งผลให้อากาศไหลผ่านน้อยลง ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง และน้ำแข็งเกาะเร็วขึ้น	● จัดทำแผนทำความสะอาดตามความเหมาะสม

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
47. ตรวจวัดอุณหภูมิภายในพื้นที่ใช้งาน	อุณหภูมิในพื้นที่ใช้งานควรได้มาตรฐานถ้าต่ำกว่ามาตรฐานมากจะสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น	● ปรับตั้งอุณหภูมิใหม่ให้เหมาะสม
48. ตรวจสอบระยะเวลาการละลายน้ำแข็ง	ไม่ควรละลายน้ำแข็งบ่อยเกินไปเพราะสิ้นเปลืองพลังงาน	● เพิ่มความเร็วอากาศที่ผ่านท่อให้สูงขึ้น ● ใช้อุปกรณ์ลดความชื้นภายในห้องเย็น ● เปลี่ยนระบบละลายน้ำแข็งจากใช้ไฟฟ้าเป็นสารทำความเย็นร้อน ปรับตั้งระยะเวลาการละลายน้ำแข็งตามภาระการทำงานจริง
49. ตรวจสอบสภาพฉนวนท่อนและผนังห้องเย็น	ฉนวนท่อนและห้องเย็นต้องอยู่ในสภาพดีมีอุณหภูมิผิวใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ	● จัดทำแผนการตรวจตามความเหมาะสม
อื่น ๆ		
50. ตรวจสอบการรั่วของสารทำความเย็นในระบบเป็นประจำ	ปริมาณสารทำความเย็นในระบบลดลงส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น	● จัดทำแผนการตรวจและแก้ไข
51. ตรวจสอบห้องเย็นมีประตู 2 ชั้นหรือไม่	ห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำควรติดตั้งประตู 2 ชั้น เพื่อลดการสูญเสียความเย็นขณะเปิดประตู	● ติดตั้งประตู 2 ชั้น (Anti-Room)
52. ตรวจสอบประตูห้องเย็นควรมีม่านพลาสติกกัน	ประตูห้องเย็นทั้งหมดควรติดตั้งม่านพลาสติกกันเพื่อลดการสูญเสียความเย็นขณะเปิดประตู	● ติดตั้งม่านพลาสติกที่ประตูทั้งหมด
53. ตรวจสอบการติดสัญญาณเตือนการเปิดประตูทิ้งไว้	ควรติดสัญญาณเตือนการเปิดประตูทิ้งไว้เพื่อลดการสูญเสียความเย็น	● ติดตั้งสัญญาณการเปิดประตูห้องเย็นทิ้งไว้
54. ตรวจสอบการจัดวางสิ่งของที่แช่เย็น	จัดวางสิ่งของให้เป็นระบบเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศที่ดี	กำหนดวิธีการจัดวางสิ่งของในห้องเย็น
55. ตรวจสอบการใช้ห้องเย็นให้เต็มพิกัด	ต้นทุนการใช้พลังงานของห้องเย็นจะลดลงเมื่อใช้งานให้เต็มพิกัด	บริหารจัดการการใช้ห้องเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
56. ตรวจสอบการปิดไฟฟ้าแสง	ระบบแสงสว่างเป็นภาระของ	● ปิดแสงสว่างทุกครั้งเมื่อไม่มี

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
สว่างทุกครั้งเมื่อไม่มีการทำงานในห้องเย็น	ห้องเย็น	การทำงาน ● ลดการใช้แสงสว่างเท่าที่จำเป็น เพิ่มประสิทธิภาพระบบแสงสว่าง
57. ตรวจสอบการแยกระบบทำความเย็นเป็นหลายระดับ	ระบบทำความเย็นที่ทำอุณหภูมิต่ำจะมีสมรรถนะ (COP) ต่ำกว่าระบบทำความเย็นที่ทำอุณหภูมิสูงกว่า	แยกระบบทำความเย็นเป็นระบบอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำตามการใช้งาน

6.12 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์			เพราะ...
2. การลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนก่อนเข้าคอนเดนเซอร์			เพราะ...
3. การใช้งานเครื่องอัดชุดที่ประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ...
4. การใช้งานเครื่องทำความเย็นให้เต็มพิกัด			เพราะ...
5. การจัดวางผลิตภัณฑ์ให้กระจายความเย็นทั่วถึง			เพราะ...
6. การใช้ห้องเย็นให้เต็มพิกัด			เพราะ...
7. การเปลี่ยนตำแหน่งหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิในห้องเย็น			เพราะ...
8. การเลือกใช้งานกลุ่มเครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ...
9. การลดภาระความร้อนจากภายนอกให้ต่ำลง			เพราะ...
10. การปิดไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเย็นเมื่อไม่ใช้งาน			เพราะ...
11. การใช้งานเครื่องอัดในจำนวนที่เหมาะสมกับภาระ			เพราะ...
12. การลดการเดินเครื่อง Unload ของเครื่องอัด			เพราะ...
13. การลดขนาดมอเตอร์เครื่องอัดให้เหมาะสม			เพราะ...
14. การใช้เครื่องอัดประสิทธิภาพสูง			เพราะ...
15. การทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์			เพราะ...
16. การทำความสะอาด Evaporative Condenser			เพราะ...
17. การทำความสะอาดหัวฉีดของ Evaporative Condenser			เพราะ...
18. การติดตั้งหอยบายความร้อนลดอุณหภูมิน้ำของ Evaporative Condenser			เพราะ...
19. การเพิ่มขนาดคอนเดนเซอร์ให้ระบายความร้อนได้มากขึ้น			เพราะ...
20. การเปลี่ยนไปใช้หอยบายความร้อนประสิทธิภาพสูง			เพราะ...
21. การใช้เครื่องสูบน้ำประสิทธิภาพสูง			เพราะ...
22. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับเครื่องสูบน้ำ			เพราะ...
23. การเปลี่ยนจากระบบระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบายความร้อนด้วยน้ำ			เพราะ...
24. การเปลี่ยนระบบทำน้ำเย็นจากการใช้เครื่องทำน้ำเย็นเป็นเครื่องทำความเย็นที่มีอยู่			เพราะ...
25. การลดเวลาการละลายน้ำแข็งให้เหมาะสม			เพราะ...

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
26. การใช้งานหอบายความร้อนในจำนวนที่เหมาะสมโดยควบคุมจากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ได้			เพราะ...
27. การเลือกใช้งานหอบายความร้อนชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ...
28. การปรับปรุงและทำความสะอาดหอบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ			เพราะ...
29. การเปลี่ยนใบพัดหอบายความร้อนจากโลหะเป็นไฟเบอร์			เพราะ...
30. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับพัดลมหอบายความร้อน			เพราะ...
31. การเปลี่ยนหอบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น			เพราะ...
32. การปรับปรุงฉนวนหุ้มท่อเย็นเพื่อลดการสูญเสียความเย็น			เพราะ...
33. การติดตั้งม่านอากาศหรือม่านพลาสติกบริเวณทางเข้าออก			เพราะ...
34. การเลือกใช้งานเครื่องสูบน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก			เพราะ...
35. การเลือกใช้งานกลุ่มเครื่องสูบน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก			เพราะ...

6.13 โปรแกรมการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำเป็นโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้งานข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลตรวจวัดกรอกลงในช่องว่าง โปรแกรมจะคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานที่ถูกต้องได้ทันที

มาตรการที่ 1 การเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องอัดสารทำความเย็นชุดที่มีสมรรถนะต่ำ

1. หลักการและเหตุผล

โรงงานติดตั้งเครื่องอัดสารทำความเย็นเพื่อใช้ใน.....อุณหภูมิใช้งาน.....°C โดยมีเครื่องอัดจำนวน.....ชุด เครื่องอัดสารทำความเย็นแต่ละชุดมีสมรรถนะไม่เท่ากันเนื่องจากมีอายุการใช้งานมาก และมีการสึกหรอที่ต่างกันส่งผลให้ต้นทุนการทำความเย็นสูง จึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องอัดสารทำความเย็นชุดที่มีสมรรถนะต่ำ



รูปที่ 6.13-1 เครื่องอัดสารทำความเย็นชุดที่จะเปลี่ยน



รูปที่ 6.13-2 เครื่องอัดสารทำความเย็นชุดที่เปลี่ยนใหม่

2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค

2.1.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ

$$\text{COP} = \frac{\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด(kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้า evaporator(kJ/kg)}}{\text{เอนทาลปีออกจากเครื่องอัด(kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด(kJ/kg)}}$$

2.1.2 ร้อยละของสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น (%)

$$\% \text{COP} = \frac{(\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะใหม่} - \text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะเดิม})}{\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะเดิม}} \times 100$$

2.1.3 พลังไฟฟ้าที่ลดลง (kW)

$$\Delta \text{EL} = \text{พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดเดิมใช้ (kW)} - \text{พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใหม่ใช้ (kW)}$$

2.1.4 พลังงานไฟฟ้าของระบบลดลง

$$E_s = \text{พลังไฟฟ้าที่ลดลงทั้งหมด (kW)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน (h/y)} \times \text{ตัวประกอบการทำงาน}$$

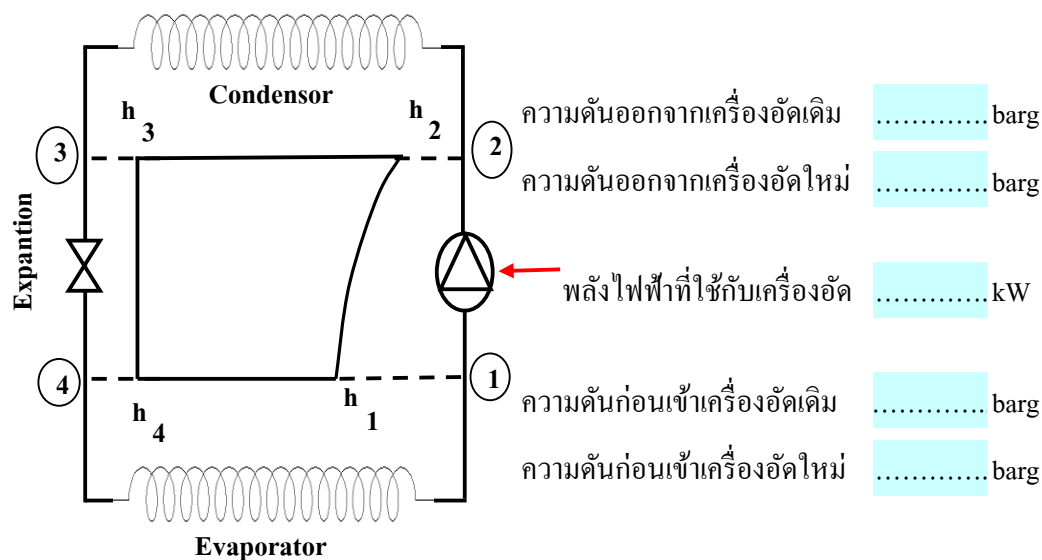
2.2 การวิเคราะห์การลงทุน

2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)

PB = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องอัด (฿) / ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (฿/y)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล			ที่มาของข้อมูล
			No1	No2	No3	
1. ข้อมูลเบื้องต้น						
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00	3.00	3.00	
1.2 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	4,000.00	4,000.00	4,000.00	
1.3 เอนทัลปีก่อนเข้าเครื่องอัด(เดิม)	h_1	kJ/kg	389.00	388.00	387.00	
1.4 เอนทัลปีก่อนเข้าเครื่องอัด(ใหม่)	h_{1N}	kJ/kg	390.00	389.00	388.00	
1.5 เอนทัลปีออกจากเครื่องอัด(เดิม)	h_2	kJ/kg	431.00	432.00	433.00	
1.6 เอนทัลปีออกจากเครื่องอัด(ใหม่)	h_{2N}	kJ/kg	430.00	431.00	432.00	
1.7 เอนทัลปีก่อนเข้า Evaporator (เดิม)	h_4	kJ/kg	200.00	200.00	200.00	
1.8 เอนทัลปีก่อนเข้า Evaporator (ใหม่)	h_{4N}	kJ/kg	200.00	200.00	200.00	
1.9 ตัวประกอบการทำงาน	OF	%	75.00	75.00	75.00	
1.10 เงินลงทุนในการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเครื่องอัดสารทำความเย็น	C_I	฿	20,000.00			

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล			ที่มาของข้อมูล
			No1	No2	No3	
2. ข้อมูลตรวจวัด						
2.1 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัด(เดิม)	EL _O	kW	20.00	20.50	21.00	
2.2 พลังไฟฟ้าเครื่องอัด(ใหม่)	EL _N	kW	19.50	20.00	20.50	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค						
3.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ(เดิม) $COP_O = (h_1 - h_4)/(h_2 - h_1)$	COP _O	-	4.50	4.27	4.07	
3.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ(ใหม่) $COP_N = (h_{1N} - h_{4N})/(h_{2N} - h_{1N})$	COP _N	-	4.75	4.50	4.27	
3.3 ร้อยละของสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น $\%COP = ((COP_N - COP_O)/COP_O) \times 100$	%COP	%	5.56	5.39	4.91	
3.4 พลังไฟฟ้าที่ลดลง $\Delta EL = EL_O - EL_N$	ΔEL	kW	0.50	0.50	0.50	
3.5 พลังไฟฟ้าของระบบลดลงรวม $\sum EL = \Delta EL_{No1} + \Delta EL_{No2} + \Delta EL_{No3}$	$\sum EL$	kW		1.50		
3.6 พลังงานไฟฟ้าของระบบลดลงรวม $E_S = \sum EL \times h \times OF$	E _S	kWh/y		4,500.00		
3.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $C_S = E_S \times C_E$	C _S	฿/y		13,500.00		
4. การวิเคราะห์การลงทุน						
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C_I / C_S$	PB	y		1.48		
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์						
5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E _S	kWh/y		4,500.00		
5.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง	C _S	฿/y		13,500.00		
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y		1.48		

มาตรการที่ 2 การลดความดันสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์	
1. หลักการและเหตุผล	
โรงงานติดตั้งเครื่องอัดสารทำความเย็นเพื่อใช้ใน.....อุณหภูมิใช้งาน..... °C โดยมีเครื่องอัด จำนวนชุด การที่ความดันสารทำความเย็นด้านสูง (High Pressure) เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เครื่องอัดใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น และประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง เนื่องจากเครื่องอัดจะต้องใช้กำลังมากขึ้นในการอัดสารทำความเย็น ดังนั้นการลดความดันสารทำความเย็น ด้านคอนเดนเซอร์ให้ต่ำลงจะส่งผลให้ค่า COP ของระบบสูงขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการทำความสะอาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ การเพิ่มปริมาณน้ำระบายความร้อน การเพิ่มประสิทธิภาพของห่อฉนวนโดยการทำความสะอาด การปรับการกระจายน้ำให้ดีขึ้น การเพิ่มปริมาณอากาศระบายความร้อน หรือการเปิดห่อฉนวนเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำที่เข้าระบายความร้อนคอนเดนเซอร์ลดต่ำลงเป็นต้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงระบบระบายความร้อนเพื่อลดความดันสารทำความเย็นด้านสูงให้ลดลงจาก.....barg เป็น.....barg	
	
รูปที่ 6.13-3 ความดันสารทำความเย็นด้านสูงเดิม	รูปที่ 6.13-4 ความดันสารทำความเย็นด้านสูงใหม่
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	
2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค	
2.1.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ	
$COP = \frac{[\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้า Evaporator (kJ/kg)}]}{[\text{เอนทาลปีออกจากเครื่องอัด (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ/kg)}]}$	
2.1.2 ร้อยละของสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น (%)	
$\%COP = \frac{[\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะใหม่} - \text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะเดิม}]}{[\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะเดิม}]} \times 100$	
2.1.3 อัตราการไหลของสารทำความเย็นทั้งระบบ (kg / sec)	
$M = \frac{[\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะเดิม} \times \text{พลังงานที่เครื่องอัดใช้เดิม (kW)}]}{[\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดเดิม (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้า Evaporator เดิม (kJ/kg)}]}$	
2.1.4 พลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัด (kW)	
$WCN = \text{อัตราการไหลของสารทำความเย็นทั้งระบบ (kg/sec)} \times [\text{เอนทาลปีที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)}]$	
2.1.5 ความสามารถในการทำความเย็น	
$QE = \text{อัตราการไหลของสารทำความเย็นทั้งระบบ (kg/sec)} \times [\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้า Evaporator (kJ/kg)}]$	

2.1.6 ค่า kW/TR

Chp = พลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัด (kW) / (ความสามารถในการทำความร้อน (kWth) / 3.517)

2.1.7 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง (kWh / y))

$$ES = (\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดเดิม(kW)} - [\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดใหม่(kW)} + \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับห่อฝังเย็นที่เปิดเพิ่ม(kW)}]) \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน(h/y)} \times \text{ตัวประกอบภาระงาน}$$

2.2 การวิเคราะห์การลงทุน

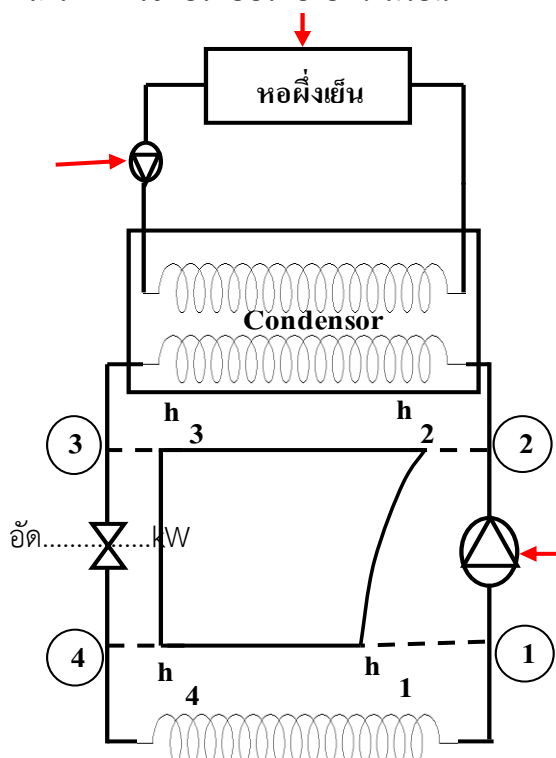
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)

PB = ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและปรับปรุงระบบ (฿) / ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (฿/ y)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า

พลังงานที่ใช้กับระบบระบายความร้อน kW



ความดันออกจากเครื่องอัดเต็ม.....barg

ความดันออกจากเครื่องอัดใหม่.....barg

พลังงานที่ใช้กับเครื่อง

ความดันก่อนเข้าเครื่องอัด..... barg

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00	
1.2 ชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี	h	h/y	4,000.00	
1.3 เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (เดิม)	h_1	kJ/kg	389.00	
1.4 เอนทาลปีก่อนเข้า Evaporator (เดิม)	h_4	kJ/kg	200.00	
1.5 เอนทาลปีออกจากเครื่องอัด (เดิม)	h_2	kJ/kg	430.00	
1.6 เอนทาลปีออกจากเครื่องอัด (ใหม่)	h_{2N}	kJ/kg	418.00	
เมื่ออุณหภูมิคอนเดนเซอร์ลด				
1.7 เอนทาลปีก่อนเข้า Evaporator (ใหม่)	h_{4N}	kJ/kg	190.00	
เมื่ออุณหภูมิคอนเดนเซอร์ลด				
1.8 ตัวประกอบการทำงาน	OF	%	75.00	
1.9 ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและปรับปรุงระบบ	C_I	฿	20,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้ (เดิม)	W_{CO}	kW	15.00	
2.2 พลังไฟฟ้าของห่อหุ้มเย็นที่เปิดเพิ่มขึ้น	E_{CT}	kW	2.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมทั้งระบบ(เดิม)	COP_O		4.61	
$COP_O = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$				
3.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ(ใหม่)	COP_N		6.86	
$COP_N = (h_1 - h_{4N}) / (h_{2N} - h_1)$				
3.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น	ΔCOP		2.25	
$\Delta COP = COP_N - COP_O$				
3.4 ร้อยละของสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น	%COP	%	48.81	
$\%COP = [(COP_N - COP_O) / COP_O] \times 100$				

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
3.5 อัตราการไหลของสารทำความเย็นทั้งระบบ $m = (COP_O \times W_{CO}) / (h_1 - h_4)$	kg/s	m	0.37	
3.6 พลังไฟฟ้าที่ใช้ใหม่หลังปรับเพิ่มความดัน $W_{CN} = m \times (h_{2N} - h_1)$	W_{CN}	kW	10.73	
3.7 ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น $\Delta QE = m \times (h_4 - h_{4N})$	ΔQE	kW_{th}	3.70	
3.8 ความสามารถในการทำความเย็น(ใหม่) $Q_{EN} = m \times (h_1 - h_{4N})$	Q_{EN}	kW_{th}	73.63	
3.9 ความสามารถในการทำความเย็น (เดิม) $Q_{EO} = m \times (h_1 - h_4)$	Q_{EO}	kW_{th}	69.93	
3.10 ค่า kW/TR (เดิม) $ChP_O = W_{CO} / (Q_{EO} / 3.517)$	ChP_O	kW/TR	0.75	
3.11 ค่า kW/TR (ใหม่) $ChP_N = W_{CN} / (Q_{EN} / 3.517)$	ChP_N	kW/TR	0.51	
3.13 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง $E_S = (W_{CO} - (W_{CN} + ECT)) \times h \times OF$	E_S	kWh/y	6,810.00	
3.14 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ $C_S = E_S \times C_E$	C_S	฿/y	20,430.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C_I / C_S$	PB	y	0.98	
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	kWh/y	6,810.00	
5.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง	C_S	฿/y	20,430.00	
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.98	

6.14 โรงผลิตน้ำแข็งซอง

ขนาดของโรงผลิตน้ำแข็งซอง นิยมเรียกเป็นตันน้ำแข็งต่อวัน การผลิตน้ำแข็งมีตัวแปร 2 ส่วนสำคัญ คือ

6.14.1 อุณหภูมิของน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง

โรงงานผลิตน้ำแข็งที่มีขนาดเท่ากันแต่โรงงานที่ผลิตน้ำแข็งโดยมีอุณหภูมิของน้ำดิบต่ำกว่าจะสามารถผลิตน้ำแข็งได้มากกว่าด้วย โดยความสำคัญของอุณหภูมิน้ำเป็นไปตามตาราง

ตารางที่ 6.14-1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำดิบและความสามารถในการผลิตน้ำแข็ง

อุณหภูมิน้ำดิบที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง (°C)	ความสามารถในการผลิตน้ำแข็ง (ตันต่อ 24 ชั่วโมง)	ร้อยละของความสามารถในการผลิตน้ำแข็งที่ทำได้
0	43.0	100
5	41.8	97
10	40.4	94
15	39.2	91
20	38.0	88
25	36.8	85
30	35.7	83
35	34.5	80

6.14.2 ความดันของน้ำยาที่ซูตระบายความร้อน

การระบายความร้อนที่ซูตระบายความร้อนเพื่อให้ น้ำยาควบแน่นเป็นของเหลวให้ได้เร็วที่สุดจะใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งน้อย นั่นหมายถึงจะสามารถผลิตน้ำแข็งได้มากขึ้นในแต่ละวัน

ตารางที่ 6.14-2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิซูตระบายความร้อนและอุณหภูมิ น้ำยา และร้อยละความสามารถในการทำ ความเย็น

อุณหภูมิของซูตระบายความร้อน (°C)	อุณหภูมิของน้ำยา (°C)			
	-10	-15	-20	-25
20	100	79	61	48
25	94	75	59	45
30	83	66	51	39
40	73	57	43	32

6.14.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งแต่ละชนิด

โรงงานน้ำแข็งแต่ละชนิดจะใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งแตกต่างกัน ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นแนวทางที่ใช้ในการเปรียบเทียบการผลิตน้ำแข็งแต่ละชนิด

ตารางที่ 6.14-3 ชนิดของน้ำแข็งและการใช้พลังงานไฟฟ้า

ชนิดของน้ำแข็ง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันน้ำแข็ง)
น้ำแข็งเกล็ด	0.15 - 0.20
น้ำแข็งหลอด	0.10 - 0.15
น้ำแข็งชิ้น	0.15 - 0.20
น้ำแข็งแผ่น	0.16 - 0.25
น้ำแข็งซอง	0.16 - 0.25

6.14.4 กรณีศึกษา การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง

กรณีศึกษานี้เป็นการพิจารณาการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานน้ำแข็งผลิตน้ำแข็งซองโรงผลิตน้ำแข็งซองเป็นโรงงานน้ำแข็งที่บริษัทผู้ผลิตจะออกแบบอุปกรณ์ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ลงทุน การผลิตน้ำแข็งของโรงงานน้ำแข็งประเภทนี้ให้มีประสิทธิภาพและอนุรักษ์พลังงานโดยคำนึงถึงต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมมีแนวทางและข้อแนะนำดังต่อไปนี้

แนวทางและข้อแนะนำในการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง
1. การลดความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนให้มีอุณหภูมิต่ำสุด เครื่องทำน้ำแข็งของระบบกำลังการผลิตน้ำแข็งในหน่วยตันน้ำแข็งต่อวัน (ตันต่อ 24 ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิน้ำดิบเดียวกัน หากความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูง ระยะเวลาในการผลิตน้ำแข็งจะเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน หากความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนมีอุณหภูมิต่ำหรือน้ำยาควบแน่นได้เร็ว ระยะเวลาในการผลิตน้ำแข็งก็จะน้อยลง ดังนั้น การผลิตน้ำแข็งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำจึงจะต้องคำนึงถึงความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อน โดยจะต้องควบคุมความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนให้ต่ำที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ ตารางที่ 6.14-2 ได้เปรียบเทียบให้เห็นถึงอุณหภูมิน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนต่างๆ กัน ที่ทำให้ร้อยละของการผลิตน้ำแข็งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง โดยหากอุณหภูมิของน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนยิ่งสูง ร้อยละของการผลิตของน้ำแข็งจะลดลง
มาตรการที่ 1 ที่อุณหภูมิน้ำยาของชุดระบายความร้อน 40°C (เป็นอุณหภูมิที่ใช้กันโดยทั่วไป) และอุณหภูมิน้ำยาที่ชุดอีแวพอเรเตอร์ (อุณหภูมิน้ำยา) -10 °C ผลผลิตของน้ำแข็งจะผลิตได้เพียงร้อยละ 73 เมื่อเทียบกับอุณหภูมิน้ำยาของชุดระบายความร้อนที่ 20°C ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 27 ที่ผลิตน้ำแข็งเท่ากัน (หรือเท่ากับ 0.20 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันน้ำแข็งซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่โรงงานผู้ผลิตออกแบบไว้) ดังนั้น หากสามารถควบคุมให้ความดันน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนทำงานที่อุณหภูมิ 35°C โดยหมั่นทำความสะอาดรีบายความร้อนต่างๆ ที่ชุดระบายความร้อน จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 78 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6-8 และการใช้พลังงานไฟฟ้าจะลดลงร้อยละ 4

2. การทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
ในการผลิตน้ำแข็ง นอกจากต้องทำให้อุณหภูมิน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนต่ำแล้ว การทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอก็สามารถเพิ่มการผลิตน้ำแข็งและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ความถี่ในการล้างทำความสะอาดชุดระบายความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ตั้งโรงงานน้ำแข็ง และระบบที่ใช้ในการระบายความร้อน โดยทั่วไป หากใช้ชุดระบายความร้อนด้วยอากาศ และตั้งอยู่บริเวณชุมชนที่มีฝุ่นละอองไม่มาก ควรล้างทำความสะอาดชุดระบายความร้อนทุกๆ 1 เดือน ในขณะที่ใช้ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำก็อาจล้างทำความสะอาดชุดระบายความร้อนทุกๆ 6 เดือน โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำยาที่ชุดระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นทุก 1°C จะทำให้เครื่องอัดน้ำยาใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 4-6
มาตรการที่ 2
เครื่องอัดน้ำยาไปยังชุดระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เมื่อล้างทำความสะอาดชุดระบายความร้อนทำให้อุณหภูมิน้ำยาลดลง 3°C การใช้พลังงานของเครื่องอัดน้ำยาจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงร้อยละ 12-18
3. การเพิ่มความดันน้ำยาที่ถึงน้ำเกลือให้สูงสุดสำหรับการผลิตน้ำแข็ง
การผลิตน้ำแข็งผู้ประกอบการควรคำนึงถึงอุณหภูมิน้ำยาที่ต่ำที่สุดที่ทำให้น้ำดิบควบแน่นเป็นน้ำแข็ง โดยทั่วไปน้ำจะควบแน่นเป็นน้ำแข็งที่ 0°C โดยอุณหภูมิน้ำยาที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ประมาณ -10°C ถึง -15°C ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำควบแน่นในเวลาที่เร็วขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า
มาตรการที่ 3
ที่อุณหภูมิน้ำยาของชุดระบายความร้อน 30°C และอุณหภูมิน้ำยา -10°C ในการผลิตน้ำแข็งร้อยละของการผลิตจะลดลงร้อยละ 83 เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิน้ำยา 20°C ดังนั้น การผลิตน้ำแข็งจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 ส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.18 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันน้ำแข็ง
4. การลดอุณหภูมิของน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง
น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง บางโรงงานใช้น้ำประปา (ซึ่งจะมีต้นทุนในการผลิตน้ำแข็งสูงแต่จะผลิตน้ำแข็งที่มีคุณภาพ) จะต้องควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เพื่อให้เป็นน้ำเป็นน้ำแข็งในระยะเวลาที่สั้นที่สุด การลดอุณหภูมิน้ำสามารถทำได้โดยนำน้ำแข็งที่ละลายในกระบวนการผลิตมาแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะนำน้ำดิบไปผลิตน้ำแข็ง น้ำดิบที่มีอุณหภูมิต่ำจะควบแน่นเป็นน้ำแข็งได้เร็วกว่าน้ำดิบที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้เครื่องอัดน้ำยาใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำลงด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.2
มาตรการที่ 4
อุณหภูมิ น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งมีอุณหภูมิ 30°C จะมีกำลังการผลิตน้ำแข็งลดลงเป็น 35.7 ตันต่อ 24 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับน้ำดิบที่อุณหภูมิ 0°C หากเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทำน้ำแข็งของจะพบว่าจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 0.19 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันน้ำแข็ง หากโรงงานผลิตน้ำแข็งสามารถลดอุณหภูมิให้เหลือ 20°C กำลังการผลิตน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเป็น 38 ตันต่อ 24 ชั่วโมง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 6-7) ขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้ายังคงใช้เท่าเดิม

6.15 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาถือเป็นต้นแบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานที่โรงงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมต่อไป

กรณีศึกษาที่ 1: การลดเวลาการเปิดระบบทำความเย็น

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการอาหารทะเลแช่แข็ง มีการใช้ระบบทำความเย็นเพื่อให้ความเย็นกับห้องเย็น 365 วัน/ปี โดยปิดในช่วงเวลาประมาณ 03.00- 08.00 น. ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 303 kW

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การเปิดใช้งานระบบทำความเย็นนานเกินไปจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปการแช่เย็นสินค้าให้ได้อุณหภูมิตามที่ลูกค้ากำหนดจะต้องเดินระบบทำความเย็นในปริมาณและเวลาตามปริมาณสินค้าที่อยู่ในห้องเย็นจะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานได้

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการหยุดเดินให้เร็วขึ้นกว่าเดิมเมื่อปริมาณสินค้าน้อยและได้อุณหภูมิตามที่กำหนดแล้ว จากการทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานและสำรวจพบว่าสามารถปิดห้องเย็นได้ตั้งแต่เวลา 02.00น. และเปิดอีกครั้งเวลา 08.00น. ซึ่งสามารถลดเวลาการใช้งานระบบทำความเย็นได้อีกวันละ 1 ชั่วโมงต่อวัน



รูปที่ 6.15-1 ระบบทำความเย็น



รูปที่ 6.15-2 ห้องเย็น

4. สภาพก่อนปรับปรุง

ปิดระบบทำความเย็นตั้งแต่เวลา 03.00- 08.00 น.

5. สภาพหลังปรับปรุง

ปิดระบบทำความเย็นตั้งแต่เวลา 02.00- 08.00 น. พบว่าระดับความเย็นภายในห้องเย็นสามารถรักษาอุณหภูมิของสินค้าได้ตามกำหนด โดยปกติจะมีช่างไฟฟ้าเก็บข้อมูลอุณหภูมิของห้องเย็นทุก 1 ชั่วโมง หลังจากทำการตรวจพบว่าไม่มีปัญหาในกระบวนการแช่เย็น ห้องเย็นสามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 6.15-3 การตรวจวัดระบบทำความเย็น

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

พลังไฟฟารวมของระบบทำความเย็น	=	303	kW
จำนวนชั่วโมงที่สามารถเปิดได้ต่อวัน	=	1	ชม./วัน
วันทำงานทั้งปี	=	365	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงาน	=	2.95	บาท/kWh
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	=	$303 \times 1 \times 365$	
	=	110,595	kWh/ปี
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	$110,595 \times 2.95$	
	=	326,255.25	บาท/ปี

7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	ดำเนินการเอง	บาท
ประหยัดค่าไฟฟ้า	=	326,255.25	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 2 : การปิดพัดลม Condenser No.2 ในช่วงที่ไม่มีกร Freeze**1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน**

สถานประกอบการอาหารทะเลแช่แข็ง มีการใช้ระบบทำความเย็นเพื่อให้ความเย็นกับห้องเย็น 365วัน/ปี โดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก ในการทำงานของระบบทำความเย็น จะมีช่วง Freeze และช่วงรักษาอุณหภูมิห้อง โดยมีการเปิดพัดลมระบายความร้อนเต็มที่ตลอดเวลา ในขณะที่ภาระการทำความเย็นลดลง

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ในช่วงรักษาอุณหภูมิของห้องเย็น สถานประกอบการจะทำการลดจำนวนการเดิน Compressor ลงแต่ไม่ได้ลดจำนวนพัดลมระบายความร้อนของระบบลง ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการขับชุดพัดลมระบายความร้อน



รูปที่ 6.15-4 ชุดพัดลมระบายความร้อนของระบบทำความเย็น No.1



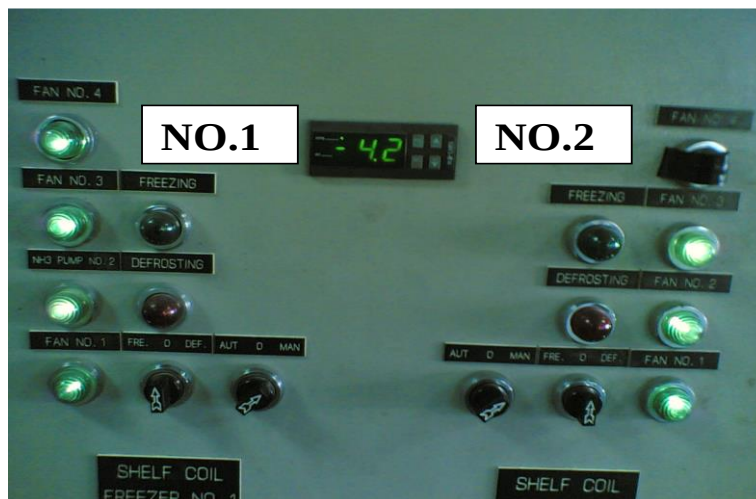
รูปที่ 6.15-5 ชุดพัดลมระบายความร้อนของระบบทำความเย็น No.2

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปิดพัดลม Condenser No.2 ในช่วงที่ไม่มีกร Freeze โดยให้ผู้ควบคุมทำการตรวจสอบความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็น ที่ออกจาก Condenser ตลอดเวลา

4. สภาพก่อนปรับปรุง

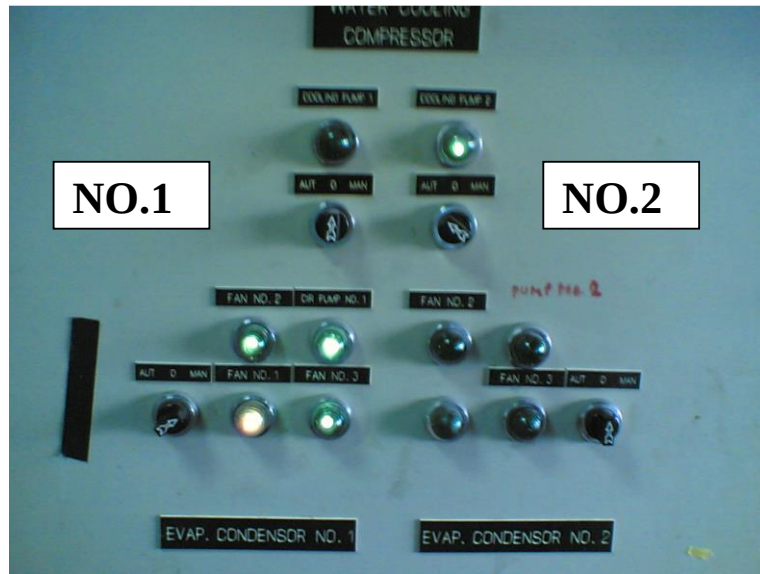
เปิดพัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ชุด ตลอดเวลา โดยพัดลม No.1 ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 12 kW พัดลมระบายความร้อน No.2 ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 8 kW



รูปที่ 6.15-6 การเปิดชุดพัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ชุด

5. สภาพหลังปรับปรุง

ทำการปิดพัดลม Condenser No.2 ในช่วงที่ไม่มีกร Freeze ตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 16.00 น. ซึ่งสามารถลดเวลาการใช้งานของพัดลม No.2 ได้ 8 ชั่วโมง/วัน โดยหลังปรับปรุงพบว่าห้องเย็นสามารถทำงานได้ตามปกติและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบทำความเย็น



รูปที่ 6.15-7 ทำการปิดพัดลม No.2

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

พลังงานของชุดพัดลม No.2	=	8	kW
จำนวนชั่วโมงที่สามารถปิดได้ต่อวัน	=	8	ชม./วัน
วันทำงานทั้งปี	=	365	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงาน	=	2.95	บาท/kWh
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	=	$8 \times 8 \times 365$	
	=	23,360	kWh/ปี
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	$23,360 \times 2.95$	
	=	68,912	บาท/ปี

7.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	ดำเนินการเอง	บาท
ประหยัดค่าไฟฟ้า	=	68,912	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 3 : การลดการเปิด Compressor ห้องเย็นในตอนกลางคืน

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงาน มีห้องเย็น 4 ห้อง ประกอบด้วยห้องใหญ่ 2 ห้อง และห้องเล็ก 3 ห้อง จากการสำรวจ พบว่าในส่วน ของห้องใหญ่ซึ่งมี Compressor 2 ชุดต่อห้อง สามารถที่จะปิด Compressor ได้ 1 ชุด ต่อห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในช่วงเวลากลางคืนได้ เนื่องจากยังมี การสะสมความเย็นอยู่และจัดเวลาละลายน้ำแข็งใหม่เพื่อเป็น การประหยัดพลังงานและเป็นการหลบ Peak Demand

ข้อมูลการสำรวจก่อนปรับปรุง

- ควบคุมอุณหภูมิที่ -18 องศา Set Point – 25 องศา
- อุณหภูมิต่ำสุดของการละลายน้ำแข็ง 8 องศา
- ค่าความไวในการตัดต่อ 4 องศา
- เวลาในการละลายน้ำแข็ง 30 นาที
- ระยะห่างของรอบการละลายน้ำแข็ง 4 ชั่วโมง
- กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (จากการตรวจวัดจริง) = 18.3 kW
- วันทำงาน 365 วันต่อปี



รูปที่ 6.15-8 COMPRESSOR ชุดที่ 1 ของห้องเย็นก่อนการปรับปรุงมีการเดินเครื่องตลอดเวลา

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ในช่วงเวลา 18.30 น. – 21.30 น. เป็นช่วง Peak ส่งผลให้เสียค่า Demand Chart มาก

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

หยุดการทำงานของCOMPRESSOR ห้องเย็นใหญ่สองห้อง ห้องละ 1 ชุด หลังจากมีการปรับปรุงสามารถประหยัดพลังงานจากการปิดCompressor จำนวน 2) ชุดนี้ ทั้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้า kWh) และค่า PEAK DEMAND

4. สภาพหลังปรับปรุง

มีการหยุดเดินเครื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในช่วง PEAK (18.30น.-21.30น.)

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ทำการปิด Compressor ห้องใหญ่ 2 ชุดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ก่อนปรับปรุง

- ควบคุมอุณหภูมิที่ -18 องศา ตั้งอุณหภูมิที่ - 25 องศา
- อุณหภูมิต่ำสุดของการละลายน้ำแข็ง 8 องศา
- ค่าความไวในการตัดต่อ 4 องศา
- เวลาในการละลายน้ำแข็ง 30 นาที
- ระยะห่างของรอบการละลายน้ำแข็ง 4 ชั่วโมง
- กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (จากการตรวจวัดจริง) = 18.3 kW

หลังปรับปรุง

ทดลองหยุดระบบ หยุดทำงาน Compressor ชด เวลา 18.30- 21.00 น

- ควบคุมอุณหภูมิที่ -18 องศา ตั้งอุณหภูมิที่ - องศา 22
- อุณหภูมิต่ำสุดของการละลายน้ำแข็ง องศา 8
- ค่าความไวในการตัดต่อ องศา 3
- เวลาในการละลายน้ำแข็ง นาที 30
- ระยะห่างของรอบการละลายน้ำแข็ง ชั่วโมง 4
- กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (จากการตรวจวัดจริง)= 16.57 kW

จำนวน 2 ชด จำนวนชั่วโมงที่ปิด 3 ชั่วโมงต่อวัน วันทำงาน 365 วันต่อปี

ดังนั้นพลังงานที่ลดได้ = (กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง – กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง) (kW)
x จำนวน Compressor x ชั่วโมงต่อวัน x วันต่อปี

= (18.3 - 16.57) x 2 x 3 x 365

= 3,788.70 kWh/ปี

ราคากำลังไฟฟ้า = 1.7034 บาท/kWh

คิดเป็นเงินที่ประหยัด = 3,788.70 x 1.7034 บาทปี/

= 6,453.67 บาทปี/

หรือเท่ากับ = 0.00032 ktoe

ราคากำลังไฟฟ้า = 285.06 บาท/kW

On Peak

คิดเป็นเงินที่ประหยัด = (18.30 - 16.57) x 285.06 x 12 x 2

= 11,835.69 บาทปี/

เงินที่ประหยัดได้ = 18,289.36 บาท/ปี

พลังงานที่ประหยัดได้ = 3,788.70 kWh/ปี

6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน = ดำเนินการเอง บาท

ประหยัดค่าไฟฟ้า = 18,289.36 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 4: การติดตั้ง Cooling Pad ที่เครื่องทำความเย็น**1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน**

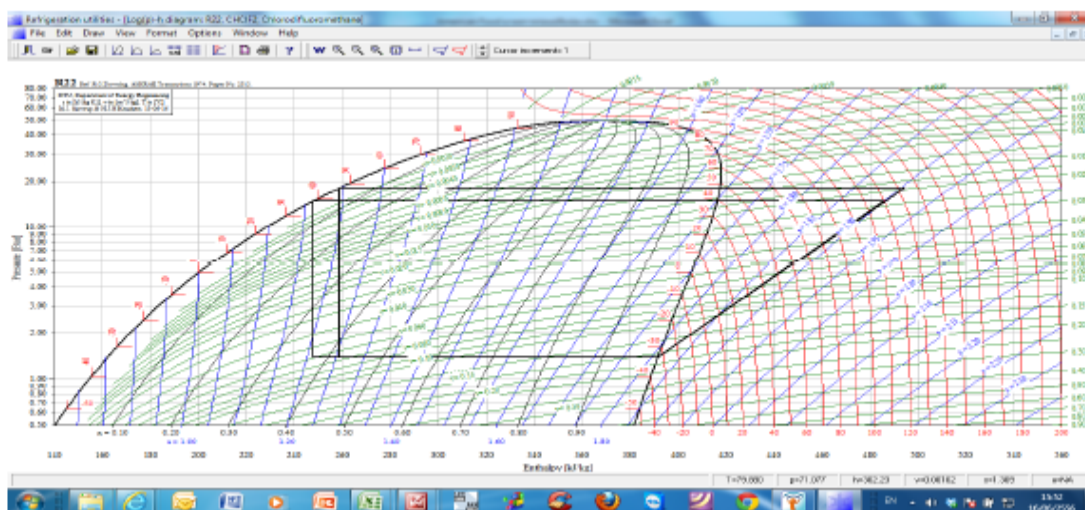
โรงงานมีเครื่องทำความเย็นขนาด 30 แรงม้า จำนวน 4 เครื่อง ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี ที่ Set Point -25 °C



รูปที่ 6.15-9 เครื่องทำความเย็นและการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่าอุณหภูมิระบายความร้อนที่เข้าคอนเดนเซอร์ค่อนข้างสูง ทำให้เครื่องทำความเย็นมีประสิทธิภาพต่ำและใช้พลังงานสูง



รูปที่ 6.15-10 P-H Diagram

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ปรับปรุงโดยการติดตั้ง Cooling Pad ที่ด้านลมเข้าคอนเดนเซอร์ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศที่เข้าไประบายความร้อนให้คอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้น

- สั่งซื้อ Cooling Pad จาก Supplier
- ติดตั้ง Cooling Pad
- ทำการวัดประสิทธิภาพ



รูปที่ 6.15-11 การตรวจวัดอุณหภูมิเข้าและออกจาก Cooling Pad



รูปที่ 6.15-12 การตรวจวัดอุณหภูมิและแรงดันสารทำความเย็น

4. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

4.1 การตรวจวัดวิเคราะห์ก่อนการปรับปรุง

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	Comp#2	แหล่งที่มา
พิกัดมอเตอร์	kW	P_{rate}	22.5	การสำรวจ
Set Point	oC	T	-25	การสำรวจ
จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน	Hr/day	hr	24	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงานต่อปี	day/year	day	365	ข้อมูลโรงงาน
%การทำงานของ Compressor	%	U	90	ข้อมูลโรงงาน
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	baht/kWh	C_E	3.69	ข้อมูลโรงงาน
ข้อมูลก่อนปรับปรุง				
อุณหภูมิอากาศภายนอก	oC	AT	35.30	การตรวจวัด
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยด้านเข้า Condenser	oC	T_{in}	38.05	การตรวจวัด
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศด้านเข้า Condenser	%	RH	38.65	การตรวจวัด
อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศด้านเข้า Condenser	oC	T_{wet}	26.30	Psychometric Chart
Refrigerant Low Temperature	oC	T_{l2}	-35.00	การตรวจวัด
Refrigerant High Temperature	oC	T_{h2}	48.00	การตรวจวัด
COP	-	COP_{isen}	1.27	Program Refrigeration Utilitoes (Isentropic efficiency = 0.65)
กำลังไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง	kW	kW_{isen}	21.8	การตรวจวัด
พลังงานไฟฟ้าก่อนการปรับปรุง $(kWh_{isen}) = kW_{isen} \times hr \times day \times U / 100$	kWh/ year	kWh_{isen}	171,871.20	คำนวณ

4.2 การตรวจวัดวิเคราะห์หลังการปรับปรุง

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	Comp#2	แหล่งที่มา
ข้อมูลหลังปรับปรุง				
อุณหภูมิอากาศภายนอก	oC	AT	34.10	การตรวจวัด
อุณหภูมิอากาศด้านก่อนเข้า Cooling Pad	oC	T _{in}	32.40	การตรวจวัด
อุณหภูมิอากาศด้านออกจาก Cooling Pad	oC	T _{out}	27.70	การตรวจวัด
Refrigerant Low Temperature	oC	T _{l2}	-37.50	การตรวจวัด
Refrigerant High Temperature	oC	T _{h2}	38.00	การตรวจวัด
COP	-	COP _{พรี}	1.45	Program Refrigeration Utilites (Isentropic efficiency = 0.65)
พลังงานไฟฟ้าหลังการปรับปรุง $(kWh_{\text{พรี}}) = kWh_{\text{ก่อน}} \times COP_{\text{ก่อน}} / COP_{\text{พรี}}$	kWh/ year	kWh _{พรี}	150,535.46	คำนวณ
ผลการประหยัด				
Safety Factor	%	SF	80	ค่าที่กำหนด
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $(kWh_{\text{ลดลง}}) = (kWh_{\text{ก่อน}} - kWh_{\text{พรี}}) / 100$	kWh/ year	kWh _{ลดลง}	17,068.59	คำนวณ
คิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้	baht/year	C _s	62,983.09	คำนวณ
ผลตอบแทนการลงทุน				
เงินลงทุนรวม	บาท	I _{total}	35,000	ราคาประเมิน
ระยะเวลาคืนทุน	year	PB	0.56	คำนวณ

กรณีศึกษาที่ 5 : ลดการใช้งานเครื่องทำความเย็นห้องเย็นช่วง Peak Load

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ห้องเย็นของโรงงานใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 90 kW จำนวน 2 เครื่อง โดยจะเปิดเครื่องทำความเย็นทั้ง 2 เครื่องเมื่อห้องเย็นมีการเพิ่มขึ้น

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เดิมพนักงานจะทำการเปิดเครื่องทำความเย็นพร้อมกัน เมื่อได้รับแจ้งว่าจะมีการนำสินค้าเข้าห้องเย็น โดยไม่ได้พิจารณาดูว่าภาระของสินค้านั้น มากเกินความสามารถของเครื่องทำความเย็นเครื่องเดียวหรือไม่ ดังนั้นในบางช่วงเวลามีการเดินเครื่องทำความเย็นเกินกว่าภาระของห้องเย็น ทำให้เครื่องทำงานที่ประสิทธิภาพต่ำและสิ้นเปลืองพลังงาน



รูปที่ 6.15-13 เครื่องทำความเย็น

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน		
ปิดเครื่องทำความเย็น 1 เครื่องเมื่อภาระต่ำ		
4. สภาพหลังปรับปรุง		
ลดเวลาทำงานของเครื่องทำความเย็นลงได้เฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวัน ในระยะเวลา 5 เดือน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการผลิตน้อย		
5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค		
ขนาดเครื่องทำความเย็น	90	kW
ภาระที่ควรหยุดเครื่องทำความเย็น	30%	
ชั่วโมงทำงานที่ลดลงได้	6	hr/day
วันทำงานต่อปี	150	day/year
ชั่วโมงทำงานที่ลดลงได้ต่อปี	900	hr/year
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	$90 \times 0.3 \times 900$	kWh/year
	24,300	kWh/year
	87,480	MJ/year
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	2.95	Baht/kWh
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	71,685.00	Baht/year
กรณีศึกษาที่ 6 : การปรับปรุงการระบายอากาศที่คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ		
1.ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน		
บริษัทผลิตอาหารแปรรูป (กุ้ง ปลา) มีการใช้เครื่องปรับอากาศจำนวน 4 ชุด เพื่อใช้ปรับอากาศในอาคารผลิต ห้อง Packing Room และ ห้อง Mixing Room		
2.ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง		
อุณหภูมิอากาศเข้าระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นลดต่ำลง		
 		
รูปที่6.15-14 อุณหภูมิอากาศออกจากคอนเดนเซอร์ก่อนปรับปรุง 47.3 °C ความชื้นที่ 32 %		
3.แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน		
ติดตั้งชุดระบายความร้อน (Cooling Pack) เข้ากับ Condenser ด้านหลัง Coil ร้อน โดยมีน้ำเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิของอากาศก่อนผ่านเข้าไปใน Condenser		

4.สภาพหลังปรับปรุง

การระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิอากาศที่ออกจากคอนเดนเซอร์ลดลง ส่งผล Compressor ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงและได้ความเย็นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6.15-15 อุณหภูมิอากาศที่ออกจาก Condenser ลดลงเป็น 40.9 °C ความชื้นที่ 47 %

5.การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากการตรวจวัดและเก็บข้อมูล พบว่า

ก่อนปรับปรุง Condenser ใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชุด เท่ากับ 39 A
 หลังปรับปรุง Condenser ใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชุด เท่ากับ 32 A

การคำนวณ

$$\text{พลังไฟฟ้า (P)} = \frac{\sqrt{3}IV \cos \theta}{1,000}$$

$$P_{\text{ก่อนปรับปรุง}} = \frac{\sqrt{3} \times 39 \times 380 \times 0.9}{1,000} = 23.10 \text{ kW}$$

$$P_{\text{หลังปรับปรุง}} = \frac{\sqrt{3} \times 32 \times 380 \times 0.9}{1,000} = 18.96 \text{ kW}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = kW ที่ประหยัด x ชม.การทำงาน x วันทำงาน x เปอร์เซนต์การใช้งาน

$$= [4 \times (23.10 - 18.96)] \times 24 \times 300 \times 0.8 \text{ kWh / ปี}$$

$$= 95,386 \text{ kWh / ปี}$$

$$\text{คิดเป็น} = 95,386 \times 2.82 \text{ บาท / ปี}$$

$$= 268,989 \text{ บาท / ปี}$$

6.การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ซื้อชุด Cooling Pack ราคาชุดละ 15,000 บาท จำนวน 4 ชุด รวมเป็นเงิน 60,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 0.223 ปี

สรุปเนื้อหาวิชา

1. การทำความเย็น คือ
กระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศเพื่อรักษาให้อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก โดยทั่วไปจะเป็นการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C หรือต่ำกว่า) เช่น การแช่เย็นอาหารในตู้เย็น การแช่แข็งอาหารสดในตู้แช่แข็งหรือห้องเย็นในโรงงานแปรรูปอาหารหรือห้างสรรพสินค้า หรือการผลิตน้ำแข็งในโรงงานน้ำแข็ง เป็นต้น
2. กระบวนการทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นอาจจำแนกได้เป็น 2 แบบ
ก) การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cooling) - แบบขั้นเดียว (Single stage) - แบบหลายขั้น (Multi stage) ข) การทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Cooling)
3. ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ
เป็นระบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว ได้แก่ เครื่องระเหย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และวาล์วลดความดัน ซึ่งมีกระบวนการทำงานเช่นเดียวกับในระบบปรับอากาศ
4. ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม
เป็นระบบที่ใช้ความร้อนเป็นแหล่งพลังงาน ถึงแม้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่ในกรณีที่โรงงานมีความร้อนซึ่งเหลือทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนทิ้งเหล่านั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทำความเย็นได้ ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) คอนเดนเซอร์หรือคอยล์ร้อน (Condenser) เครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น (Evaporator) เครื่องดูดซึม (Absorber) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ส่วนสารทำงานจะเป็นลักษณะของสารคู่ผสมระหว่างสารทำความเย็น (เช่น น้ำ) และสารดูดซึม (เช่น สารลิเทียมโบรไมด์, LiBr)
5. การทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ
การทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไวัฏจักรเดียวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยระบบทำความเย็นแบบหลายขั้น (Multistage compression with intercooler) และระบบทำความเย็นแบบหลั่น (Cascade refrigeration system)
6. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP)
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความร้อนที่ทำได้) ต่อพลังงานที่ระบบใช้

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

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

หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหยได้ สมรรถนะของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น

7. การแช่เย็นสินค้าหรือผลิตภัณฑ์มีอยู่ 4 ลักษณะ

- การแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Blast Freezing)
- การแช่แข็งแบบการสัมผัส (Contact Freezing)
- การแช่แข็งโดยใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Freezing)
- การแช่แข็งแบบใช้สารแช่แข็งอุณหภูมิต่ำร่วมกับการแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Cryomechanical Freezing)

8. แหล่งความร้อนของระบบทำความเย็นประกอบด้วย 4 ด้าน

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

ภาระความร้อนต่างๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากการทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

9. มาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่

- การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์
- การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของเครื่องระเหย
- การทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
- การลดภาระทำความเย็นของระบบทำความเย็น

เอกสารอ้างอิง
[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2549), คู่มือประกอบการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (อุตสาหกรรมโรงน้ำแข็ง) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง
[4] ศุภชัย ปัญญาวิธี และ จตุพร สถากุลเจริญ,การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น),กรุงเทพฯ,2549
[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2554), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ
[6] http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/caution.htm บทเรียนจำลองสถานการณ์ ออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต วิชา การทำความเย็น ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด, ภาควิชาครุศาสตร์ เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2552)
[7] ศรีทธา อารณรัตน์, ทฤษฎีระบบเครื่องทำความเย็น, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2557