บทที่ 3

ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

กระบวนการผลิตต้องอาศัยพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมากในการปฏิบัติงาน และระบบทำความเย็นมีความสำคัญในการช่วยลดอุณหภูมิให้หน่วยที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิเหล่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถให้ความร้อนแก่บางกระบวนการได้ด้วย โรงงานโอเลฟินส์มีระบบทำความเย็น 2 ระบบได้แก่ ระบบทำความเย็นด้วยเอธิลีนเป็นระบบแบบเปิด และระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเป็นระบบแบบปิด ทั้ง 2 ระบบทำหน้าที่ให้ความเย็นในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยระบบทำความเย็นด้วยเอธิลีนให้ความเย็นที่ -101°C, -83°C และ -66°C ส่วนระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนให้ความเย็นที่ -40°C, -21°C, -7°C และ 7°C ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบทำความเย็นด้วย โพรพิลีน ดังนั้นบทนี้จะอธิบายกระบวนการผลิตโอเลฟินส์ ซึ่งเป็นที่มาของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ และระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนของโรงงานไทยโอเลฟินส์ รวมทั้งทฤษฎีเกี่ยวกับการทำความเย็น การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ ทำให้มีความเข้าใจในระบบ และความสามารถของอุปกรณ์ เพื่อจะได้เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการ และออปติไมซ์ในขั้นถัดไป สำหรับการสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนได้แสดงในบทถัดไป

3.1 การผลิตโอเลฟินส์

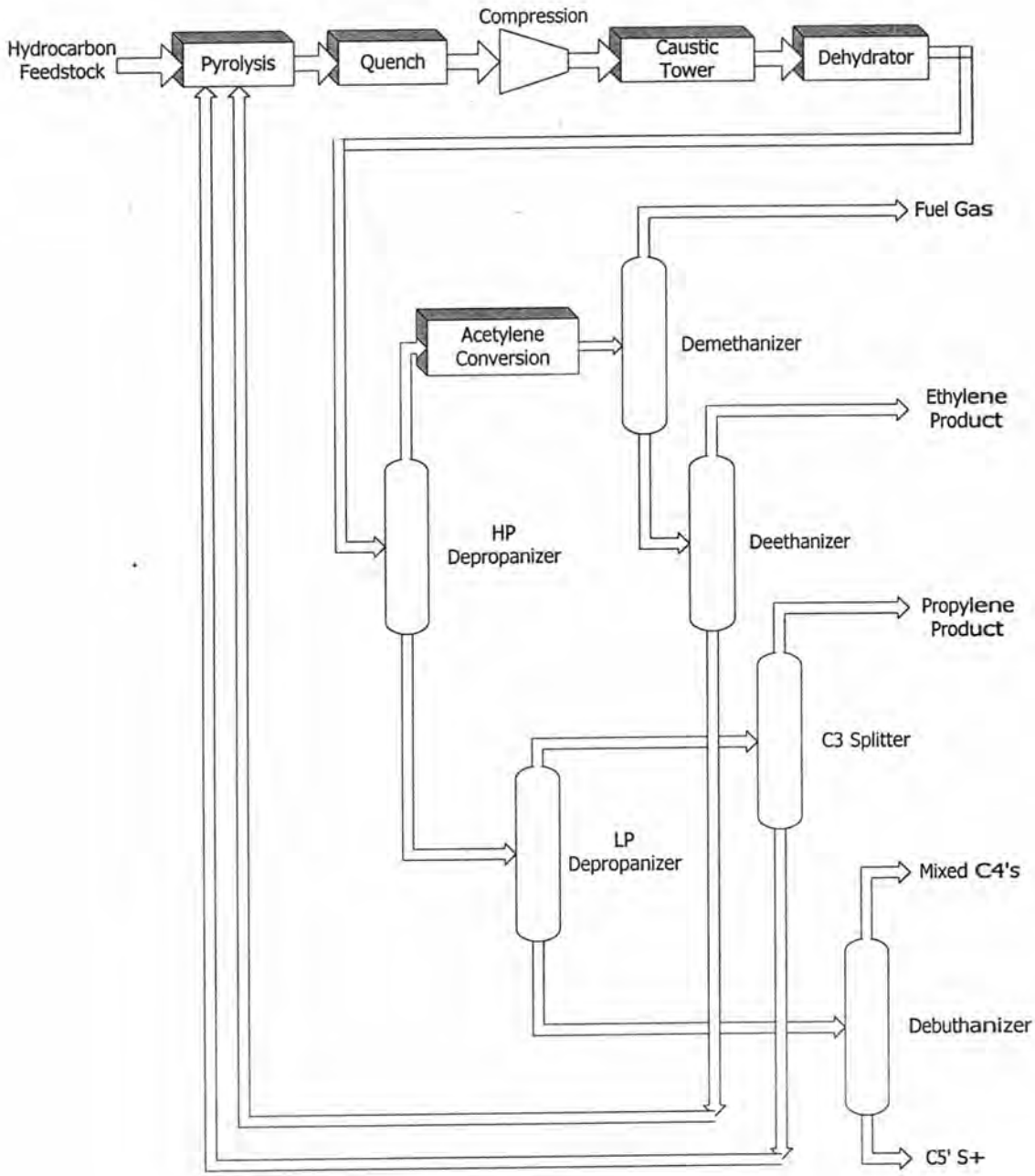
โพรพิลีน (Propylene, C3) ที่ใช้เป็นสารทำความเย็นของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนได้จากกระบวนการผลิตโอเลฟินส์ของโรงงานนั้นเอง ซึ่งในกระบวนการผลิตโอเลฟินส์นี้มีผลิตภัณฑ์หลักคือเอธิลีน (Ethylene) และโพรพิลีน นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สำคัญได้แก่ มิกซ์ซี 4 (Mixed C4) ไพรอไลซิสแกสโซลีน (Pyrolysis Gasoline) รวมทั้งยังมีผลิตภัณฑ์พลอยได้อื่นๆ อีกได้แก่ แครกเกอร์บอททอม (Cracker Bottom) เทลแกส (Tail Gas) และไฮโดรเจน (Hydrogen)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโอเลฟินส์ สามารถเลือกใช้ได้หลายชนิดได้แก่ แนพทา (Naphtha) แรฟฟินเนท (Raffinate) แกสโซลีนธรรมชาติ (Natural Gas Liquid; NGL) แกสปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas; LPG) เริ่มจากป้อนวัตถุดิบสู่ระบบเตาแครกกิ้ง (Cracking Furnace System) เพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบให้กลายเป็นโอเลฟินส์ โดยกระบวนการเทอร์มอลแครกกิ้ง (Thermal

Cracking) หรือ กระบวนการไพรอไลซิส (Pyrolysis) จากนั้นลดอุณหภูมิของแครกแกส (Cracked Gas) ในระบบเควนช์ (Quench System) เพื่อป้องกันปฏิกิริยาข้างเคียง ได้แก่ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) แครกแก๊สที่ได้นี้จะอิ่มตัวไปด้วยน้ำและยังมีความเป็นกรดอยู่ จากนั้นอัดแครกแกสให้มีความดันสูงขึ้นก่อนที่จะทำให้เย็นลง แล้วเข้าสู่การล้างด้วยคอสติก (Caustic Washing) เพื่อกำจัดกรดซึ่งได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) โดยใช้สารละลายที่เป็นด่าง (Caustic Solution) แล้วทำให้แห้งในหน่วยกำจัดความชื้น (Dehydration) ต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแข็งตัว (Freeze-ups) ในอุปกรณ์ขั้นต่อๆไปในสายการผลิตที่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ก่อนเข้าสู่หน่วยดีพรอพาไนเซชัน (Depropanization) ต่อไป โดยระบบนี้แบ่งเป็นดีพรอพาไนเซชันความดันสูง และดีพรอพาไนเซชันความดันต่ำ สำหรับระบบดีพรอพาไนเซชันความดันสูงจะแยกโพรพิลีน และไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่าออกทางยอดหอ แล้วอัดแก๊สส่งไประบบการกำจัดอะเซทิลีน (Acetylene Removal) ต่อไป เพื่อเปลี่ยนอะเซทิลีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการจากปฏิกิริยาแครกกิ้งให้เป็นเอทธิลีน โดยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) จากนั้นจะเข้าสู่การกลั่นแยกอุณหภูมิต่ำ (Cold Fractionation) ได้ผลิตภัณฑ์เอทธิลีนออกมา ส่วนระบบดีพรอพาไนเซชันความดันต่ำ จะรับ C4 และไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่าจากก้นหอของดีพรอพาไนเซชันความดันสูง เพื่อจะแยก C3 และไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่า ส่งไปสู่ระบบการกลั่นแยกอุณหภูมิสูง (Hot Fractionation) โดย C3 จะถูกส่งไปยังระบบ C3 สพลิทเตอร์ (C3 Splitter System) เพื่อกลั่นแยกได้ผลิตภัณฑ์โพรพิลีนออกจากโพรเพน (Propane) ส่วน C4 และไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่า จะถูกส่งไปยังระบบดีบิวเทไนเซอร์ (Debutanizer System) เพื่อกลั่นแยกได้มิกซ์ C4 และได้ไพรอลิซิสแก๊สโซลีนดิบ การผลิตโอเลฟินส์แสดงดังรูป 3.1

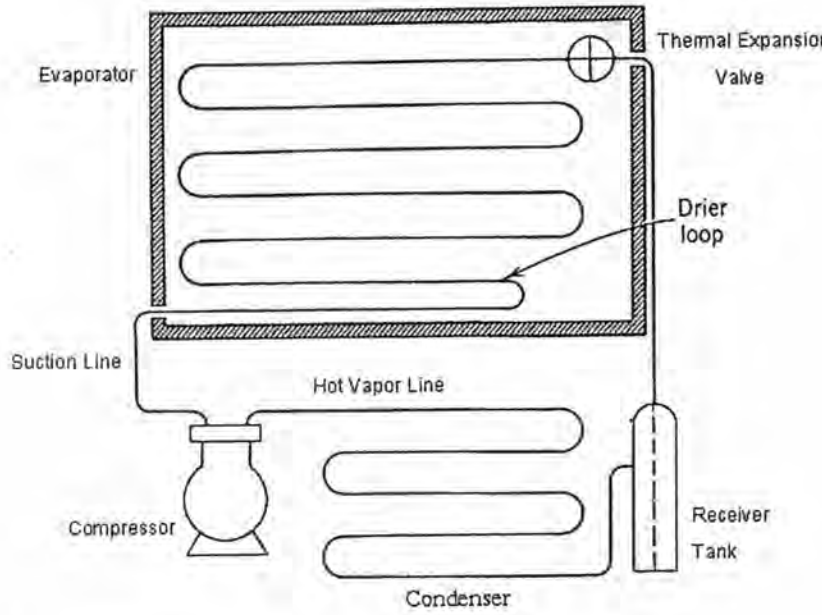
3.2 หลักการทำความเย็น (Refrigeration)

การทำความเย็นมีวัตถุประสงค์หลักคือ การขจัดความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ โดยสารที่ใช้ทำความเย็นต้องเป็นของไหลที่สามารถรับความร้อนด้วยการระเหยตัวเองที่อุณหภูมิและความดันต่ำ และถ่ายเทความร้อนออก ณ อุณหภูมิ และความดันที่สูงกว่า โดยระบบทำความเย็นแบ่งออกเป็น 2 ระบบหลักได้แก่ ระบบเปิด และระบบปิด นั่นคือระบบใดที่ใช้สารทำความเย็นรับความร้อนแล้วปล่อยออกไปไม่นำกลับมาใช้อีกเรียกว่า ระบบเปิด หรือ วัฏจักรเปิด (Open Cycle) ส่วนระบบใดที่จัดให้มีขบวนการภายในขอบเขตที่สารทำความเย็นรับความร้อนจากที่ใดที่หนึ่งนำความร้อนไปถ่ายทิ้งและตัวเองปรับคุณสมบัติพร้อมที่จะรับความร้อนได้อีก หมุนเวียนกลับคืน นี้เรียกว่า ระบบปิด หรือ วัฏจักรปิด (Close Cycle)



รูป 3.1 การผลิตโอเลฟินส์

ระบบทำความเย็นมีหลายระบบได้แก่ ระบบพ่นไอน้ำ (Ejector) และระบบการดูดซึม (Absorption) เป็นต้น แต่สำหรับระบบที่ทำการศึกษาเป็นการทำความเย็นระบบเชิงกล (Mechanical Refrigeration) โดยมีคอมเพรสเซอร์เปรียบเสมือนหัวใจของการทำความเย็น ที่กล่าวเช่นนี้ก็เพราะคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ปั๊มสารทำความเย็นหมุนเวียนรอบวงจร เหมือนกับหัวใจปั๊มเลือดไปหล่อเลี้ยงร่างกาย ส่วนอุปกรณ์หลักอื่นๆได้แก่ เครื่องควบแน่น (Condenser), หม้อต้มระเหย (Evaporator) และวาล์วควบคุมการไหลเป็นต้น ดังรูป 3.2



รูป 3.2 วัฏจักรการทำความเย็น

3.2.1 ระบบการทำงานของการทำความเย็นระบบอัด (Compression Refrigeration System)

เริ่มต้นที่ด้านความดันต่ำของหม้อต้มระเหย ไอสารทำความเย็นที่จุดนี้มีความดัน และอุณหภูมิต่ำจะไหลผ่านท่อดูด (Suction Line) เข้าไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการอัดไอสารทำความเย็นให้มีความดัน และอุณหภูมิสูงอยู่ในสถานะแกสร้อน แกสร้อนนี้จะไหลจากด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ไปยังขดเครื่องควบแน่น เพื่อระบายความร้อนกลั่นตัวเป็นของเหลว

คอมเพรสเซอร์มีส่วนทำให้ความดันในหม้อต้มระเหยลดลงด้วย อันเป็นผลให้สารทำความเย็นเดือดที่ความดัน และอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจากบรรยากาศโดยรอบจะไหลเข้าไปยังหม้อต้มระเหย เนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่าความร้อนนี้ จะทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอ และไอ

ของสารทำความเย็นที่ดูดกลืนความร้อนนี้ ก็จะถูกดูดไปเข้าคอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ก็จะอัดให้ความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้นอีก และความร้อนนี้ก็จะถ่ายเทให้น้ำ หรือ อากาศซึ่งใช้หล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น ผลลัพธ์ก็คือ สารทำความเย็นก็จะกลั่นตัวเป็นของเหลว

3.2.2 ส่วนประกอบหลักในการทำความเย็นได้แก่

ก. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นที่เป็นไอไหลเข้าทางลิ้นดูด และทำการอัดไอของสารทำความเย็นให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นส่งต่อไปยังเครื่องควบแน่น

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ 2 อย่างคือ

(1) ดูดสารทำความเย็นในสภาพแกสเย็นออกจากหม้อต้มระเหยในอัตราที่จะทำให้เกิดความดัน และอุณหภูมิตามที่กำหนด

(2) อัดแกสสารทำความเย็นให้มีความดัน และอุณหภูมิที่สูงถึงระดับที่กำหนดไว้ ความร้อนจากหม้อต้มระเหยรวมกับความร้อนจากการอัดโดยคอมเพรสเซอร์จะสามารถถ่ายความร้อนให้แก่ลม หรือ น้ำได้ตามสภาพที่เหมาะสมกับการออกแบบผลิต เพื่อว่าสารทำความเย็นจะได้กลั่นตัวกลับคืนภาวะเป็นของเหลวใช้ในระบบอีก

คอมเพรสเซอร์เปรียบเสมือนหัวใจของระบบการทำความเย็น เป็นตัวที่ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนภาวะจากความดันต่ำขึ้นสู่ระดับความดันสูง เพื่อที่สารทำความเย็นจะได้ถ่ายความร้อนที่รับมาจากหม้อต้มระเหยรวมกับความร้อนเนื่องจากการอัดของคอมเพรสเซอร์ให้แก่น้ำ หรืออากาศที่ผ่านระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น

ข. ท่อทางส่ง (Discharge Line) เป็นท่อส่งสารทำความเย็นที่มีความดันและอุณหภูมิสูงจากคอมเพรสเซอร์ ไหลไปยังเครื่องควบแน่น

ค. เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากไอร้อนของสารทำความเย็น เพื่อให้กลายสภาพเป็นของเหลว เครื่องควบแน่นจะต้องมีพื้นที่ผิวเพียงพอในการระบายความร้อน เพื่อให้ไอร้อนของสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวร้อนได้สมบูรณ์ที่สุด โดยเครื่องควบแน่นทำหน้าที่รับถ่ายความร้อนและคลายปล่อยทิ้งไป เครื่องควบแน่นจะมีสารทำความเย็นแกส (Superheated) ไหลผ่านนอกท่อ หรือ ในท่อโลหะด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งจะมีสาร

รับความร้อนถ่ายไหลผ่าน สารทำความเย็นในภาวะแกสร้อนจะเย็นลงถึงอุณหภูมิกลั่นตัว กลั่นตัวเหลวและเย็นต่ำลง (Subcooled) และไหลด้วยความดันออกไปเพื่อวัฏจักรการทำความเย็นอีก

ง. ถังพัก (Receiver Tank) ของเหลวร้อนจากเครื่องควบแน่นจะมีไอร้อนปะปนไหลมายังถังเก็บของเหลว สารทำความเย็นส่วนที่เป็นของเหลวจะตกลงไปอยู่ข้างล่างถังเก็บและไหลออกไปยังหม้อกรอง (Filter Drier) ซึ่งทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกต่างๆรวมทั้งความชื้นภายในระบบทำความเย็น

จ. ท่อส่งสารเหลว (Liquid Line) เป็นท่อนำสารทำความเย็นเหลวจากถังเก็บของเหลวไปยังอุปกรณ์ควบคุมการไหล (Metering Device)

ฉ. อุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น (Metering Device) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเหลวให้ถึงจุดกลายเป็นไอเย็นและควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวเข้าไปยังตัวทำระเหย (Evaporator) ได้อย่างถูกต้องและเพียงพอ อุปกรณ์นี้ทำงานควบคุมเนื่องด้วยความแตกต่างของความดัน หรือ อุณหภูมิของหม้อต้มระเหย

ช. หม้อต้มระเหย (Evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนเพื่อให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอ (ใช้ความร้อนแฝงเข้ามาช่วย) เมื่อสารทำความเย็นเหลวผ่านการลดความดันจากอุปกรณ์ควบคุมการไหล แล้วก็ไหลเข้ามาในหม้อต้มระเหย และกลายสภาพเป็นของเหลวเย็น หม้อต้มระเหยจะทำหน้าที่ดูดเอาความร้อนรอบๆ ผิวคอยล์เพื่อทำให้ของเหลวเย็นเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (Superheat) ไหลกลับไปยังคอมเพรสเซอร์

ซ. ท่อทางดูด (Suction Line) เป็นทางไหลของสารทำความเย็นเหลวที่ผ่านซูเปอร์ฮีตกลายเป็นไอ ไหลกลับไปยังคอมเพรสเซอร์ โดยผ่านทางลิ้นดูด

3.2.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

คุณสมบัติของสารทำความเย็นคือ เป็นของไหลที่สามารถรับความร้อนด้วยการระเหยตัวเองที่อุณหภูมิและความดันต่ำ และถ่ายเทความร้อนออก ณ ที่อุณหภูมิและความดันที่สูงกว่า โดยหลักการทางวิทยาศาสตร์มีอยู่ว่า สิ่งที่ถ่ายความร้อนให้เท่าใด สิ่งที่รับความร้อนรับได้เท่านั้น ในกรณีหลักการทำความเย็นเราถือเอาการถ่ายความร้อนเป็นข้อกำหนดเบื้องต้น ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องออกแบบเพื่อให้ค่า U, A และ t_d มีความสัมพันธ์พร้อมที่จะรับเอาความร้อนถ่ายเทได้ไม่น้อยกว่าค่าความร้อนที่กำหนดไว้

สูตรคำนวณหาปริมาณความร้อน คือ $Q = UA\ t_d$ (3.1)

Q = ปริมาณความร้อน หน่วยอาจเป็นบี.ที.ยู./ ชั่วโมง

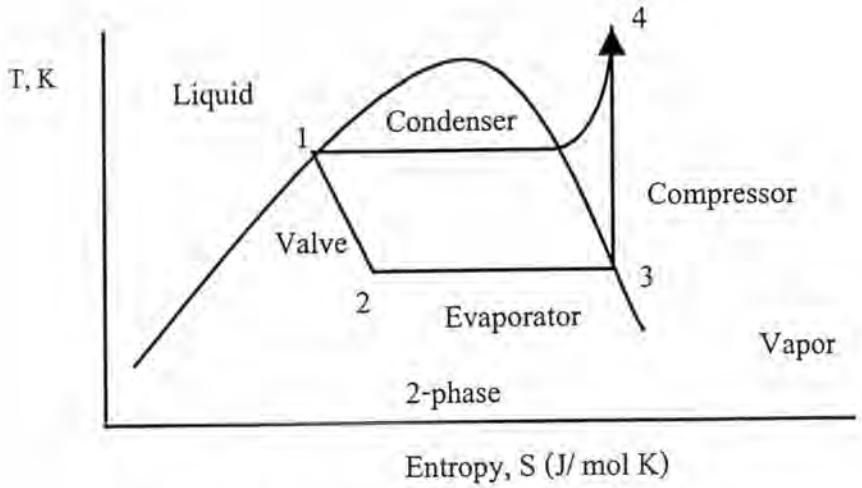
U = สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อนของสารสองชนิดผ่านสิ่งกั้นขวาง

A = พื้นที่สัมผัสถ่ายเทความร้อน

t_d = อุณหภูมิแตกต่างโดยสูตรสัมพันธ์

สารทำความเย็นที่สำคัญๆ สามารถหาได้จากหนังสือคู่มือ ASHRAE Handbook สารทำความเย็นมีหลายชนิดได้แก่ สารประกอบอินทรีย์เช่น เอธิลีน และโพรพิลีน เป็นต้น หรือสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น หรือสารประกอบฮาโลคาร์บอน ได้แก่ HCFC และ CFC เป็นต้น

3.2.4 แผนผังอุณหภูมิ – เอนทาลปีสำหรับวัฏจักรการทำความเย็น



รูป 3.3 แผนผัง T – S สำหรับวัฏจักรการทำความเย็น

แผนผังอุณหภูมิ – เอนโทรปีสำหรับวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแสดงในรูป 3.3 และอธิบายการหมุนเวียนกระบวนการทำความเย็นได้ดังนี้

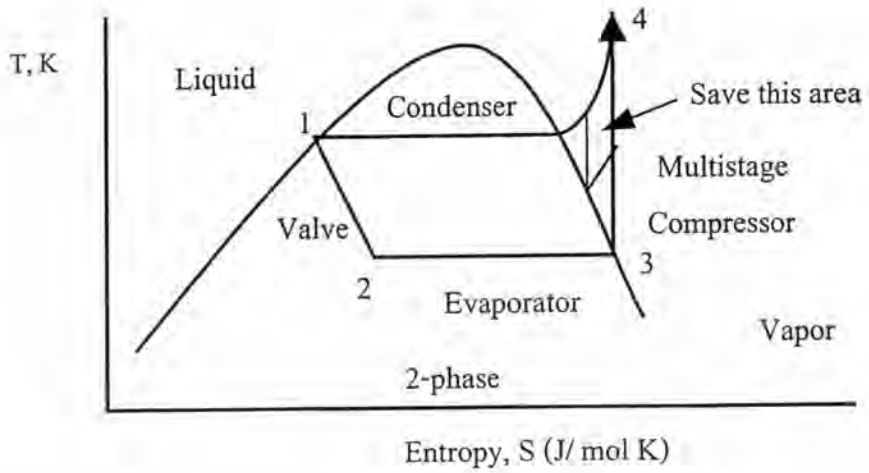
จุดที่ 1 – จุดที่ 2 เป็นการดำเนินกระบวนการทรอตทลิง (Throttling) แบบแอเดียบาติก (Adiabatic) ที่วาล์วลดความดัน สาเหตุจากความดันลดลงนี้ทำให้สารทำความเย็นเดือดและระเหยกลายเป็นไอ

จุดที่2 – จุดที่ 3 ของไหลจะเข้าไประเหยตัวภายใต้ความดันคงที่ภายในหม้อต้มระเหย

จุดที่ 3 – จุดที่ 4 ไออิ่มตัวที่ความดันต่ำเข้าคอมเพรสเซอร์ และดำเนินกระบวนการอัดตัวแบบแอเดียบาติก และย้อนกลับได้

จุดที่ 4 – จุดที่ 1 ก๊าซความร้อนยวดยิ่งจะถ่ายความร้อนทิ้งภายใต้ความดันคงที่ในเครื่องควบแน่น จากนั้นของไหลจะออกจากเครื่องควบแน่นในสภาพของเหลวอิ่มตัว

วิศวกรเครื่องกลจะให้ความสนใจสำรับแผนผังอุณหภูมิกับเอนโทรปีนี้ ในขณะที่วิศวกรเคมีจะมุ่งเน้นไปที่แผนผังความดันกับเอนทาลปี (Pressure – Enthalpy) ซึ่งข้อดีของแผนผังอุณหภูมิกับเอนโทรปีสำหรับวัฏจักรทำความเย็นคือ พื้นที่ล้อมรอบเส้นกราฟในวัฏจักรแสดงงานที่ต้องการเพื่อดำเนินวัฏจักร การเพิ่มสมรรถนะให้แก่วัฏจักรทำความเย็นสามารถทำได้โดยการลดพื้นที่ล้อมรอบในวัฏจักร ซึ่งระบบจะได้รับปริมาณความร้อนในหม้อต้มระเหยทั้งก่อน และหลังเท่าเดิม



รูป 3.4 การใช้คอมเพรสเซอร์แบบอัดหลายขั้น

รูป 3.4 แสดงผลของการเพิ่มสมรรถนะนี้ ทำได้โดยการใช้คอมเพรสเซอร์แบบการอัดหลายขั้นตอน การอัดเกิดขึ้น และเย็นลงที่อุณหภูมิการอิ่มตัว และจะอัดอีกครั้งสำหรับความดันสุด

ท้าย ดังนั้นงานจะเกิดขึ้นมากที่สุดกับการอัดขั้นเดียว และงานจะลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนขั้นในการอัดมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายของวัฏจักรทำความเย็น

3.2.5 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความดัน และส่งแกสจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยทั่วไปคอมเพรสเซอร์จะถูกแบ่งเป็น 4 ชนิดคือ

1. คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) เหมาะสำหรับการใช้งานในกรณีที่ คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ ไม่เหมาะสม เช่น ต้องการความสามารถในการส่งก๊าซต่ำ และต้องการความดันแตกต่าง (Differential Pressure) สูง นอกจากนี้ ราคายังถูกกว่าอีกด้วย คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ จะไม่สามารถใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังนั้น Spare Compressor จึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะบริเวณซึ่งวิกฤติมากๆ

2. คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี่ (Rotary Compressor) โดยทั่วไปจะใช้ในการเพิ่มความดันให้ Air และไม่ต้องการความดันแตกต่าง (Differential Pressure) สูงนัก คอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ ไม่ค่อยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน

3. คอมเพรสเซอร์แบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Compressor) เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วรอบสูง และปริมาณก๊าซที่จะต้องส่งสูง แต่ไม่ต้องการความดันแตกต่าง (Differential Pressure) มากนัก โดยทั่วไปจะนิยมใช้กับ Air เท่านั้น

4. คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ (Centrifugal Compressor) สามารถขับเคลื่อนได้โดยใช้เครื่องจักรไอน้ำ หรือ ไฟฟ้าพร้อมทั้งทำรอบได้สูง คอมเพรสเซอร์ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความสามารถในการส่งแกสปริมาณมาก และสามารถทำความดันแตกต่าง (Differential Pressure) ได้สูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน

ในระบบที่ศึกษานี้ใช้คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ หลักการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ จะเหมือนกับของปั๊มแบบเซนตริฟิวจ์ (Centrifugal Pump) โดยที่แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ซึ่งเกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัด (Impeller) จะทำให้ของเหลว หรือแกสมีความดัน และความเร่งสูงขึ้น แต่ข้อแตกต่างที่เห็นเด่นชัดระหว่างคอมเพรสเซอร์ และปั๊มก็คือ จะใช้งานกับแกส หรือ ไอซึ่งสามารถจะเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้โดยขึ้นอยู่กับความดัน ส่วนปั๊มจะใช้งานกับของเหลวซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้

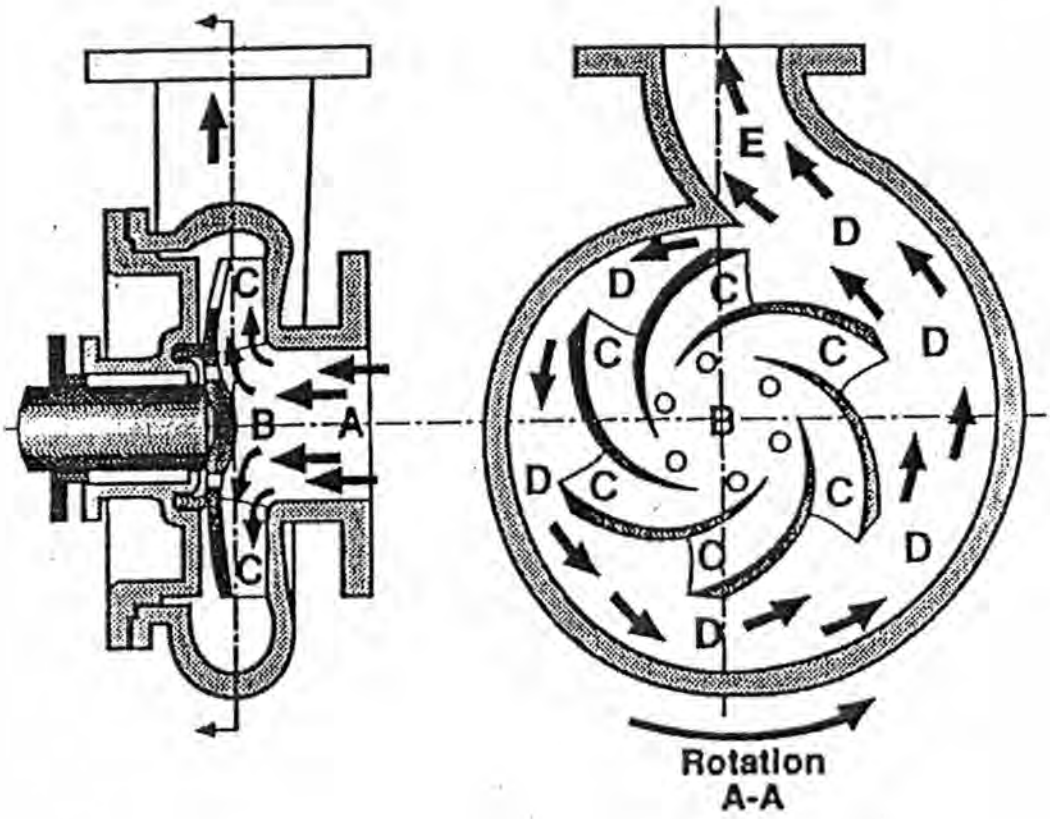
3.2.6 คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ (Centrifugal Compressor)

1) หลักการทำงาน

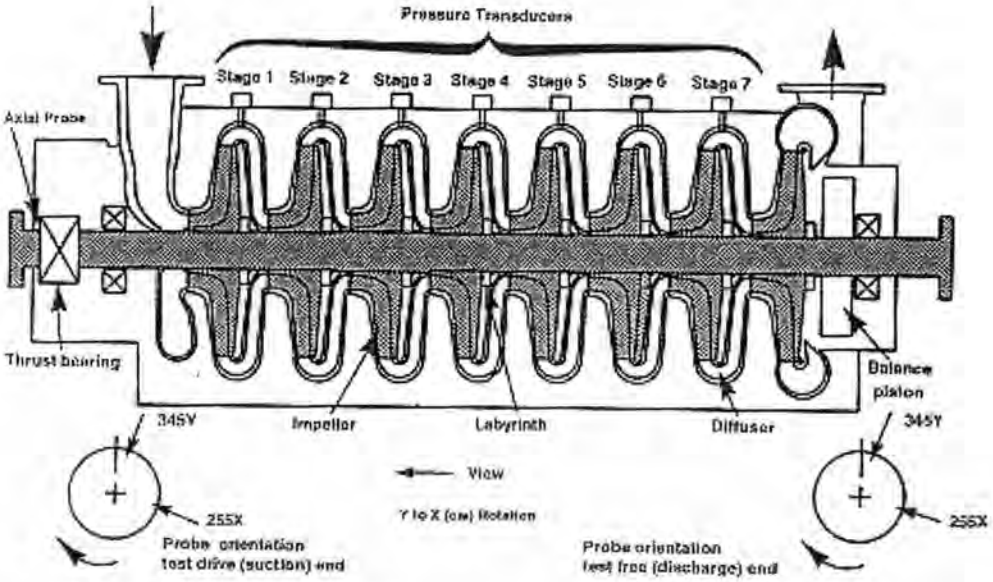
คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำงานในหลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการเพิ่มความดันให้สูงขึ้นโดยการหมุนอย่างรวดเร็วของส่วนที่เป็นวงกลมแบบใบพัด (Impeller) หลายๆ อันต่ออันดับกันในเพลาอันเดียวกัน และรวมอยู่ในส่วนวงกลมเดียวกัน และจะถูกขับให้หมุนโดยตรงโดยมอเตอร์ไฟฟ้า หรือ เครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งลักษณะของส่วนที่เป็นวงกลมแบบใบพัด หรือ อิมเพลเลอร์แสดงดังรูป 3.5

รูป 3.5 ลักษณะใบพัดอิมเพลเลอร์ (Impeller)

แกสจะถูกดูดเข้าสู่ช่องอิมเพลเลอร์ (Impeller Eye) (จุด B) จากทางด้านทางเข้า (Suction) (จุด A) ด้วยแรงซึ่งเกิดการหมุนของใบพัด แกสที่ผ่านไปยังใบพัด (จุด C) จะถูกส่งเข้าสู่ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser) ซึ่งมีพื้นที่ให้แกสไหลผ่านมากกว่า ส่งผลให้ความเร็วของแกสลดลง (จุด D) ในขณะที่ความดันจะเพิ่มมากขึ้น, ปริมาตรของแกสจะลดลง และอุณหภูมิจะสูงขึ้น (จุด E) รูป 3.6 แสดงทิศทางการหมุนของแกส นอกจากนี้หากต้องการให้แกสที่ผ่านคอมเพรสเซอร์มีความดันสูงมากๆ ก็สามารถทำได้โดยใช้ Multistage Compressor ซึ่งประกอบด้วยใบพัดมากกว่า 1 ใบมาต่อเรียงกัน รูป 3.7 เป็นลักษณะภายในของคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัลที่มีการอัด 7 ขั้น



รูป 3.6 การหมุนของแกสในคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัล



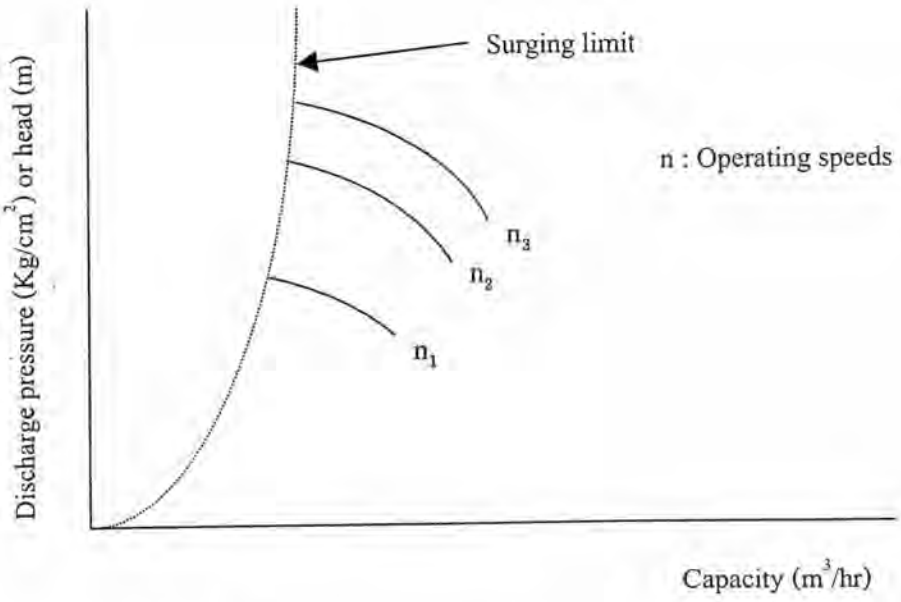
รูป 3.7 ลักษณะภายในของคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัล 7 ขั้น

2) ลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์

(ก) สมรรถนะ (Performance) ของคอมเพรสเซอร์

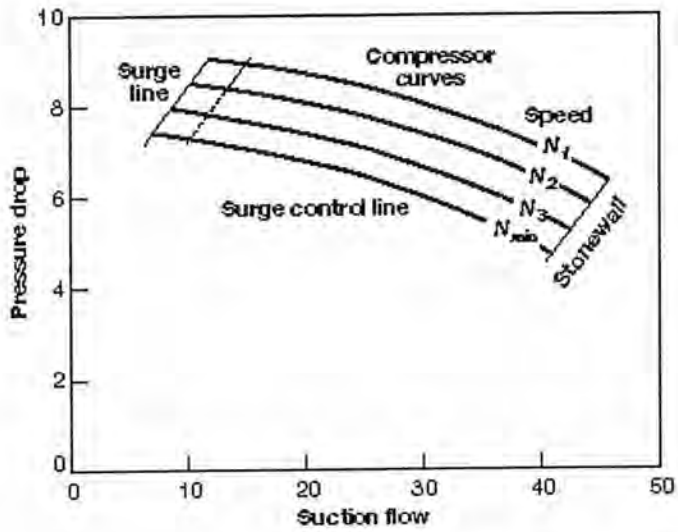
แสดงลักษณะของเส้นโค้งสมรรถภาพของเฮด (Head Capacity Curve) หรือเส้นโค้งสมรรถภาพของความดันที่ปล่อยออกมา สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่างๆ คอมเพรสเซอร์จะมีความสามารถในการส่งก๊าซอยู่ในช่วงที่กำหนด (มีค่าสูงสุดและต่ำสุด) ขอบเขตต่ำสุดสำหรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เรียกว่าขอบเขตการเกิดเซิร์จ (Surging Limit) เส้นโค้งสมรรถภาพของคอมเพรสเซอร์แสดงดังรูป 3.8 ซึ่งถ้าใช้งานคอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าจุดนี้ทั้งคอมเพรสเซอร์ และระบบท่อทางที่เกี่ยวข้องจะเกิดการสั่นอันจะมีผลให้เกิดความเสียหายแก่แบริ่ง (Baring) และส่วนประกอบอื่นๆ ในกรณีที่เกิดเซิร์จ (Surge) ขึ้นจะต้องทำการหยุดคอมเพรสเซอร์ทันที

เซิร์จเกิดขึ้นเมื่อไหร่ก็ตามที่ของไหลไหลผ่านเข้าไปในคอมเพรสเซอร์ทั้งช่วงที่เข้า และช่วงที่ออก แล้ว อัตราส่วนของการอัด (Compression Ratio) เกินค่าที่ออกแบบไว้ เมื่อความเร็วของการไหล และมุมถูกลดลงในเส้นทางที่รัศมีกระจาย ความดันตกคร่อมลดต่ำลงถึงค่าซึ่งความดันสถิต ไม่สมดุล และไหลกลับทันที ขึ้นกับปริมาตรของระบบท่อที่ปล่อย ขนาดและความเร็วของคอมเพรสเซอร์



รูป 3.8 เส้นโค้งสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์ (Head-capacity curves)

ส่วนขอบเขตสูงสุดสำหรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์เรียกว่าโช๊ค (Choke) หรือ สโตนวอลล์ (Stone Wall) ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือความดันทางออก (Discharge Pressure) หรือ เฮด (Head) ของคอมเพรสเซอร์จะลดต่ำลงทันทีในขณะที่ความสามารถในการส่งก๊าซ จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และจากการที่คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบต่างๆ ดังนั้นตัวขับที่สามารถปรับความเร็วได้ (Variable Speed Driver) เช่นพวกเครื่องจักรไอน้ำจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ ขอบเขตการทำงานของคอมเพรสเซอร์แสดงดังรูป 3.9



รูป 3.9 ขอบเขตการทำงานของคอมเพรสเซอร์

(ข) ความเร็วรอบวิกฤติ (Critical Speed) ของคอมเพรสเซอร์

การใช้งานโรเตอร์ (Rotor) ที่ความเร็วรอบต่างๆ จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่างๆ ขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อโรเตอร์ถูกใช้งานที่ความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้ความถี่ของการสั่นสะเทือนเข้าใกล้ความถี่ตามธรรมชาติของเครื่องจักรแล้วโรเตอร์จะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจนสามารถเกิดความเสียหายได้ ความเร็วรอบ ณ จุดนี้เรียกว่าความเร็วรอบวิกฤติ โดยทั่วไปโรเตอร์ของคอมเพรสเซอร์จะถูกใช้งานที่ความเร็วรอบระหว่างความเร็วรอบวิกฤติที่ 1 และที่ 2 และในกรณีที่ต้องใช้งานคอมเพรสเซอร์เป็นเวลานานๆ ไม่ควรที่จะใช้ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในช่วง +10% ของความเร็วรอบวิกฤติ เพื่อป้องกันปัญหาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน

(ค) การควบคุมปริมาณสารทำความเย็น (Capacity Control)

ที่บริเวณทางเข้า (Suction) ของคอมเพรสเซอร์ จะติดตั้งถัง (Knock-Out Drum) ไว้สำหรับกำจัดละอองน้ำ หรือละอองของก๊าซที่ควบแน่นออกก่อนที่จะส่งก๊าซเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ เนื่องจากละอองน้ำ หรือละอองของก๊าซที่ควบแน่นนี้ จะทำให้เกิดการสั่น เพิ่มโหลด และเกิดการกัดกร่อนบนตัวหมุน (Impeller) นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งท่อทางบายพาส (by-pass) จาก Discharge กลับมาที่ Suction Knock-Out Drum โดยทั่วไปบนท่อทาง by-pass นี้จะมีการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve) เพื่อรักษาปริมาณก๊าซที่จะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ ทำให้สามารถใช้งานคอมเพรสเซอร์ที่จุดเหนือกว่าขอบเขตเซิร์จ (Surge Limit) นอกจากนี้ Suction Pressure จะถูกควบคุมให้คงที่ด้วยความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

3.2.7 เครื่องจักรไอน้ำ

เครื่องจักรไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับปั๊ม (Pump), คอมเพรสเซอร์, เครื่องเป่าลม (Fan), หีบลม (Blower) หรือ เครื่องมือผลิตแก๊สหรือไอ (Generator) ให้ทำงานได้เหมือนกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเครื่องจักรไอน้ำความดันสูงจะเป็นที่นิยมใช้ในพื้นที่ต่อไปนี้

1. พื้นที่ซึ่งต้องการขับให้อุปกรณ์หมุนด้วยความเร็วรอบสูงๆ เช่นที่คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัล
2. พื้นที่ซึ่งอุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนถูกใช้งานอย่างหยุดไม่ได้ เนื่องจากการหยุดของอุปกรณ์ดังกล่าว จะมีผลเสียต่อกระบวนการผลิต หรือเกิดความไม่ปลอดภัยแก่อุปกรณ์
3. พื้นที่ซึ่งต้องการขับให้อุปกรณ์หมุนด้วยความเร็วรอบซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้เกิดการยืดหยุ่นสูงในการใช้งาน และยังทำให้เกิดการประหยัดพลังงานด้วย

(ก) หลักการของการทำงาน

การทำงานของเครื่องจักรไอน้ำจะเริ่มจากการที่ พลังงานความร้อนจากไอน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานจลน์ โดยการให้ไอน้ำไหลผ่านนอซเซิล (Nozzle) ออกมาเป็นเจตไอน้ำ (Steam Jet) หลังจากนั้นพลังงานจลน์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลอีกครั้งหนึ่ง โดยการที่เจตไอน้ำนี้ไหลไปปะทะกับใบพัดซึ่งเรียกว่าบัคเก็ต (Bucket) ด้วยมุมที่เหมาะสมอันจะทำให้บัคเก็ตเกิดการหมุน

3.3 ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เป็นระบบปิด (Close-loop System) ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ที่เป็นการอัดแบบ 4 ขั้น มีระดับทำความเย็นสี่ระดับที่ -40°C, -21°C, -7°C และ 7°C นอกจากนี้ยังเป็นสารให้ความร้อนแก่บางกระบวนการด้วย ซึ่งตาราง 3.1 แสดงกระบวนการทำความเย็นที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ และการทำความร้อน ส่วนรูป 3.9 แสดงระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน ซึ่งอธิบายกระบวนการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนได้ดังต่อไปนี้

หลักการทำงานเริ่มจากสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ที่มีการอัดแบบ 4 ขั้น ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal Compressor, R-650) และถูกขับด้วยเครื่องจักรไอน้ำ (Steam Turbine, RT-650) ซึ่งใช้ไอน้ำความดันสูง ไอโพรพิลีนออกจากคอมเพรสเซอร์ขั้นสุดท้ายที่ 72.854°C จะเข้าสู่ T-698 (C3 Refrigeration Desuperheater) โดยถูกลดความดันยิ่งยวด (Desuperheat) จนมีอุณหภูมิ 41.53°C และถูกควบแน่นที่ T-699 (C3 Refrigeration Condenser) ด้วยน้ำหล่อเย็นได้โพรพิลีนเหลวที่ 41°C เข้าสู่ถัง M-695 (Propylene Refrigerant Surge Drum) ในกรณีที่มีการสูญเสียโพรพิลีนบางส่วนไป จะสามารถเติมสารโพรพิลีนแก่ระบบที่ถังนี้

จากนั้นแยกออกเป็น 2 สาย โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ความร้อน ซึ่งจะส่งผลให้โพรพิลีนเองเย็นจัด (Subcooled) โดยสายแรกจะผ่านเข้า T-411 (Propylene Refrigerant Subcooler) เพื่อให้ความร้อนแก่ไฮโดรเจน, อีเทน, มีเทน และ แกสเชื้อเพลิง ทำให้โพรพิลีนลดอุณหภูมิลงเหลือ –37.02°C สายที่สองจะผ่าน T-478 (Ethylene Product Superheater) เพื่อให้ความร้อนในการทำให้ผลิตภัณฑ์เอทธิลีนร้อนยิ่งยวดก่อนเข้าสู่ T-410 (Demethanizer Prefractionator Reboiler) เพื่อให้ความร้อนในการรีบอยล์ (Reboiling) ที่ก้นหอ A-410 มีผลให้โพรพิลีนมีอุณหภูมิลดเหลือ 23.84°C

จากนั้นโพรพิลีนจะถูกใช้ในการทำความเย็นที่ระดับอุณหภูมิ 7°C โดยจะแยกเป็น 4 สาย ขนานกันผ่านวาล์วควบคุม ซึ่งจะถูกควบคุมโดยระดับของเหลวใน T-646A (C2 Refrigeration Desuperheater), T-395 (Low Pressure Depropanizer Condenser), T-345 (Cracked Gas 4th Stage Subcooler) และถัง M-690 (Propylene Refrigerant 4th Stage Suction Drum) โดย 3 สายผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และ 1 สายเป็นสายเลี่ยง (Bypass) ซึ่งความดันที่ลดลงถูกกำหนดโดยความดันด้านขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 ทำให้โพรพิลีนเกิดการแฟลชจนเกิดเป็นไอขึ้นบางส่วน และมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 7°C ตามต้องการ ที่ 7°C นี้จะใช้โพรพิลีนในการทำความเย็นให้เครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อน 3 ตัว คือ T-646A, T-395 และ T-345 ทั้ง 4 สายจะไหลสู่ถัง M-690 ซึ่งจะแยกไอโพรพิลีนออกด้านบน ไอโพรพิลีนบางส่วนกลับเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ในขั้นที่4

อีกส่วนจะใช้เป็นตัวกลางให้ความร้อนแก่ T-420 (Demethanizer Reboiler) และ T-475 (Ethylene Product Vaporizer No.4) ซึ่งต่อขนานกันอยู่ แล้วจึงแฟลช เนื่องจากความดันที่ลดลงซึ่งถูกกำหนดโดยความดันด้านขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 ในวาล์วควบคุมซึ่งจะถูกควบคุมโดยระดับของเหลวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จนได้โพรพิลีนในสถานะของไอ และของเหลวที่ -7°C เข้าสู่ M-680 (Propylene Refrigerant 3rd Stage Suction Drum)

สำหรับโพรพิลีนเหลวจาก M-690 ที่ 7°C จะถูกใช้ในการทำความเย็นในขั้นถัดไป โดยแยกเป็น 4 สายขนานกันซึ่งเป็นสายเลี่ยง 1 สาย แต่ละสายก็จะผ่านวาล์วควบคุม ซึ่งถูกควบคุมโดยระดับของเหลวใน T-646B (C2 Refrigeration Desuperheater), T-566 (C4 Product Chiller), T-375 (High Pressure Depropanizer Condenser) และ ถัง M-680 โดยจะแฟลชให้ได้โพรพิลีนที่ -7°C เพื่อใช้ทำความเย็นใน T-646B, T-566 และ T-375 ก่อนไหลรวมกันเข้าสู่ถัง M-680 ซึ่งจะส่งไอโพรพิลีนกลับสู่ คอมเพรสเซอร์ ขั้นที่ 3

โพรพิลีนเหลวจาก M-680 จะถูกทำให้เย็นลงเหลือ –12.279°C โดยการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เอทธิลีนใน T-474 (Ethylene Product Vaporizer No.3) ก่อนจะถูกใช้ในการทำความเย็นในขั้นถัดไป โดยแยกเป็น 4 สายขนานกัน ซึ่งเป็นสายเลี่ยง 1 สาย แต่ละสายจะแฟลชผ่านวาล์วควบคุม เนื่องจากความดันที่ลดลงซึ่งถูกกำหนดโดยความดันด้านขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 ให้ได้โพรพิลีนที่ -21°C เพื่อใช้ทำความเย็นใน T-646C (C2 Refrigeration Desuperheater), T-376 (High Pressure Depropanizer Condenser) และ T-445 (Demethanizer Condenser) ก่อนไหลรวมกันเข้าสู่ถัง M-670 (Propylene Refrigerant 2nd Stage Suction Drum) ซึ่งจะส่งไอโพรพิลีนกลับสู่ คอมเพรสเซอร์ ขั้นที่ 2

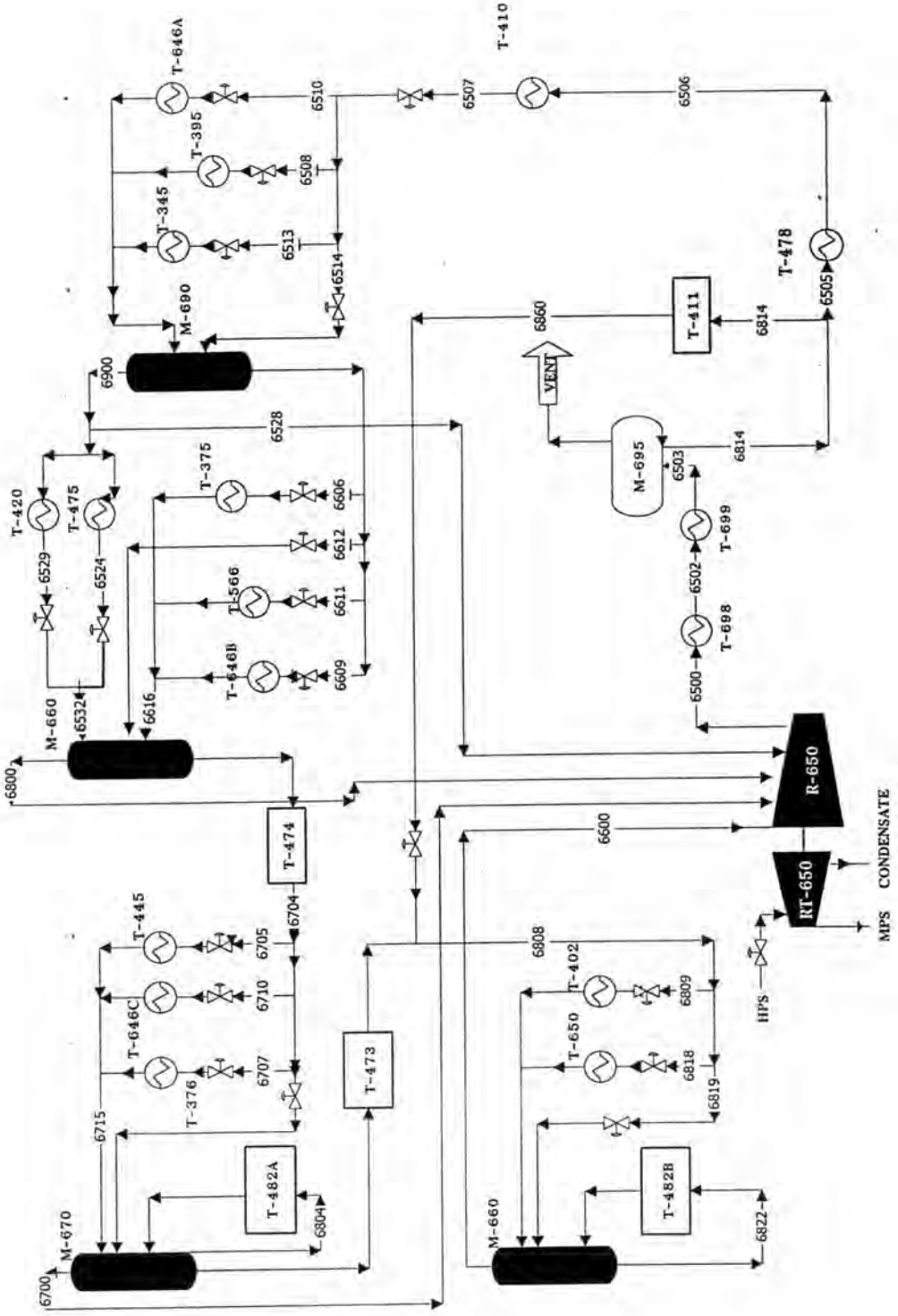
โพรพิลีนเหลวจากถัง M-670 ที่ -21°C ส่วนหนึ่งจะใช้ทำความเย็นใน T-482A โดย M-670 จะอยู่ในระดับสูงกว่า T-482A (C2 Refrigeration Sidedraw Desuperheater) เพื่อก่อให้เกิดปรากฏการณ์เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ซึ่งช่วยให้เกิดการไหลเวียนของโพรพิลีนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้โพรพิลีนเกิดระเหยเป็นไอขึ้นใน T-482A และไหลกลับสู่ถัง M-670 โพรพิลีนเหลวส่วนที่เหลือจะถูกทำให้เย็นลงเหลือ –30.665°C โดยการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เอทธิลีนใน T-473 (Ethylene Product Vaporizer No.2) แล้วไหลรวมกับโพรพิลีนเหลวที่ -37.02°C จาก T-411 ก่อนใช้ทำความเย็นในขั้นถัดไป โดยจะแยกเป็น 3 สายขนานกันซึ่งเป็นสายเลี่ยง 1 สาย แต่ละสายผ่านวาล์วควบคุมจะแฟลชเนื่องจากความดันที่ลดลง ซึ่งถูก

กำหนดโดยความดันด้านขาเข้าของ คอมเพรสเซอร์ ขั้นที่ 1 ให้ได้โพรพิลีนที่ -40°C ใช้ทำความเย็นใน T-402 (Demethanizer Prefractionator Feed Chiller) และ T-650 (C2 Refrigeration Condenser) ก่อนไหลรวมกันเข้าสู่ถัง M-660 (Propylene Refrigerant 1st Stage Suction Drum) ซึ่งจะส่งไอโพรพิลีน กลับสู่ คอมเพรสเซอร์ ขั้นที่ 1

ส่วนโพรพิลีนเหลวจาก M-660 ที่ -40°C จะใช้ทำความเย็นใน T-482B (C2 Refrigeration Sidedraw Desuperheater) โดย M-660 จะทำหน้าที่เป็นถังเทอร์โมไซฟอน โดย M-660 จะอยู่ในระดับสูงกว่า T-482B ช่วยให้เกิดการไหลเวียนของโพรพิลีนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้โพรพิลีนเกิดระเหยเป็นไอขึ้นใน T-482B และไหลกลับสู่ถัง M-660

ตาราง 3.1 การทำความเย็นของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

ระดับความเย็น	ระดับสี่	ระดับสาม	ระดับสอง	ระดับหนึ่ง
อุณหภูมิ	+7°C	-7°C	-21°C	-40°C
ระบบให้ความเย็นแก่ (Users)	• Cracked Gas (T-345) • Ethylene Refrigerant (T-646A) • Depropanizer Condenser (T-395)	• Ethylene Refrigerant (T-646B) • Depropanizer Condenser (T-375) • Debuthanizer Product (T-566)	• C2 Refrigerant Sidedraw Desuperheater (T-482 A) • Ethylene Refrigerant (T-646A) • Depropanizer Condenser (T-376) • Demethanizer Condenser (T-445)	• C2 Refrigerant Sidedraw Desuperheater (T-482B) • Ethylene Refrigerant Condenser (T-650) • Demethanizer Feed (T-402)
ระบบให้ความร้อนแก่	•Demethanizer Reboiler (T-420) • Ethylene Product (T-475)	• Ethylene Product (T-474)	• Ethylene Product (T-473)	
	• Ethylene Refrigerant Subcooler (T-411) • Ethylene Product (T-478) • Demethanizer Reboiler (T-410)			
	• C3 Refrigerant Desuperheater (T-698) • C3 Refrigerant Condenser (T-699)			



รูป 3.10 ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน