บทที่ 7

สรุปผลงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 3 เรื่องหลักๆ คือ การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน การออปติไมซ์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประหยัดปริมาณไอน้ำความดันสูง และกรณีศึกษาการหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

7.1 การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนด้วยซอฟแวร์สำเร็จรูปแอสเพนพลัส โดยอาศัยข้อมูลการออกแบบ ปรากฏว่าแบบจำลองใกล้เคียงค่าการออกแบบ โดยมีค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างที่น้อยมาก โดยรวมแล้วต่ำกว่า 1% (ค่าความแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 1.357%) แสดงว่าแบบจำลองยอมรับได้ตามข้อมูลออกแบบ จากนั้นนำแบบจำลองที่มีอยู่นี้มาทดสอบด้วยข้อมูลวัดจากโรงงาน พบว่าไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องมาจากทางโรงงานได้มีการปรับสภาวะปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลการออกแบบเดิม เพื่อเป็นไปตามความต้องการของหน่วยกระบวนการผู้รับความเย็น และอาจเกิดจากความผิดพลาดของการวัด ซึ่งเกี่ยวกับค่าความแม่นยำของอุปกรณ์วัด และตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) นั้นๆ เมื่อใช้วิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เพื่อปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และประมาณค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า โดยใช้แอสเพนพลัสซึ่งเป็นซิมูเลเตอร์ที่มีออปติไมเซชันอัลกอลิธึมอยู่ในตัว ซึ่งเป็นวิธีในแนวทางกำลังสองน้อยที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก โดยเลือกปรับตัวแปรของโฟลวชีทโดยต้องเป็นตัวแปรขาเข้าหรือพารามิเตอร์ของหน่วยกระบวนการเท่านั้น จะปรับตัวแปรขาออกไม่ได้ การปรับนี้เพื่อให้เป็นไปตามฟังชันวัตถุประสงค์ต่ำสุด ให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล และพลังงาน ซึ่งคำนึงถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ และกระบวนการอีกด้วย หลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล พบว่าแบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลวัดค่อนข้างดี ฟังชันวัตถุประสงค์ลดต่ำลงมาก โดยฟังชันวัตถุประสงค์ลดลงจาก 425.83 เป็น 4.95 คิดเป็นลดลง 98.84% จากนั้นเมื่อทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลวัดอีกชุดหนึ่ง พบว่าสอดคล้องกันค่อนข้างดีเช่นเดียวกัน โดยฟังชันวัตถุประสงค์ลดลงจาก 455.55 เป็น 8.00 คิดเป็นลดลง 98.24% สาเหตุที่แบบจำลองใกล้เคียงการออกแบบดีเมื่ออ้างอิงข้อมูลออกแบบ และเมื่อใช้เทคนิคการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลโดยข้อมูลจริง พบว่าแบบจำลองให้ค่าใกล้เคียงดี เหตุผลเนื่องจากกระบวนการซับซ้อนไม่มากนัก และสารทำความเย็นที่ใช้มีเพียงหนึ่งองค์ประกอบ ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่ากระบวนการนี้เป็นกระบวนการทางกล

7.2 การออปติไมซ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนมีคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดไอโพรพิลีน และอัดไอให้มีอุณหภูมิ และความดันสูงขึ้นเพื่อส่งต่อไป การลดอัตราการไหลเชิงปริมาตร และเพิ่มความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ จะทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานน้อยลง ดังนั้นการแบ่งสัดส่วนการไหลของไอเพื่อเข้าสู่คอมเพรสเซอร์อย่างเหมาะสมจะทำให้คอมเพรสเซอร์ลดการใช้พลังงานลงได้ คอมเพรสเซอร์จะได้รับการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำความดันสูง ทำให้เกิดต้นทุนจากค่าไอน้ำความดันสูง ดังนั้นการลดพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการใช้ให้น้อยสุด จะประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อไอน้ำความดันสูง

การออปติไมซ์ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม ทำได้โดย เมื่อเปลี่ยนให้อัตราการไหลจาก T-411 ไหลเข้าสู่การทำความเย็นขั้นที่ 1 น้อยลง และเพิ่มปริมาณการไหลของไอโพรพิลีนที่ออกจากถังแฟลช M-690 ไหลเข้าคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 มากขึ้น โดยที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ยังคงสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนเหมือนเดิม และอุปกรณ์แต่ละตัวปฏิบัติการอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลนี้ทำได้โดยการปรับวาล์ว เพื่อลดภาระ (Load) แก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 การลดภาระนี้เป็นการกระจายการไหล ทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์ลดต่ำลง นอกจากนี้การปรับให้ความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 สูงขึ้นมีผลต่อการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 โดยตรงและต่อเนื่องไปยังขั้นถัดไป โดยให้ความดันตกคร่อมมากขึ้นต้องทำการเปิดวาล์วมากขึ้น โดยทำการปรับวาล์วสายเลี่ยงของการทำความเย็นขั้นที่ 1 และ เพื่อให้ได้ดุลมวลสารและพลังงานแบบจำลองได้ปรับปริมาณของโพรพิลีนที่หมุนเวียนภายในระบบให้ลดต่ำลง จากการปรับตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้ทำให้ความต้องการพลังงานของคอมเพรสเซอร์ลดต่ำลง ส่งผลให้เครื่องจักรไอน้ำต้องการปริมาณไอน้ำความดันสูงน้อยลง 1,930.133 ตันต่อปี และต้นทุนลดลง 829,957.10 บาทต่อปี

จากผลการออปติไมซ์พบว่า ค่าปฏิบัติการที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่าที่ดีอยู่แล้วใกล้เคียงค่าสภาวะที่ดีที่สุด (Optimum) แล้ว ซึ่งเหตุผลก็คือทางโรงงานได้พยายามดำเนินการให้ใกล้เคียงสภาวะที่ดีที่สุดอยู่แล้ว เพื่อให้ระบบมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

7.3 การหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับอุณหภูมิ

การหาราคาการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนแต่ละระดับ มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ และคำนวณเกี่ยวกับต้นทุน ได้แก่กรณีที่ผู้ใช้ในสายกระบวนการต้องการเพิ่มปริมาณการไหลจะต้องใช้ปริมาณสารทำความเย็นมากขึ้นเท่าไร

เมื่อผู้ใช้ในระดับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ ต้องการทำความเย็นมากขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นให้แก่ระบบเพิ่มขึ้น และปรับอัตราการไหลให้ปริมาณของโพรพิลีนเพิ่มขึ้นแก่ผู้ใช้ที่ระดับการทำความเย็นนั้นๆ ให้ปริมาณของโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ที่ขั้นนั้นๆ มากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้แก่คอมเพรสเซอร์ ทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องการพลังงานสูงขึ้น ส่งผลให้เครื่องจักรไอน้ำต้องการปริมาณไอน้ำความดันสูงเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นด้วย สำหรับการคำนวณหาราคาของการทำความเย็นได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.2.1 และจากผลการจำลองระบบเมื่อเพิ่มปริมาณโพรพิลีนที่ระดับอุณหภูมิการทำความเย็นต่างๆ 1 ตันต่อชั่วโมงคำนวณราคาของการทำความเย็นที่ระดับทำความเย็นๆ ต่างๆ ได้ดังนี้

ตาราง 7.1 ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับการทำความเย็นต่างๆ

ระดับการทำความเย็น	ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีน, บาท/ตัน/ปี
ระดับ 1 การทำความเย็นที่ -40^0 C	1,368,028.98
ระดับ 2 การทำความเย็นที่ -21^0 C	1,155,349.59
ระดับ 3 การทำความเย็นที่ -7^0 C	1,016,817.33
ระดับ 4 การทำความเย็นที่ 7^0 C	870,168.36

จะเห็นได้ว่าราคาของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40^0 C แพงที่สุด เนื่องจากปริมาณของสารทำความเย็นที่สูงขึ้นในขั้นที่หนึ่งนั้น เป็นการเพิ่มภาระให้แก่คอมเพรสเซอร์ในทุกๆ ขั้น ทำให้คอมเพรสเซอร์แต่ละขั้นอื่นๆ ต้องการพลังงานมากขึ้นด้วย ซึ่งมีความต้องการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์สูงที่สุดคือ 10,950.825 กิโลวัตต์ และในการทำความเย็นระดับสองที่ -21^0 C ให้ราคาของการทำความเย็นลดต่ำลงกว่าการทำความเย็นระดับหนึ่ง เนื่องจากภาระหรือปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2, 3 และ 4 เท่านั้น ทำให้คอมเพรสเซอร์มีความต้องการพลังงานลดต่ำลงอีกเป็น 10,945.008 กิโลวัตต์ ส่วนการทำความเย็นระดับสามที่ -7^0 C มีราคาของการทำความเย็นน้อยกว่าการทำความเย็นระดับสอง ด้วยเหตุผลที่ว่าภาระหรือปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 และ 4 เท่านั้น ทำให้คอมเพรสเซอร์มีความต้องการพลังงานน้อยลงอีกเป็น 10,941.219 กิโลวัตต์ และการทำความเย็นระดับสี่ที่ 7^0 C มี

ปริมาณของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นแก่คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 เท่านั้น ทำให้คอมเพรสเซอร์มีความต้องการพลังงานต่ำที่สุดคือ 10,937.208 กิโลวัตต์ จึงให้ราคาของการทำความเย็นต่ำที่สุด จากการทดสอบหาราคาของการทำความเย็นสรุปได้ว่า ราคาของการทำความเย็นระดับที่ 1 แพงที่สุด และราคาจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของระดับการทำความเย็นสูงขึ้น

เช่นเดียวกันถ้าต้องการทราบค่าใช้จ่ายเมื่อมีความต้องการเพิ่มปริมาณการไหลของสายด้านกระบวนการ โดยอุณหภูมิถูกควบคุมให้คงที่ สามารถหาได้ด้วยราคาของการทำความเย็นซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนแก่ระบบทำความเย็นที่มากขึ้น ในการทำความเย็นขั้นที่หนึ่ง -40°C การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนมากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อผู้ใช้ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นด้วยสาเหตุของการเพิ่มปริมาณการไหลของสายกระบวนการแลกเปลี่ยน (ได้แก่อุปกรณ์ T-650, T-402, T-482B มีอัตราการไหลมากขึ้น 3,125.647 Kg/hr, 785,857 Kg/hr และ 411.185 Kg/hr ตามลำดับ)จะเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1,368,028.98 บาท/ตัน/ปี (ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในระดับ 1)

ส่วนในการทำความเย็นขั้นที่สอง -21°C การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนมากขึ้นหนึ่งตันต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อผู้ใช้ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นด้วยสาเหตุของการเพิ่มอัตราการไหลในสายกระบวนการแลกเปลี่ยน (ได้แก่อุปกรณ์ T-376, T-646C และ T-445 มีอัตราการเพิ่มขึ้น1,944.012 Kg/hr, 3,777.473 Kg/hr และ 14,110.628 Kg/hr ตามลำดับ) จะเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1,155,349.59 บาท/ตัน/ปี (ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในระดับ 2)

สำหรับการทำความเย็นระดับสามที่ -7°C การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนมากขึ้นหนึ่งตันต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อผู้ใช้ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นด้วยสาเหตุของการเพิ่มอัตราการไหลในสายกระบวนการแลกเปลี่ยน (ได้แก่อุปกรณ์ T-375, T-646B, T-566 มีอัตราการเพิ่มขึ้น317.311 Kg/hr, 6,934.813 Kg/hr และ 862.025 Kg/hr ตามลำดับ) จะเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็น 1,016,817.33 บาท/ตัน/ปี (ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในระดับ 3)

การทำความเย็นระดับสามที่ 7°C การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนมากขึ้นหนึ่งตันต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อผู้ใช้ต้องการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นด้วยสาเหตุของการเพิ่มอัตราการไหลในสายกระบวนการแลกเปลี่ยน (ได้แก่อุปกรณ์ T-345, T-395 และ T-646A มีอัตราการเพิ่มขึ้น1,625.580 Kg/hr, 988.885 Kg/hr และ 220.653 Kg/hr ตามลำดับ) จะเสียค่าใช้จ่ายในการทำความเย็น 870,168.36 บาท/ตัน/ปี (ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในระดับ 4)

7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

1. ถ้าสามารถหาได้จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรไอน้ำ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองเครื่องจักรไอน้ำจะสามารถคำนวณไอน้ำความดันสูงได้โดยตรง พร้อมทั้งการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องจักรไอน้ำ

2. การวิเคราะห์สำหรับกรณีเมื่อภาระ (Load) หรือปริมาณการไหลที่เข้าสู่คอมเพรสเซอร์ต่ำมาก ทำให้ต้องเปิดวาล์วรีไซเคิล และกระจายการไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์อย่างเหมาะสมอย่างไร