บทที่ 6

กรณีศึกษา: การหาราคาของการทำความเย็นในแต่ละระดับอุณหภูมิต่างๆ

6.1 บทนำ

ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเป็นระบบปิด มีโพรพิลีนทำหน้าที่เป็นสารทำความเย็นและสารให้ความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในระบบ โดยมีระดับอุณหภูมิการทำความเย็นสี่ระดับที่ -40°C, -21°C, -7°C และ 7°C ตามลำดับ การหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับอุณหภูมิต่างๆ ทำได้โดยการทดสอบเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนไหลเวียนภายในระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นการสมมติกรณีผู้ใช้ (User) ที่อุณหภูมิการทำความเย็นระดับใดๆ ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นที่มากขึ้นนี้จะทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องรับภาระ (Load) หนักมากขึ้น ส่งผลให้เครื่องจักรไอน้ำ ต้องการใช้ปริมาณไอน้ำความดันสูงมากขึ้น นั่นหมายถึงต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายในการซื้อไอน้ำความดันสูงในการทำความเย็นที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปัจจุบัน สำหรับบทนี้ได้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการทำความเย็นการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับอุณหภูมิต่างๆ โดยเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ทำให้ทราบราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในระดับการทำความเย็นใดๆ 1 ตัน/ชม. การหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนแต่ละระดับ มีจุดประสงค์เพื่อการคำนวณเกี่ยวกับต้นทุน และสำหรับกรณีที่ผู้ใช้ในสายกระบวนการต้องการเพิ่มปริมาณการไหล จะต้องใช้ปริมาณสารทำความเย็นมากขึ้นเท่าไร และทราบถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องเพิ่มขึ้น

6.2 การหาราคาของการทำความเย็นในแต่ละระดับทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ

การหาราคาของการทำความเย็นในระดับอุณหภูมิใดนั้น สามารถทำได้โดยการทดลองเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้ผู้ใช้แต่ละระดับอุณหภูมิที่ต้องการทำความเย็นเพิ่มขึ้น (กรณีศึกษา) โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ได้ปรับให้สอดคล้องกับข้อมูลปัจจุบันแล้ว (กรณีปัจจุบัน) การหาต้นทุนที่สูงขึ้นในแต่ละระดับทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ นี้ ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของสาร โพรพิลีนให้แก่ระบบทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมง จากนั้นเปิดวาล์วให้โพรพิลีนส่วนเกินนี้ผ่านเข้าไปในระดับการทำความเย็นที่อุณหภูมินั้นๆ เพื่อให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือผู้ใช้ในระดับอุณหภูมินั้นได้รับความเย็นมากขึ้น ซึ่งปริมาณของโพรพิลีนที่มากขึ้นนี้ จะ

ไม่ส่งผลกระทบกับผู้ใช้ที่ระดับการทำความเย็นอื่นๆ โดยจะมีปริมาณของสารทำความเย็นที่ผู้ใช้ต้องการทำความเย็นเท่าเดิม และยังสามารถทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม ยกตัวอย่างเช่น ในระดับหนึ่งการทำความเย็นที่อุณหภูมิ -40°C ผู้ใช้ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น กรณีนี้จะเปิดวาล์วให้สารโพรพิลีนไหลผ่านเฉพาะกับผู้ใช้ที่ระดับการทำความเย็นอุณหภูมิ -40°C นี้เพิ่มขึ้น การทดลองนี้ทำได้โดยเพิ่มปริมาณสารโพรพิลีนไหลเข้าสู่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง และปล่อยให้ส่วนที่เพิ่มของโพรพิลีนนี้ผ่านเข้าสู่ผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นซึ่งได้แก่ T-650, T-402 และ T-482B เท่านั้น จากนั้นเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 ทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องทำงานหนักมากขึ้น พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการมากขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรไอน้ำต้องการใช้ปริมาณไอน้ำความดันสูงมากขึ้นด้วยในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ นั่นคือต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น คิดเป็นราคาของการทำความเย็นที่ระดับอุณหภูมิ -40 °C ได้

การสร้างแบบจำลองกรณีที่ใช้ปริมาณของโพรพิลีนเพิ่มขึ้น ในแต่ละระดับของการทำความเย็นนั้น แบบจำลองที่สร้างขึ้นต้องไม่ส่งกระทบต่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนตัวอื่นๆ โดยยังคงหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม และระบบมีการดำเนินงานเหมือนเดิม ยกเว้นผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นเท่านั้น และคำนึงถึงความปลอดภัยต่ออุปกรณ์ต่างๆ การสร้างแบบจำลองระบบนี้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพหรือค่าในการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ตัวอื่นๆ เหมือนเดิม เพื่อไม่ให้มีผลกระทบกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน
2. อุณหภูมิ และความดัน ที่อุปกรณ์แต่ละตัวในระบบยอมรับได้
3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้หรืออุปกรณ์ที่ต้องการทำความเย็นเพิ่ม ต้องไม่เกินขอบเขตที่อุปกรณ์ยอมรับได้
4. ความสามารถที่คอมเพรสเซอร์ยอมรับได้ และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายได้แก่ ขอบเขตต่ำสุดของการเกิดเซิร์จ (% > Surge) ขอบเขตสูงสุดของสโตนวอลล์ (% < Stonewall) และไม่เกินความเร็วรอบวิกฤติของคอมเพรสเซอร์

6.2.1 การคำนวณ

(1) การคำนวณราคาของการทำความเย็น

การคำนวณค่าใช้จ่ายหรือราคาของการทำความเย็น สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ กับปริมาณไอน้ำความดันสูงที่ป้อนให้กับเครื่อง

จักรไอน้ำ ซึ่งสมการนี้ได้แสดงที่มาในบทที่ 5 เรื่องการออปติไมซ์แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน หัวข้อ 5.2.3 แสดงสมการค่าใช้จ่ายมีดังต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ = ปริมาณของไอน้ำความดันสูง * ราคาไอน้ำ, หน่วยบาท/ตัน/ปี

ซึ่ง ปริมาณของไอน้ำความดันสูง = 85.0272 * พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ, หน่วยตัน/ปี (ที่มาจากการกำหนดสูตรในบทที่ 5 การออปติไมซ์แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน)

และอ้างอิงราคาของไอน้ำความดันสูง = 430 บาท/ตัน (จากส่วนวิจัยและพัฒนา ฝ่ายเทคนิค โรงงานไทยโอเลฟินส์ จังหวัดระยอง)

ราคาการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 1 ตันต่อชั่วโมง หรือต้นทุนนี้คำนวณได้จากผลต่างระหว่าง กรณีปัจจุบันคือแบบจำลองที่ผ่านการปรับให้สอดคล้องกับข้อมูลแล้ว และกรณีเมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็น 1 ตันให้แก่แบบจำลอง

(2) การคำนวณปริมาณการไหลของสายกระบวนการ

กรณีที่ผู้ใช้ (User) แต่ละตัวในระดับการทำความเย็นต่างๆ ใช้ปริมาณโพรพิลีนเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยที่อุณหภูมิควบคุมยังเท่าเดิม เพื่อนำไปพิจารณาย้อนกลับถึงค่าใช้จ่ายของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อต้องเพิ่มอัตราการไหลของสายกระบวนการได้ การคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถหาได้จากสมการ

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \tag{6.1}$$

Q = ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Duty), MMKCAL / HR

$\dot{m}$ = อัตราการไหล, KG / HR

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของก๊าซ, KCAL / KG °C

T = อุณหภูมิ, °C

จากสมการ 6.1 สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของสายกระบวนการได้เป็น

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} \tag{6.2}$$

6.3 กรณีศึกษา 1: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -40°C

การทำความเย็นขั้นที่หนึ่งประกอบด้วยผู้ใช้หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 ตัวได้แก่ T-402, T-650, และ T-482B วาล์วควบคุม 3 ตัว และถังแฟลช (M-660) การหาราคาของการทำความเย็นทำได้โดยเพิ่มปริมาณของสารโพรพิลีนเข้าสู่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โดยให้ปริมาณของสารโพรพิลีนที่เพิ่มนี้เฉพาะกับผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นคือ T-402, T-650, และT-482B เท่านั้น ซึ่งการทำความเย็นในระดับอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ และความต้องการปริมาณของสารโพรพิลีนสำหรับผู้ใช้ระดับอื่นๆ ยังคงเหมือนเดิม

การจำลองระบบกรณีศึกษา 1 ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง สารทำความเย็นจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่การทำความเย็นระดับสี่ ที่การทำความเย็นระดับนี้จะปรับวาล์วของสายเลี่ยงให้อัตราการไหลของสายเลี่ยงนี้เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง และขณะเดียวกันสายผู้ใช้อื่นๆ ยังคงมีอัตราการไหลเหมือนเดิม เช่นเดียวกันเมื่อโพรพิลีน 1 ตันผ่านเข้าสู่การทำความเย็นในระดับที่สามและสอง ก็จะปรับให้อัตราการไหลของสายผู้ใช้มีการไหลคงเดิม โดยปรับวาล์วสายเลี่ยงให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 1 ตัน เพื่อเข้าสู่การทำความเย็นในระดับที่หนึ่ง และการทำความเย็นระดับนี้จะปรับเพียงวาล์วสายเลี่ยงให้มีอัตราการไหลเดิมเท่านั้น ส่วนอัตราการไหลของสายผู้ใช้จะยังคงเป็นสัดส่วนเดิม (การกระจายอัตราส่วนการไหลตามแบบจำลองเดิม)

6.3.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 1

ผลการจำลองระบบในกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40°C ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเป็นกรณีศึกษา 1 แสดงดังรูป 6.2 และกรณีปัจจุบันของโรงงานแสดงในรูป 6.1 โดยผลการจำลองระบบของทั้ง 2 กรณี ได้เปรียบเทียบค่าความเร็วรอบ และกำลังที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ แสดงดังตาราง 6.1 และ 6.2 ส่วนตาราง 6.3 แสดงถึงความต้องการการทำความเย็นมากขึ้นของผู้ใช้ T-402, T-650, และ T-482B โดยแสดงเป็นปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อน (Duty) ของกรณีศึกษา 1 และกรณีปัจจุบัน

กรณีศึกษา 1 นี้ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับหนึ่ง ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น ดังนั้นปริมาณของโพรพิลีนได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง เป็นผลให้

คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น และคอมเพรสเซอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบมากขึ้น ซึ่งผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์กรณีศึกษา 1 เทียบกับกรณีปัจจุบันแสดงดังตาราง 6.1

ตาราง 6.1 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน

คอมเพรสเซอร์	พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ (Kw)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 1
ขั้นที่1	1,066.974	1,075.610
ขั้นที่2	1,578.848	1,592.950
ขั้นที่3	2,051.882	2,058.300
ขั้นที่4	6,215.704	6,223.965
พลังงานที่ใช้ (Kw)	10,913.408	10,950.825
ความเร็วรอบ (Rpm)	5,142.989	5,144.700

ตาราง 6.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 1

ผู้ใช้	ปริมาณความร้อน (Duty, MMKCAL/HR)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 1
T-650	7.082	7.154
T-402	2.060	2.079
T-482B	0.379	0.382

6.3.2 การคำนวณ

(1) การคำนวณราคาของการทำความเย็นระดับหนึ่ง

จากผลของแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อผู้ใช้ T-650, T-402 และ T-482B ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้แก่การทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40 °C มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ได้ผลของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการมากขึ้น37.427 กิโลวัตต์ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณไอน้ำความดันสูงที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น = 85.0272 * พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้มากขึ้น

= 85.0272 * 37.417 ตันต่อปี

= 3,181.463 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ = ปริมาณของไอน้ำ * ราคาของไอน้ำ

ราคาของไอน้ำความดันสูง = 430 บาท/ตัน (อ้างอิงจากโรงงานไทยโอเลฟินส์)

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ เมื่อผู้ใช้ในระดับหนึ่งต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของโพรพิลีน 1 ตัน/ปี = 3,181.463 * 430

= 1,368,028.98 บาท/ปี

ดังนั้นราคาของการทำความเย็น = 1,368,028.98 บาท/ตัน/ปี

(2) การคำนวณปริมาณการไหลของสายกระบวนการ

กรณีที่ผู้ใช้ T-650, T-402 และ T-482B ต้องการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยที่อุณหภูมิควบคุมยังเท่าเดิม เพื่อนำไปพิจารณาย้อนกลับถึงค่าใช้จ่ายของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อต้องเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ จากสมการที่ 6.2 และตาราง 6.2 ซึ่งแสดงผลปริมาณความร้อนของกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 1 รวมทั้งข้อมูลของสายกระบวนการในตาราง 6.3 สามารถใช้คำนวณหาปริมาณการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์แต่ละตัว

ตาราง 6.3 ข้อมูลของสายกระบวนการ

ผู้ใช้	อุณหภูมิขาเข้า, °C	อุณหภูมิขาออก, °C
T-650	-18.10	-37.00
T-402	-23.70	-36.00
T-482B	-180.00	-37.00

ยกตัวอย่างการคำนวณ อัตราการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์ T-482B ซึ่งสายกระบวนการเป็นเอธิลีนมีอุณหภูมิเข้าและออกที่ –18 °C และ –37 °C ตามลำดับดังตาราง 6.3 โดยมีความจุความร้อนจำเพาะเป็น 0.384 KCAL / KG °C และจากตาราง 6.3 ปริมาณการแลกเปลี่ยน

ความร้อนของกรณีศึกษา 1 เท่ากับ 0.386 MMKCAL/HR และกรณีปัจจุบันเป็น 0.379 MMKCAL /HR แสดงการคำนวณเป็นดังนี้

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \text{-0.386E+06 / [0.384 * (-37 +18)]}$$

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-482B ในกรณีศึกษา 1 = 52,905.701 KG / HR

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-482B ในกรณีปัจจุบัน = 51,946.271 KG / HR

ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นของสารทำความเย็น ทำให้สายกระบวนการสามารถทำความเย็นได้มากขึ้น โดยอัตราการไหลของสายกระบวนการได้เพิ่มขึ้น 959.43 KG/HR ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเท่ากับ 1,368,394.60 บาท/ตัน/ปี หรือ 156.21บาท/ตัน/ชั่วโมง สำหรับผลการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการของผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับหนึ่งแสดงในตาราง 6.4

ตาราง 6.4 อัตราการไหลของสายกระบวนการในกรณีปัจจุบันเทียบกับกรณีศึกษา 1

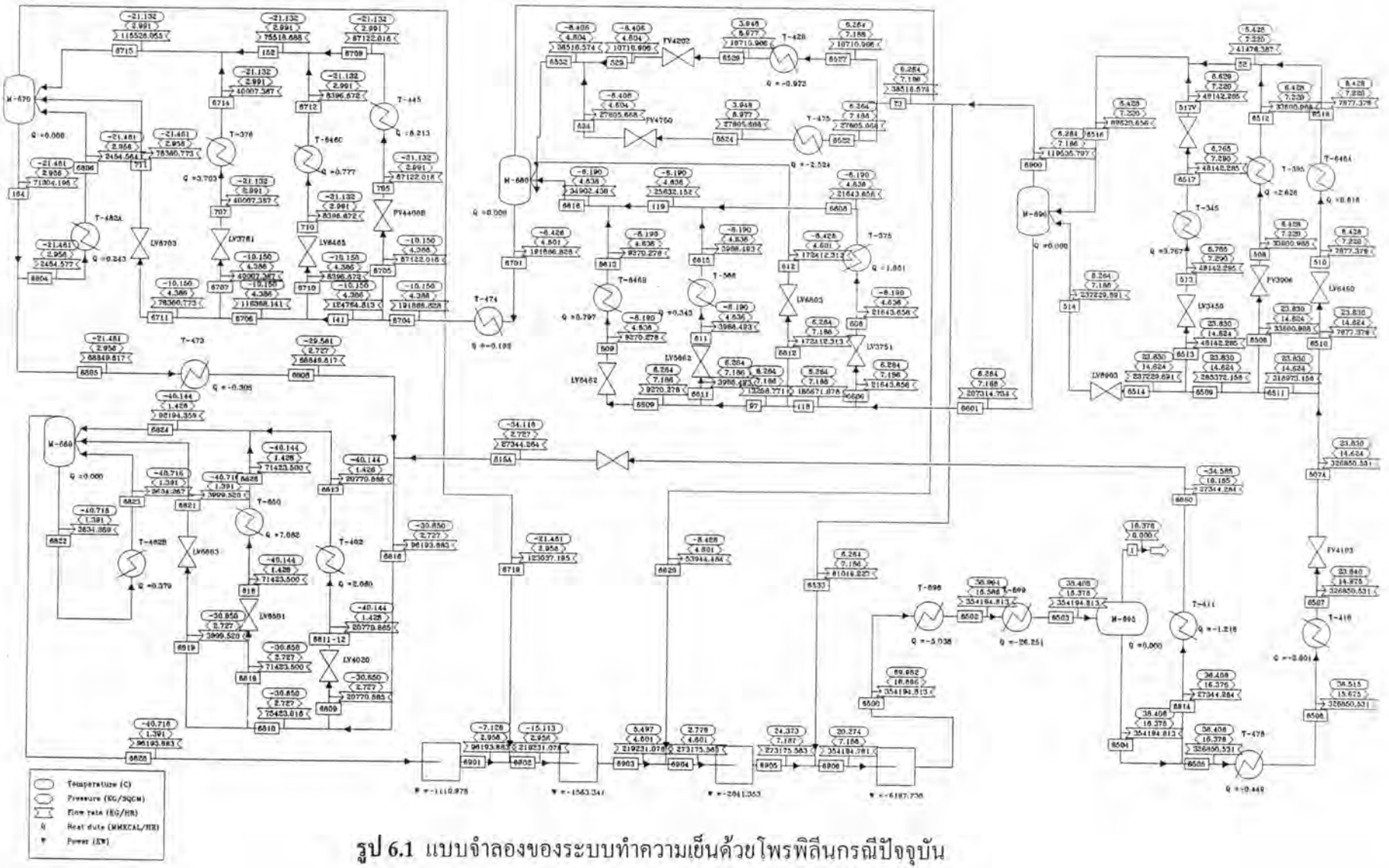
ผู้ใช้	อัตราการไหลของสายกระบวนการ, KG / HR		
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 1	การไหลเพิ่มขึ้น
T-650	325,526.878	328,836.385	3,125.647
T-402	85,203.390	85,989.247	785.857
T-482B	51,946.271	52,357.456	411.185

6.3.3 วิจารณ์ผล

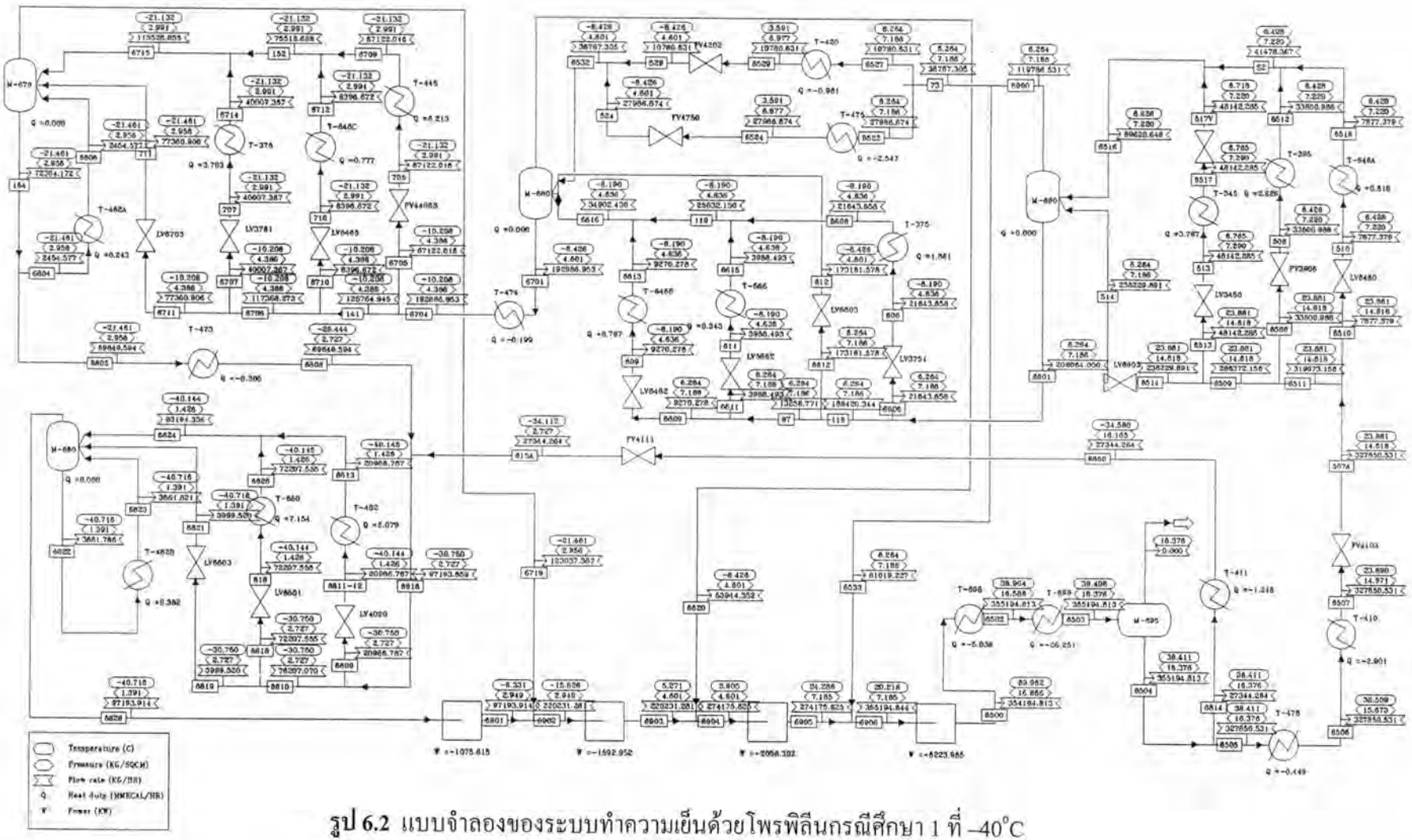
การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน สำหรับกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40 °C มีความต้องการการทำความเย็นมากขึ้น โดยพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่ผู้ใช้คือ T-402, T-650, และ T-482B และการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนจะไม่กระทบต่อการทำความเย็นในระดับที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งผู้ใช้ในระดับทำความเย็นอื่นๆ ยังมีความต้องการปริมาณของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิม และทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม สามารถทำได้โดยการเปิดวาล์วให้โพรพิลีนส่วนเกินนี้ผ่านเข้าไปในในการทำความเย็นระดับหนึ่งเท่านั้น การจำลองระบบแบบนี้เพื่อการคำนวณราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -40 °C

การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมงให้แก่การทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40°C นี้ ปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง คือ จากเดิม 96,194 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 97,194 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากปริมาณของสารทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น 37.417 กิโลวัตต์ นั่นหมายความว่าเครื่องจักรไอน้ำต้องการใช้ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น จากการคำนวณได้ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3,181.463 ตันต่อปี และราคาของการทำความเย็นระดับหนึ่งเท่ากับ 1,368,028.98 บาทต่อปี สำหรับปริมาณของโพรพิลีน 1 ตันต่อชั่วโมง

ในทางกลับกันเมื่อต้องการเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยอุณหภูมิถูกควบคุมให้คงที่ สามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น ผลของการเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณการไหลของสายกระบวนการในอุปกรณ์ T-650, T-402 และ T-482B เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3,309.508 Kg/hr, 785,857 Kg/hr และ 411.185 Kg/hr ตามลำดับ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1,368,028.98 บาท/ตัน/ปี



รูป 6.1 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนกรณีปัจจุบัน



รูป 6.2 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนกรณีศึกษา 1 ที่ –40°C

6.4 กรณีศึกษา 2: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสองที่อุณหภูมิ -21°C

การทำความเย็นระดับที่สองประกอบด้วยผู้ใช้หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 4 ตัวได้แก่ T-376, T-646C, T-445 และ T-482A วาล์วควบคุม 4 ตัว และถังแฟลช (M-670) การหาราคาของการทำความเย็นทำได้โดยเพิ่มปริมาณของสารโพรพิลีนเข้าสู่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โดยให้ปริมาณของสารโพรพิลีนที่เพิ่มนี้เฉพาะกับผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นคือ T-376, T-646C, T-445 และ T-482A เท่านั้น ซึ่งการทำความเย็นในระดับอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ และความต้องการปริมาณของสารโพรพิลีนสำหรับผู้ใช้ระดับอื่นๆ ยังคงเท่าเดิม เพื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนเหมือนเดิม

การจำลองระบบกรณีศึกษา 2 ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โพรพิลีนที่ออกจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่การทำความเย็นระดับสี่ ระดับการทำความเย็นนี้จะปรับวาล์วของสายเลี่ยงให้อัตราการไหลของสายเลี่ยงนี้เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ส่วนสายผู้ใช้อื่นๆ ยังคงมีอัตราการไหลเหมือนเดิม เช่นเดียวกันเมื่อโพรพิลีน 1 ตันผ่านเข้าสู่การทำความเย็นในระดับที่สาม ก็จะปรับวาล์วให้อัตราการไหลของสายผู้ใช้มีค่าเท่าเดิม เมื่อเข้าสู่การทำความเย็นในระดับที่สอง จะปรับวาล์วเพิ่มการไหลให้แก่ผู้ใช้ในระดับที่สองนี้เท่านั้น โดยวาล์วสายเลี่ยงให้มีอัตราการไหลเหมือนเดิม ซึ่งการกระจายสัดส่วนการไหลจะเป็นการปรับ เพื่อให้ไอโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง

6.4.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 2

ผลการจำลองระบบในกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสองที่ -21°C ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเป็นกรณีศึกษา 2 แสดงดังรูป 6.3 และกรณีปัจจุบันของโรงงานแสดงในรูป 6.1 โดยผลการจำลองระบบของทั้ง 2 กรณี ได้เปรียบเทียบค่าความเร็วรอบ และกำลังที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ แสดงดังตาราง 6.4 และ 6.5 ส่วนตาราง 6.6 แสดงถึงความต้องการการทำความเย็นมากขึ้นของผู้ใช้ T-376, T-646C, T-445 และ T-482A โดยแสดงเป็นปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้นของกรณีศึกษา 2 กับกรณีปัจจุบัน

กรณีศึกษา 2 นี้ผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับที่ 2 ต้องการทำความเย็นมากขึ้น ดังนั้นปริมาณของโพรพิลีนได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง เป็นผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น และคอมเพรสเซอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบมากขึ้น ซึ่งผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์กรณีศึกษา 2 เทียบกับกรณีปัจจุบันแสดงดังตาราง 6.5

ตาราง 6.5 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นในการทำความเย็นระดับสองที่ -21 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน

คอมเพรสเซอร์	พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ (Kw)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 2
ขั้นที่1	1,066.974	1,067.960
ขั้นที่2	1,578.848	1,585.050
ขั้นที่3	2,051.882	2,057.660
ขั้นที่4	6,215.704	6,234.338
พลังงานที่ใช้ (Kw)	10,913.408	10,945.008
ความเร็วรอบ (Rpm)	5,142.989	5144.534

ตาราง 6.6 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้ในกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 2

ผู้ใช้	ปริมาณความร้อน (Duty, MMKCAL/HR)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 2
T-376	3.703	3.738
T-646C	0.777	0.799
T-445	6.213	6.248
T-482A	0.243	0.243

6.4.2 การคำนวณ

(1) การคำนวณราคาการทำความเย็น

จากผลของแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อผู้ใช้ T-376, T-646C, T-445 และ T-482A ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้แก่ระดับการทำความเย็นสองที่ -21 °C มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ได้ผลของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการมากขึ้น 31.60 กิโลวัตต์ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณไอน้ำความดันสูงที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น = 85.0272 * พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้มากขึ้น

= 85.0272 * 31.60 ตันต่อปี

= 2,686.86 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ = ปริมาณของไอน้ำ * ราคาของไอน้ำ

ราคาของไอน้ำความดันสูง = 430 บาท/ตัน (อ้างอิงจากโรงงานไทยโอเลฟินส์)

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ เมื่อผู้ใช้ในระดับสองต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของโพรพิลีน 1 ตัน/ปี = 2,686.86 * 430

= 1,155,349.59 บาท/ปี

ดังนั้นราคาของการทำความเย็น = 1,155,349.59 บาท/ปี

(2) การคำนวณปริมาณการไหลของสายกระบวนการ

กรณีที่ผู้ใช้ T-376, T-646C, T-445 และ T-482A ต้องการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยที่อุณหภูมิควบคุมยังเท่าเดิม เพื่อนำไปพิจารณาย้อนกลับถึงค่าใช้จ่ายของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อต้องเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ จากสมการที่ 6.2 และผลตาราง 6.6 ซึ่งแสดงผลปริมาณความร้อนของกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 2 รวมทั้งข้อมูลของสายกระบวนการในตาราง 6.7 สามารถใช้คำนวณหาปริมาณการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์แต่ละตัว

ตาราง 6.7 ข้อมูลของสายกระบวนการ

ผู้ใช้	อุณหภูมิขาเข้า, °C	อุณหภูมิขาออก, °C
T-376	-3.00	-17.00
T-646C	-4.00	-18.00
T-445	-15.36	-16.95
T-482A	-4.70	-18.00

ยกตัวอย่างการคำนวณปริมาณการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์ T-646C ซึ่งสายกระบวนการเป็นเอธิลีนมีอุณหภูมิเข้าและออกที่ –4 °C และ –18 °C ตามลำดับดังตาราง 6.7 โดยมีความจุความร้อนจำเพาะเป็น 0.416 KCAL / KG °C และจากตาราง 6.6 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษา 2 เท่ากับ 0.799 MMKCAL / HR และกรณีปัจจุบันเป็น 0.777 MMKCAL / HR แสดงการคำนวณเป็นดังนี้

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \text{-0.799E+06 / [0.416 * (-18 + 4)]}$$

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646C ในกรณีศึกษา 2 = 137,190.934 KG / HR

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646C ในกรณีปัจจุบัน = -0.777E+06 / [0.416*(-18+4)]

= 133,413.461 KG / HR

ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นของสารทำความเย็น ทำให้สายกระบวนการสามารถทำความเย็นได้มากขึ้น โดยอัตราการไหลของสายกระบวนการได้เพิ่มขึ้น 3,777.473 KG / HR ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเท่ากับ 1,155,349.59 บาท/ตัน/ปี หรือ 131.89 บาท/ตัน/ชั่วโมง สำหรับผลการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการของผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับสองแสดงในตาราง 6.8

ตาราง 6.8 อัตราการไหลของสายกระบวนการในกรณีปัจจุบันเทียบกับกรณีศึกษา 2

ผู้ใช้	อัตราการไหลของสายกระบวนการ, KG / HR		
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 2	การไหลเพิ่มขึ้น
T-376	205,676.516	207,620.528	1,944.012
T-646C	133,413.461	137,190.934	3,777.473
T-445	2,504,837.929	2,518,948.557	14,110.628
T-482A	47,579.887	47,579.887	0.000

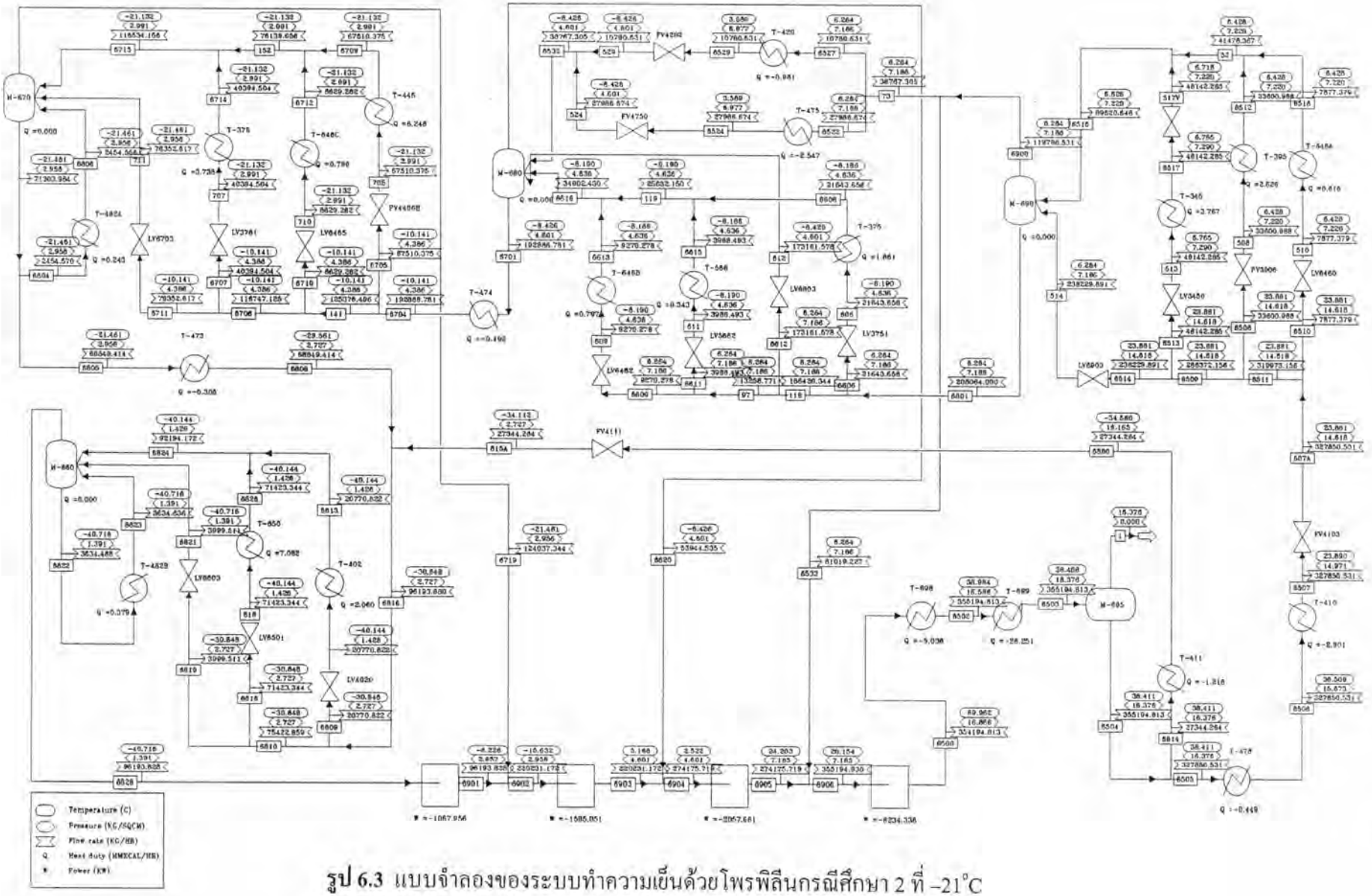
6.4.3 วิจารณ์ผล

การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน สำหรับกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสองที่ –21°C มีความต้องการการทำความเย็นมากขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่ผู้ใช้คือ T-376,

T-646C, T-445 และ T-482A และการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนจะไม่ลกระทบต่อการทำความเย็นในระดับที่ 1, 3 และ 4 ซึ่งผู้ใช้ในระดับการทำความเย็นอื่นๆ ยังมีความต้องการปริมาณของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิม และทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม สามารถทำได้โดยการเปิดวาล์วให้โพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้ผ่านเข้าไปในในการทำความเย็นระดับสองเท่านั้น การจำลองระบบแบบนี้เพื่อทดสอบหาราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -21 °C

เมื่อต้องการเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยอุณหภูมิถูกควบคุมให้คงที่สามารถ สามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบทำความเย็นมากขึ้น ผลของการเพิ่มปริมาณสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณการไหลของสายกระบวนการในอุปกรณ์ T-376, T-646C และ T-445 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,944.012 Kg/hr 3,777.473 Kg/hr และ 14,110.628 Kg/hr ตามลำดับ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1,155,349.59 บาท/ตัน/ปี

การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมงให้แก่การทำความเย็นระดับสองที่ -21°C นี้ ปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง คือ จากเดิม 123,037 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 124,037 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากภาระหรือปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น 31.600 กิโลวัตต์ นั่นหมายความว่าเครื่องจักรไอน้ำต้องการใช้ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น จากการคำนวณได้ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,686.86 ตันต่อปี และราคาของการทำความเย็นระดับสองเท่ากับ 1,155,349.59 บาทต่อปี สำหรับปริมาณของโพรพิลีน 1 ตันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าราคาของการทำความเย็นระดับสองต่ำกว่าราคาของการทำความเย็นระดับหนึ่ง เนื่องจากภาระหรือปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2, 3 และ 4 เท่านั้น แต่การทำความเย็นระดับหนึ่งเป็นการเพิ่มภาระแก่คอมเพรสเซอร์ในทุกๆ ขั้น



รูป 6.3 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนกรณีศึกษา 2 ที่ –21°C

6.5 กรณีศึกษา 3: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสามที่อุณหภูมิ -7°C

การทำความเย็นระดับที่สามประกอบด้วยผู้ใช้หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 ตัวได้แก่ T-566, T-646B และ T-375 วาล์วควบคุม 4 ตัว และถังแฟลช M-680 การหาราคาของการทำความเย็นทำได้โดยเพิ่มปริมาณของสารโพรพิลีนเข้าสู่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โดยให้ปริมาณของสารโพรพิลีนที่เพิ่มนี้เฉพาะกับผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นคือ T-566, T-646B และ T-375 เท่านั้น ซึ่งการทำความเย็นในระดับอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ และความต้องการปริมาณของสารโพรพิลีนสำหรับผู้ใช้ระดับอื่นๆ ยังคงเหมือนเดิม

การจำลองระบบกรณีศึกษา 3 ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โพรพิลีนที่ออกจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่การทำความเย็นระดับสี่ ที่ระดับการทำความเย็นนี้จะปรับวาล์วของสายเลี่ยงให้อัตราการไหลของสายเลี่ยงนี้เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ส่วนสายผู้ใช้อื่นๆ ยังคงมีอัตราการไหลเหมือนเดิม เมื่อเข้าสู่การทำความเย็นในระดับที่สาม จะปรับวาล์วเพิ่มการไหลให้แก่ผู้ใช้ในระดับที่สอง โดยวาล์วสายเลี่ยงให้มีอัตราการไหลเดิม ซึ่งการกระจายสัดส่วนการไหลจะเป็นการปรับ เพื่อให้ไอโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง

6.5.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 3

ผลการจำลองระบบในกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสามที่ -7°C ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเป็นกรณีศึกษา 3 แสดงดังรูป 6.4 และกรณีปัจจุบันของโรงงานแสดงในรูป 6.1 โดยผลการจำลองระบบของทั้ง 2 กรณี ได้เปรียบเทียบค่าความเร็วรอบ และกำลังที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ แสดงดังตาราง 6.9 และ 6.10 ส่วนตาราง 6.11 แสดงถึงความต้องการการทำความเย็นมากขึ้นของผู้ใช้ T-375, T-566, และ T-646B โดยเปรียบเทียบเป็นปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้นของกรณีศึกษา 3 กับกรณีปัจจุบัน

กรณีศึกษา 3 นี้ผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับ 3 ต้องการทำความเย็นมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง เป็นผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น และคอมเพรสเซอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบมากขึ้น ซึ่งผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์กรณีศึกษา 3 เทียบกับกรณีปัจจุบันแสดงดังตาราง 6.9

ตาราง 6.9 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นของการทำความเย็นระดับสามที่ -7 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน

คอมเพรสเซอร์	พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ (Kw)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 3
ขั้นที่1	1,066.974	1,067.940
ขั้นที่2	1,578.848	1,580.100
ขั้นที่3	2,051.882	2,057.590
ขั้นที่4	6,215.704	6,235.589
พลังงานที่ใช้ (Kw)	10,913.408	10,941.219
ความเร็วรอบ (Rpm)	5,142.989	5,144.514

ตาราง 6.10 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 3

ผู้ใช้	ปริมาณความร้อน (Duty, MMKCAL/HR)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 3
T-375	1.861	1.868
T-646B	0.797	0.837
T-566	0.343	0.360

6.5.2 การคำนวณ

(1) การคำนวณราคาของการทำความเย็น

จากผลของแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อผู้ใช้ T-375, T-566, และ T-646B ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้แก่การทำความเย็นระดับสามที่ -7 °C มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ได้ผลของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการมากขึ้น 27.811 กิโลวัตต์ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณไอน้ำความดันสูงที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น = 85.0272 * พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้มากขึ้น

= 85.0272 * 27.811 ตันต่อปี

= 2,364.691 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ = ปริมาณของไอน้ำ * ราคาของไอน้ำ

ราคาของไอน้ำความดันสูง = 430 บาท/ตัน (อ้างอิงจากโรงงานไทยโอเลฟินส์)

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ เมื่อผู้ใช้ในระดับสามต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของโพรพิลีน 1 ตัน/ปี = 2,364.691 * 430

= 1,016,817.33 บาท/ปี

ดังนั้นราคาของการทำความเย็น = 1,016,817.33 บาท/ปี

(2) การคำนวณปริมาณการไหลของสายแลกเปลี่ยน

กรณีที่ผู้ใช้ T-375, T-566, และ T-646B ต้องการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการโดยที่อุณหภูมิควบคุมยังเท่าเดิม เพื่อนำไปพิจารณาย้อนกลับเป็นค่าใช้จ่ายของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อต้องเพิ่มอัตราการไหลของสายกระบวนการ จากสมการที่ 6.2 และผลตาราง 6.10 ซึ่งแสดงผลปริมาณความร้อนของกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 3 รวมทั้งข้อมูลของสายกระบวนการในตาราง 6.11 สามารถใช้คำนวณหาปริมาณการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์แต่ละตัว

ตาราง 6.11 ข้อมูลของสายกระบวนการ

ผู้ใช้	อุณหภูมิขาเข้า, °C	อุณหภูมิขาออก, °C
T-375	13.84	-3.00
T-646B	10.00	-4.00
T-566	43.00	6.00

ยกตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์ T-646B ซึ่งสายกระบวนการเป็นเอธิลีนมีอุณหภูมิเข้าและออกที่ 10 °C และ –4 °C ตามลำดับ โดยมีความจุความร้อนจำเพาะเป็น 0.412 KCAL / KG °C และจากตาราง 6.11 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษา 3 เท่ากับ 0.837 MMKCAL / HR และกรณีปัจจุบันเป็น 0.797 MMKCAL / HR แสดงการคำนวณเป็นดังนี้

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \text{-0.837E+06 / [0.412 * (-10 + 4)]}$$

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646B ในกรณีศึกษา 3 = 145,110.957 KG / HR

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646B ในกรณีปัจจุบัน = -0.797E+06 / [0.412*(-10+4)]

= 138,176.144 KG / HR

ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นของสารทำความเย็น ทำให้สายกระบวนการสามารถทำความเย็นได้มากขึ้น โดยอัตราการไหลของสายกระบวนการได้เพิ่มขึ้น 6,934.813 KG / HR ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเท่ากับ 1,017,036.70 บาท/ตัน/ปี หรือ 116.10 บาท/ตัน/ชั่วโมง สำหรับผลการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการของผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับสามแสดงในตาราง 6.12

ตาราง 6.12 อัตราการไหลของสายกระบวนการกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา3

ผู้ใช้	อัตราการไหลของสายกระบวนการ, KG / HR		
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 2	การไหลเพิ่มขึ้น
T-375	84,359.304	84,676.615	317.311
T-646B	138,176.144	145,110.957	6,934.813
T-566	17,392.627	18,254.652	862.025

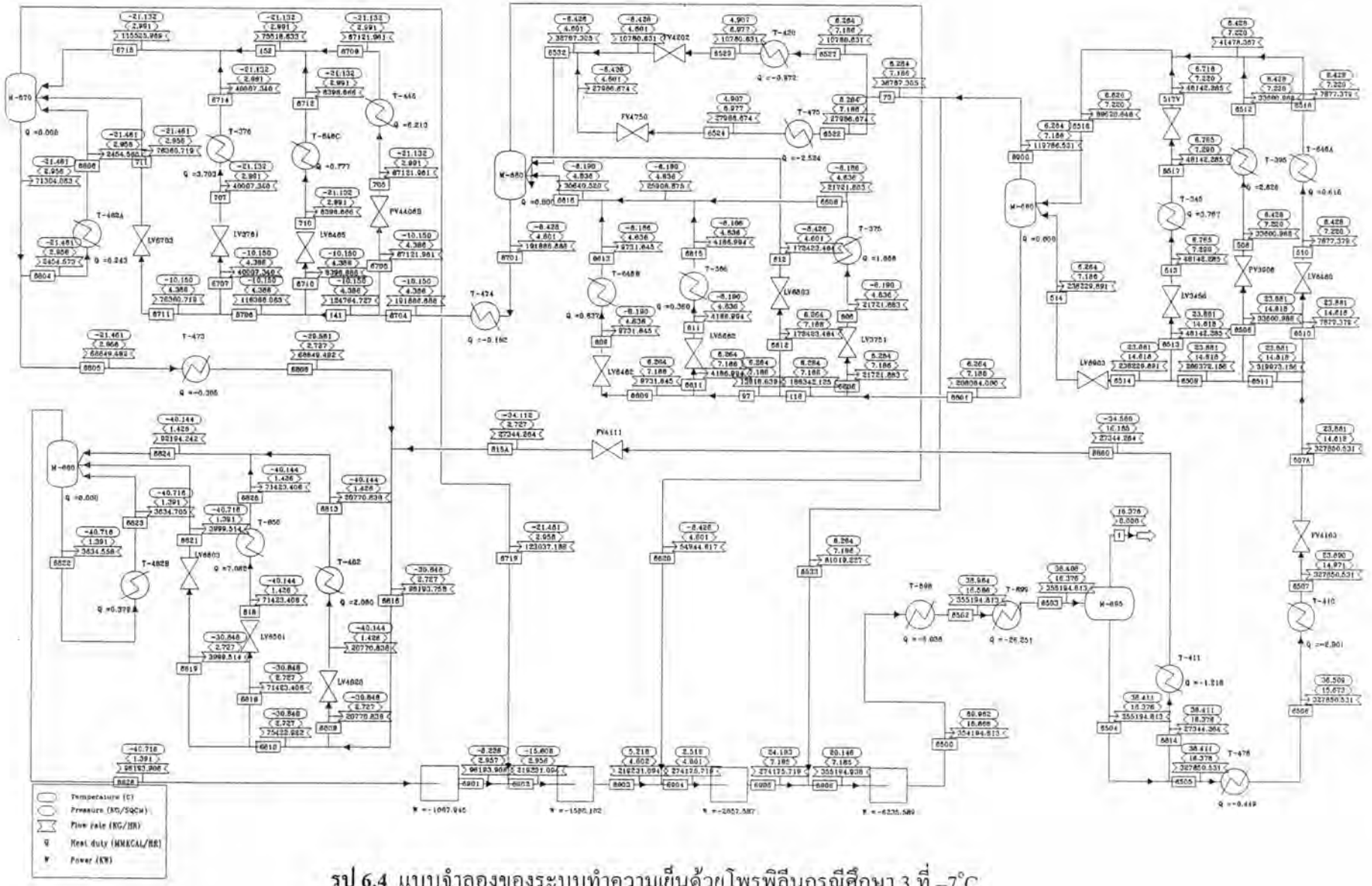
6.5.3 วิจารณ์ผล

การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน สำหรับกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสามที่ -7 °C มีความต้องการการทำความเย็นมากขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่ผู้ใช้คือ T-566,T-646B และ T-375 และการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนจะไม่กระทบต่อการทำความเย็นในระดับที่ 1, 2 และ 4 ซึ่งผู้ใช้ในระดับทำความเย็นอื่นๆ ยังมีความต้องการปริมาณของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิม และทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม สามารถทำได้โดยการเปิดวาล์วให้โพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้ผ่านเข้าไปในในการทำความเย็นระดับสามเท่านั้น การจำลองระบบแบบนี้เพื่อทดสอบหาราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -7 °C

การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมงให้แก่การทำความเย็นระดับสามที่ -7°C นี้ ปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง คือ

จากเดิม 53,944 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 54,944 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากภาระหรือปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น 27.811 กิโลวัตต์ นั่นหมายความว่าเครื่องจักรไอน้ำต้องการใช้ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น จากการคำนวณได้ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,364.691 ตันต่อปี และราคาของการทำความเย็นระดับสามเท่ากับ 1,016,817.33 บาทต่อปี สำหรับปริมาณของโพรพิลีน 1 ตันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าราคาของการทำความเย็นระดับ 3 ต่ำกว่าราคาของการทำความเย็นระดับ 1 และ 2 ด้วยเหตุผลที่ว่าภาระหรือปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 และ 4 เท่านั้น

เมื่อต้องการเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยอุณหภูมิถูกควบคุมให้คงที่ สามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบทำความเย็นมากขึ้น ผลของการเพิ่มปริมาณสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณอัตราการไหลของสายกระบวนการในอุปกรณ์ T-375, T-646B และ T-566 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 317.311 Kg/hr 6,934.813 Kg/hr และ 862.025 Kg/hr ตามลำดับ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1,016,817.33 บาท/ตัน/ปี



รูป 6.4 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนกรณีศึกษา 3 ที่ –7°C

6.6 กรณีศึกษา 4: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสี่ที่อุณหภูมิ 7°C

การทำความเย็นระดับที่ 4 ประกอบด้วยผู้ใช้หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 ตัวได้แก่ T-345, T-646A และ T-395 วาล์วควบคุม 4 ตัว และถังแฟลช M-690 การหาราคาของการทำความเย็นทำได้โดยเพิ่มปริมาณของสารโพรพิลีนเข้าสู่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โดยให้ปริมาณของสารโพรพิลีนที่เพิ่มนี้เฉพาะกับผู้ใช้ที่ต้องการการทำความเย็นมากขึ้นคือ T-345, T-646A และ T-395 เท่านั้น ซึ่งการทำความเย็นในระดับอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ และความต้องการปริมาณของสารโพรพิลีนสำหรับผู้ใช้ระดับอื่นๆ ยังคงเหมือนเดิม

การจำลองระบบกรณีศึกษา 4 ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โพรพิลีนที่ออกจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่การทำความเย็นระดับสี่ จะทำการปรับวาล์วในสายผู้ใช้ โดยให้สายเลี่ยงมีอัตราการไหลเท่าเดิม และทำการปรับเพื่อกระจายสัดส่วนการไหลให้ไอพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 เพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง โดยไม่ให้โพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้ไปสู่การทำความเย็นในระดับอื่นๆ

6.6.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 4

ผลการจำลองระบบในกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสี่ที่ 7°C ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเป็นกรณีศึกษา 4 แสดงดังรูป 6.5 และกรณีปัจจุบันของโรงงานแสดงในรูป 6.1 โดยผลการจำลองระบบของทั้ง 2 กรณี ได้เปรียบเทียบค่าความเร็วรอบ และกำลังที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ แสดงดังตาราง 6.13 และ 6.14 ส่วนตาราง 6.15 แสดงถึงความต้องการการทำความเย็นมากขึ้นของผู้ใช้ T-345, T-646A และ T-395 โดยเปรียบเทียบเป็นปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้นของกรณีศึกษา 4 กับกรณีปัจจุบัน

กรณีศึกษา 4 นี้ผู้ใช้ในการทำความเย็นระดับที่ 4 ต้องการทำความเย็นมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง เป็นผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น และคอมเพรสเซอร์ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบมากขึ้น ซึ่งผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์กรณีศึกษา 4 เทียบกับกรณีปัจจุบันแสดงดังตาราง 6.13

ตาราง 6.13 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นของการทำความเย็นระดับสี่ที่ 7 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน

คอมเพรสเซอร์	พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ (Kw)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 4
ขั้นที่1	1,066.974	1067.895
ขั้นที่2	1,578.848	1580.039
ขั้นที่3	2,051.882	2053.477
ขั้นที่4	6,215.704	6235.797
พลังงานที่ใช้ (Kw)	10,913.408	10937.208
ความเร็วรอบ (Rpm)	5,142.989	5144.440

ตาราง 6.14 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้ในกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 4

ผู้ใช้	ปริมาณความร้อน (Duty, MMKCAL/HR)	
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 4
T-345	3.767	3.825
T-395	2.626	2.633
T-646A	0.616	0.617

6.6.2 การคำนวณ

(1) การคำนวณราคาของการทำความเย็น

จากผลของแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน เมื่อผู้ใช้ T-345, T-646A และ T-395 ต้องการการทำความเย็นมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้แก่การทำความเย็นระดับสองที่ 7°C มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ได้ผลของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการมากขึ้น 23.800 กิโลวัตต์ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณไอน้ำความดันสูงที่เพิ่มขึ้นได้ดังนี้

ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น = 85.0272 * พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้มากขึ้น

= 85.0272 * 23.800 ตันต่อปี

= 2,023.647 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ = ปริมาณของไอน้ำ * ราคาของไอน้ำ

ราคาของไอน้ำความดันสูง = 430 บาท/ตัน (อ้างอิงจากโรงงานไทยโอเลฟินส์)

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ เมื่อผู้ใช้ในระดับสี่ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของโพรพิลีน 1 ตัน/ปี = 2,023.647 * 430

= 870,168.36 บาท/ปี

ดังนั้นราคาของการทำความเย็น = 870,168.36 บาท/ปี

(2) การคำนวณอัตราการไหลของสายแลกเปลี่ยน

กรณีที่ผู้ใช้ T-345, T-395, และ T-646A ต้องการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของสายกระบวนการ โดยที่อุณหภูมิควบคุมยังเท่าเดิม เพื่อนำไปพิจารณาย้อนกลับเป็นค่าใช้จ่ายของการทำความเย็น เมื่อต้องเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการจากสมการที่ 6.2 และตาราง 6.14 ซึ่งแสดงผลปริมาณความร้อนของกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 4 รวมทั้งข้อมูลของสายกระบวนการในตาราง 6.15 สามารถใช้คำนวณหาปริมาณการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์แต่ละตัว

ตาราง 6.15 ข้อมูลของสายกระบวนการ

ผู้ใช้	อุณหภูมิขาเข้า, °C	อุณหภูมิขาออก, °C
T-345	45.98	11.00
T-395	13.70	10.80
T-646A	21.00	10.00

ยกตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการของอุปกรณ์ T-646A ซึ่งสายกระบวนการเป็นเอธิลีนมีอุณหภูมิเข้าและออกที่ 21 °C และ 10 °C ตามลำดับดังตาราง 6.15 โดยมีความจุความร้อนจำเพาะเป็น 0.412 KCAL / KG °C และจากตาราง 6.14 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษา 4 เท่ากับ 0.617 MMKCAL / HR และกรณีปัจจุบันเป็น 0.616 MMKCAL / HR แสดงการคำนวณเป็นดังนี้

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} = \text{-0.617E+06 / [0.412 * (21 - 10)]}$$

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646A ในกรณีศึกษา 4 = 136,142.983 KG / HR

อัตราการไหลของสายกระบวนการของ T-646A ในกรณีปัจจุบัน = -0.616E+06 / [0.412*(21-10)]

= 135,922.330 KG / HR

ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นของสารทำความเย็น ทำให้สายกระบวนการสามารถทำความเย็นได้มากขึ้น โดยอัตราการไหลของสายกระบวนการได้เพิ่มขึ้น 220.653 KG / HR จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นราคาของการทำความเย็นเท่ากับ 870,168.36 บาท/ตัน/ปี หรือ 99.33 บาท/ตัน/ชั่วโมง สำหรับผลการคำนวณอัตราการไหลของสายกระบวนการแสดงในตาราง 6.16

ตาราง 6.16 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของสายกระบวนการกรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 4

ผู้ใช้	อัตราการไหลของสายกระบวนการ, KG / HR		
	กรณีปัจจุบัน	กรณีศึกษา 2	การไหลเพิ่มขึ้น
T-345	105,578.537	107,204.116	1,625.580
T-395	370,973.119	371,962.004	988.885
T-646A	135,922.330	136,142.983	220.653

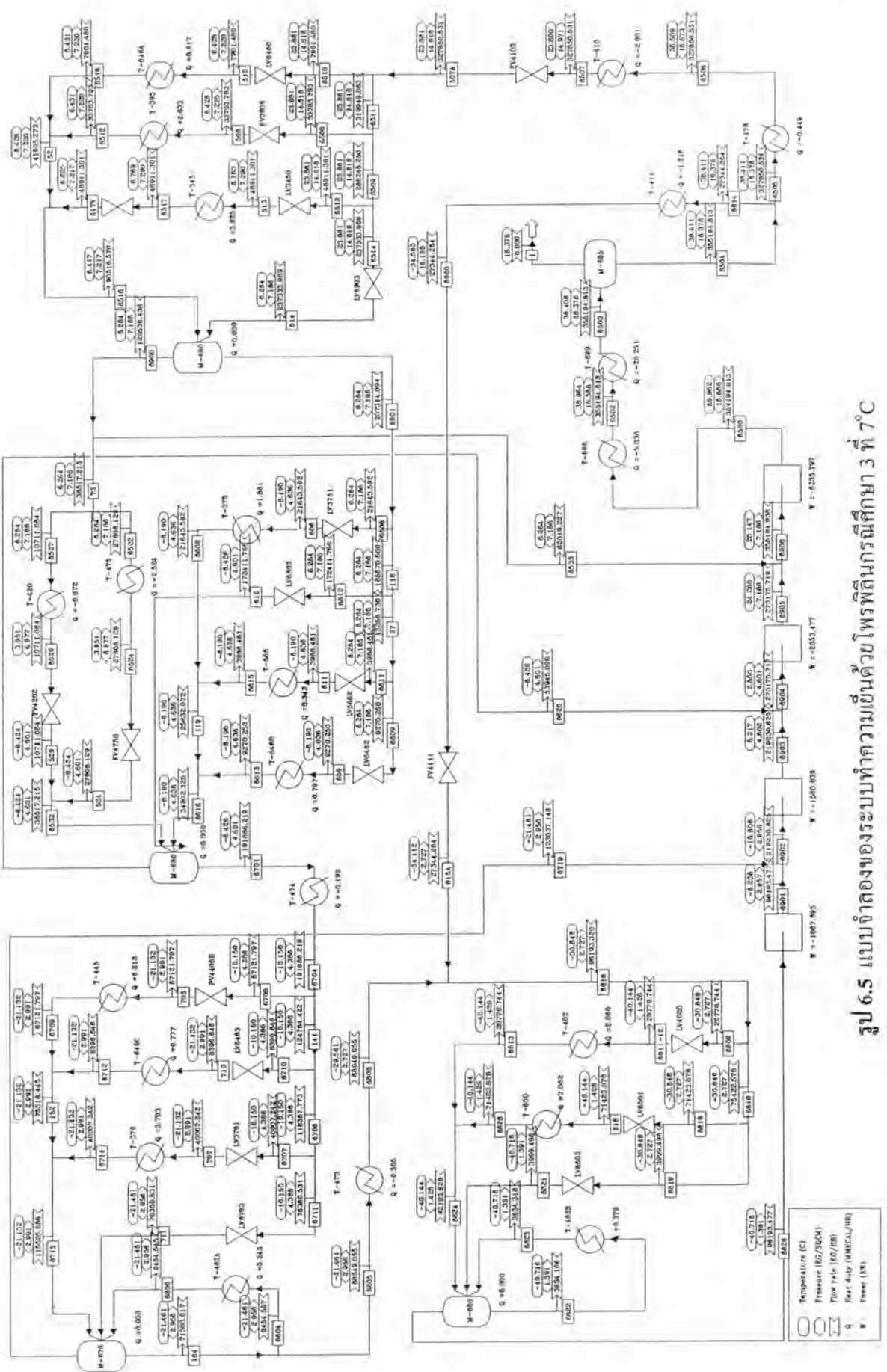
6.6.3 วิจารณ์ผล

การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน สำหรับกรณีที่ผู้ใช้ของการทำความเย็นระดับสี่ที่ 7 °C มีความต้องการการทำความเย็นมากขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่ผู้ใช้คือ T-345, T-395 และ T-646A และการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนจะไม่กระทบต่อการทำความเย็นในระดับที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งผู้ใช้ในระดับทำความเย็นอื่นๆ ยังมีความต้องการปริมาณของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิม และทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนได้เหมือนเดิม สามารถทำได้โดยการเปิดวาล์วให้โพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้ผ่านเข้าไปในในการทำความเย็นระดับสี่เท่านั้น การจำลองระบบแบบนี้เพื่อทดสอบหาราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ 7 °C

การเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมงให้แก่การทำความเย็นระดับสี่ที่ 7°C นี้ ปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นได้เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง คือจากเดิม 81,019 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 82,019 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากภาระหรือปริมาณของโพรพิลีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น 23.800 กิโลวัตต์ นั่น

หมายความว่าเครื่องจักรไอน้ำต้องการใช้ปริมาณของไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น จากการคำนวณได้ปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,023.647 ตันต่อปี และราคาของการทำความเย็นระดับสี่เท่ากับ 870,168.36 บาทต่อปี สำหรับปริมาณของโพรพิลีน 1 ตันต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าราคาของการทำความเย็นระดับ 4 ถูกที่สุด เนื่องจากปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 เท่านั้น ทำให้คอมเพรสเซอร์มีความต้องการพลังงานต่ำที่สุดคือ 10,937.208 กิโลวัตต์

เมื่อต้องการเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการ โดยอุณหภูมิถูกควบคุมให้คงที่ สามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบทำความเย็นมากขึ้น ผลของการเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณการไหลของสายกระบวนการในอุปกรณ์ T-345 T-395 และ T-646A เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,625.580 Kg/hr 988.885 Kg/hr และ 220.653 Kg/hr ตามลำดับ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 870,168.36 บาท/ตัน/ปี



รูป 6.5 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนกรณีศึกษา 3 ที่ 7°C