การสร้างแบบจำลองและการออปติไมซ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

นางสาวมณีรัตน์ กาวาฮารา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0570-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING AND OPTIMIZATION OF A PROPYLENE REFRIGERATION SYSTEM

Miss Maneerat Kawahara

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0570-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองและการออปติไมซ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน
โดย	นางสาวมณีรัตน์ กาวาฮารา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. คงกระพัน อินทรแจ้ง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. คงกระพัน อินทรแจ้ง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

มณีรัตน์ กาวาฮารา : การสร้างแบบจำลองและการออปติไมซ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน. (Modeling and Optimization of a Propylene Refrigeration System) อ. ที่ปรึกษา : ดร. มนตรี วงศ์ศรี, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. คงกระพัน อินทรแจ้ง 146หน้า. ISBN 974-13-0570-2.

งานวิจัยนี้ศึกษาระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน ซึ่งเป็นระบบหนึ่งของการทำความเย็นของโรงงานผลิตโอเลฟินส์ โดยการสร้างแบบจำลองเลียนแบบกระบวนการจริง และหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม เพื่อลดค่าใช้จ่ายของระบบ สำหรับระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเป็นระบบปิดซึ่งโพรพิลีนจะมีการไหลเวียนกลับสู่คอมเพรสเซอร์ โดยคอมเพรสเซอร์เป็นเครื่องจักรแบบเซนตริฟูกัลที่มีสี่ขั้นที่ถูกออกแบบเพื่อทำความเย็นที่ -40, -21, -7 และ 7 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยคอมเพรสเซอร์จะได้รับการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำความดันสูง ดังนั้นการลดค่าใช้จ่ายของระบบ ทำได้โดยลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ เพื่อประหยัดปริมาณไอน้ำความดันสูง งานวิจัยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองด้วยข้อมูลการออกแบบโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัสเวอร์ชั่น 9.3-1 จากนั้นทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริง พบว่ามีความไม่สอดคล้องกัน จึงดำเนินการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยใช้เทคนิคการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เมื่อแก้ไขแบบจำลองจนมีความถูกต้องแล้ว จึงใช้แบบจำลองในการออปติไมซ์เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด โดยวัตถุประสงค์ในการออปติไมซ์คือ การมินิไมซ์พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ ผลของการออปติไมซ์พบว่าความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ขั้นที่หนึ่ง และการแบ่งสัดส่วนการไหลของโพรพิลีนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์แต่ละขั้นอย่างเหมาะสม จะทำให้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ลดต่ำลงส่งผลให้ปริมาณไอน้ำความดันสูงลดลง 1,930.133 ตันต่อปี และค่าใช้จ่ายลดลง 829,957.10 บาทต่อปี เมื่อทำกรณีศึกษาหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ โดยการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนให้แก่ระดับอุณหภูมินั้นๆ มากขึ้น 1 ตันต่อชั่วโมง พบว่าราคาของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสมีราคาแพงสุดคือ 1,368,028.98 บาทต่อปี ส่วนราคาของการทำความเย็นระดับสอง สาม และสี่ลดลงตามลำดับคือ 1,155,349.59 และ 1,016,817.33 และ 870,168.36 บาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม.....

4070378921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: OPTIMIZATION / ASPEN PLUS / PROPYLENE REFRIGERATION / DATA RECONCILIATION
MANEERAT KAWAHARA : MODELING AND OPTIMIZATION OF A PROPYLENE REFRIGERATION SYSTEM.
THESIS ADVISOR : MONTREE WONGSRI, D.Sc. THESIS COADVISOR : Dr.KONGKRAPAN INTARAJANG, 140 pp. ISBN 974-13-0570-2.

This research is mainly studied on Propylene Refrigeration System, which is one of the refrigeration processes of Thai Olefins Plant. Modeling based on the actual process and optimization of operating condition is included. The propylene refrigeration cycle is closed loop system. This cycle propylene is recycled to process gas compressor. The propylene refrigerant compressor is a four-stage centrifugal machine, which is designed to supply propylene refrigeration at -40, -21, -7 and 7 degrees C, respectively. The compressor is driven by a variable speed steam turbine. If we can minimize the energy consumption of the compressor-turbine, it will be very cost effective in terms of operation. The aim is to reduce the compressor energy consumption, resulting in reduction of high-pressure steam consumption in steam turbine. Aspen Plus version 9.3-1 issued to create a model and optimize the propylene refrigeration system. First, we created an accurate model based on design data and then we tested this model with actual operating data. We found that it is not verified. Therefore, we adjusted process parameter to perform the data reconciliation. We then used the resulting model to determine the proper operating conditions using the compressor energy consumption as our criteria for optimization. It was found that a combination of the first stage suction pressure of the compressor and the proper flow distribution of propylene in the compressor could reduce the energy consumption. The high-pressure steam consumption is reduced by 1,930.133 tons per year and the energy costs reduced by 829,957.10 Baths per year. Case studies, to determine the costs of individual refrigerant level, are conducted by increasing the flow rate by 1 tons per hour. The most expensive is first level (at -40 degree C), about 1,368.028.98 Baths/ton/year. The second level (at -21 degree C) and third level (at -7 degree C), is cheaper about 1,155,349.59 and 1,016,817.33 Baths/ton/year respectively. And fourth level (at 7 degree C) is the cheapest about 870,168.36 Baths/ton/year.

Department Chemical Engineering Student's signature.....
Field of study Chemical Engineering Advisor's signature.....
Academic year 2000 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. คงกระพัน อินทรแจ้ง ผู้จัดการส่วนวิจัยและพัฒนา โรงงานไทยโอเลฟินส์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวความคิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณพี่ๆ ในส่วนวิจัยและพัฒนาของโรงงานไทยโอเลฟินส์ทุกท่าน โดยเฉพาะคุณพรวรรณ์ชะลี ทองใหญ่ วิศวกรส่วนวิจัยและพัฒนา ที่ให้ความช่วยเหลือ การอำนวยความสะดวก คำปรึกษา และการแนะนำในทุกๆ ด้าน และขอขอบพระคุณ คุณสมบัติ ศีลสังวรณ์ ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุงอุปกรณ์ เครื่องมือวัด และควบคุม (สาธารณูปการ) สำหรับการถ่ายทอดความรู้ และความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิด และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือหลายๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และขอขอบคุณพี่ชาย-น้องชายทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 4

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์ 4

2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การสร้างแบบจำลอง/การเลียนแบบกระบวนการ 5

2.1.1 แพคเกจการจำลองกระบวนการ 6

2.2 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูล 9

2.2.1 การกำหนดสูตรปัญหาการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล 11

2.2.2 ขั้นตอนการทำให้สอดคล้องของข้อมูลด้วยซิมูเลเตอร์แบบซีเควนเชียลมอดูลาร์ 12

2.3 การออปติไมซ์ 14

2.4 ส่วนประกอบของการออปติไมซ์ 15

2.4.1 แบบจำลองกระบวนการ 16

2.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 16

2.4.3 ข้อจำกัด 17

2.4.4 ตัวแปรตัดสินใจ 18

หน้า

2.5.1 การออปติไมซ์กระบวนการด้วยซิมูเลเตอร์ 19
2.5.2 การโปรแกรมควอดราติคอย่างเป็นลำดับ 22
3. ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 23
3.1 การผลิตโอเลฟินส์ 23
3.2 หลักการทำความเย็น 24
3.2.1 ระบบการทำงานของการทำความเย็นระบบอัด 26
3.2.2 ส่วนประกอบหลักในการทำความเย็น 27
3.2.3 สารทำความเย็น 28
3.2.4 แผนผังอุณหภูมิ – เอนทาลปีสำหรับวัฏจักรการทำความเย็น 29
3.2.5 คอมเพรสเซอร์ 31
3.2.6 คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวจ์ 32
3.2.7 เครื่องจักรไอน้ำ 36
3.3 ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 37
4. การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 42
4.1 บทนำ 42
4.2 การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนโดยใช้โปรแกรมซิมูเลเตอร์ 42
4.2.1 การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนโดยข้อมูลออกแบบ 43
4.2.2 ระดับความเป็นอิสระในการสร้างแบบจำลอง 47
4.2.3 ผลการจำลอง และวิจารณ์ 49
4.3 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจริง 56
4.3.1 การกำหนดสูตรปัญหา 56
4.3.2 ข้อมูลของโรงงาน 57
4.3.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 59
4.3.4 ข้อจำกัดในระบบ 61
4.3.5 ตัวแปรตัดสินใจ 62
4.3.6 ผลการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล และวิจารณ์ 62
5. การออปติไมซ์แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 70
5.1 คำนำ 70
5.2 วัตถุประสงค์ของการออปติไมซ์ 70

หน้า

5.2.1 คอมเพรสเซอร์ 71
5.2.2 เครื่องจักรไอน้ำ 72
5.2.3 การคำนวณ 73
5.3 ข้อจำกัด 75
5.4 ตัวแปรตัดสินใจ 77
5.5 ผลการออปติไมซ์ และวิจารณ์ 80
5.6 การศึกษาความไวของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ 87
5.7 การศึกษาผลกระทบของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนของเครื่องทำความเย็น 88
6. กรณีศึกษา: การหาราคาของการทำความเย็นในแต่ละระดับอุณหภูมิต่างๆ 89
6.1 บทนำ 89
6.2 การหาราคาของการทำความเย็นในแต่ละระดับทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ 89
6.2.1 การคำนวณ 90
6.3 กรณีศึกษา 1: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับหนึ่งที่อุณหภูมิ -40°C 92
6.3.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 1 92
6.3.2 การคำนวณ 93
6.3.3 วิจารณ์ผล 95
6.4 กรณีศึกษา 2: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสองที่อุณหภูมิ -21°C 99
6.4.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 2 99
6.4.2 การคำนวณ 100
6.4.3 วิจารณ์ผล 102
6.5 กรณีศึกษา 3: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสามที่อุณหภูมิ -7°C 105
6.5.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 3 105
6.5.2 การคำนวณ 106
6.5.3 วิจารณ์ผล 108
6.6 กรณีศึกษา 4: การหาราคาของการทำความเย็นในระดับสี่ที่อุณหภูมิ 7°C 111
6.6.1 ผลการจำลองระบบกรณีศึกษา 4 111
6.6.2 การคำนวณ 112

หน้า

6.6.3 วิจารณ์ผล 114
7. สรุปผลงานวิจัย 117
7.1 การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 117
7.2 การออปติไมซ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 118
7.3 การหาราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับอุณหภูมิ 119
7.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย 121
รายการอ้างอิง 122
ภาคผนวก 125
ภาคผนวก ก โปรแกรมแอสเพนพลัส 126
ก.1 แบบจำลองหน่วยกระบวนการที่ใช้ในงานวิจัย 126
ก.1.1 แบบจำลองของคอมเพรสเซอร์ (COMPR) 126
ก.1.1.2 แบบจำลองเครื่องทำความร้อน/เครื่องทำความเย็น HEATER 127
ก1.1.3 แบบจำลองถังแฟลช FLASH2 128
ก1.1.4 แบบจำลองวาล์ว VALVE 129
ก1.1.5 แบบจำลองอุปกรณ์แยกสาย FSPLIT 130
ก1.1.6 แบบจำลองอุปกรณ์รวมสาย 130
ภาคผนวก ข ลักษณะเฉพาะของวาล์ว 132
ข.1 สัมประสิทธิ์การไหลของวาล์ว 132
ข.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลของวาล์วสำหรับของเหลว 132
ข.3 ลักษณะเฉพาะของวาล์ว (Characteristic of Valve) 133
ข.4 การหาสัมประสิทธิ์การไหล และเปอร์เซนต์การเปิดวาล์ว 134
ภาคผนวก ค ค่าพิกัดของค่าผิดพลาด 136
ค.1 ความผิดพลาด (Error) 136
ค.2 ความแน่นอน (accuracy) 136
ค.3 ตัวอย่างการคำนวณ 137
ภาคผนวก ง เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ 138
ง.1 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 138
ง.2 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 140

หน้า

ง.3 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 142
ง.4 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 144
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 146

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 ลักษณะของตัวซิมูเลตแบบมอดูลาร์ 7

2.2 ลักษณะของตัวเลียนแบบ Equation-Oriented 8

2.3 การแก้ปัญหาของซิมูเลเตอร์และออปติไมเซอร์แบบซีเควนเชียลมอดูลาร์ 21

3.1 การผลิตโอเลฟินส์ 25

3.2 วัฏจักรการทำความเย็น 26

3.3 แผนผัง T – S สำหรับวัฏจักรการทำความเย็น 29

3.4 การใช้คอมเพรสเซอร์แบบอัดหลายขั้น 30

3.5 ลักษณะใบพัดอิมเพลเลอร์ 32

3.6 การหมุนของแกสในคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัล 33

3.7 ภาพแสดงลักษณะภายในของคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟูกัล 7 ขั้น 33

3.8 เส้นโค้งสมรรถภาพของคอมเพรสเซอร์ (Head-capacity curves) 34

3.9 ขอบเขตการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 35

3.10 ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 41

4.1 แผนภาพของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 44

4.2 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนโดยข้อมูลออกแบบ 51

4.3 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล 68

4.4 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเมื่อทดสอบด้วยข้อมูลจริงชุดที่สอง 69

5.1 ความสัมพันธ์ของเครื่องจักรไอน้ำและคอมเพรสเซอร์ 71

5.2 ตัวแปรปรับของแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเมื่อออปติไมซ์ 79

5.3 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนก่อนการออปติไมซ์ (กรณีปัจจุบัน) 85

5.4 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนหลังการออปติไมซ์ 86

5.5 พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ 87

5.6 เมื่อปริมาณความร้อนของเครื่องทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น 1 % มีผลต่อพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ 88

6.1 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน กรณีปัจจุบัน 97

6.2 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน กรณีศึกษา 1 ที่ –40 °C 98

6.3 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน กรณีศึกษา 2 ที่ –21 °C 104

6.4 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน กรณีศึกษา 3 ที่ –7 °C 110

6.5 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน กรณีศึกษา 4 ที่ 7 °C 116

หน้า

ก.1 แบบจำลองคอมเพรสเซอร์ 126
ก.2 แบบจำลองเครื่องทำความร้อน/เครื่องทำความเย็น 127
ก.3 แบบจำลองถังแฟลช 128
ก.4 แบบจำลองวาล์ว 129
ก.5 แบบจำลองอุปกรณ์แยกสาย 130
ก.6 แบบจำลองอุปกรณ์รวมสาย 130
ข.1 ลักษณะเฉพาะของวาล์วแบบ HTS 135
ง.1 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ปล่อยและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 138
ง.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพโพลิทรอปิกและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 1 139
ง.3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ปล่อยและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 140
ง.4 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพโพลิทรอปิกและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 2 141
ง.5 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ปล่อยและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 142
ง.6 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพโพลิทรอปิกและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 3 143
ง.7 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ปล่อยและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 144
ง.8 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพโพลิทรอปิกและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ
คอมเพรสเซอร์ขั้นที่ 4 145

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

3.1 การทำความเย็นของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน 40

4.1 แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้แทนหน่วยกระบวนการของระบบ 45

4.2 ระดับความเป็นอิสระในการสร้างแบบจำลอง 49

4.3 การเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบกับผลของแบบจำลองที่คำนวณด้วยแอสเพนพลัส 52

4.4 การเปรียบเทียบข้อมูลวัดกับผลของแบบจำลองหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล 63

4.5 ผลของฟังชันวัตถุประสงค์ก่อนและหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล 65

4.6 การเปรียบเทียบข้อมูลจริงชุดที่ 2 กับผลของแบบจำลอง 66

4.7 ผลของฟังชันวัตถุประสงค์เริ่มต้นและสุดท้ายของข้อมูลชุดที่สอง 67

5.1 สภาวะปฏิบัติการจริงของเครื่องจักรไอน้ำ และเอนทาลปี 74

5.2 ค่าตัวเลขขอบเขตข้อจำกัดของวาล์ว 76

5.3 ค่าความร้อนที่แลกเปลี่ยนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 77

5.4 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของระบบก่อนและหลังการออปติไมซ์ 81

5.5 ผลการออปติไมซ์ของตัวแปรตัดสินใจ 81

5.6 ผลการคำนวณกรณีปัจจุบันกับกรณีออปติไมซ์ 83

5.7 ผลกระทบเมื่อเพิ่มปริมาณความร้อนของเครื่องทำความเย็นระดับหนึ่งสูงขึ้น 1 % 88

6.1 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นของการทำความเย็นระดับหนึ่งที่ -40 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน 93

6.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 1 93

6.3 ข้อมูลของสายกระบวนการ 94

6.4 อัตราการไหลของสายกระบวนการในกรณีปัจจุบันกับกรณี ศึกษา 1 95

6.5 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณของสารทำความเย็นในการทำความเย็นระดับสองที่ -21°C เทียบกับกรณีปัจจุบัน 100

6.6 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 2 100

6.7 ข้อมูลของสายกระบวนการ 101

6.8 อัตราการไหลของสายกระบวนการในกรณีปัจจุบันกับกรณีศึกษา 2 102

6.9 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นในการทำความเย็นระดับสามที่ -7 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน 106

6.10 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 3 106

หน้า

6.11 ข้อมูลของสายกระบวนการ 107
6.12 อัตราการไหลของสายกระบวนการในกรณีปัจจุบันกับกรณีศึกษา 3 108
6.13 ผลการคำนวณของคอมเพรสเซอร์เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำความเย็นในการทำความเย็นระดับสี่ที่ 7 °C เทียบกับกรณีปัจจุบัน 112
6.14 ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนของผู้ใช้กรณีปัจจุบันและกรณีศึกษา 4 112
6.15 ข้อมูลของสายกระบวนการ 113
7.1 ราคาของการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในแต่ละระดับการทำความเย็นต่างๆ 119