ออปติไมเซชันของหน่วยแยกอากาศ

นาย จักรกฤษณ์ วิเศษจัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-692-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19377099

OPTIMIZATION OF THE AIR SEPARATION UNIT

Mr. Chakkit Wisesjung

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 1999

ISBN 974-333-692-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ออปติไมเซชันของหน่วยแยกอากาศ
โดย	นาย จักรกฤษณ์ วิเศษจัง
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นาย พงษ์ศักดิ์ ปิยพงศ์ไพโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิชาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นาย พงษ์ศักดิ์ ปิยพงศ์ไพโรจน์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

จักรกฤษณ์ วิเศษจัง : ออปติไมเซชันของหน่วยแยกอากาศ (OPTIMIZATION OF THE AIR SEPARATION UNIT)
อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ไพศาล กิตติศุภกร; 155 หน้า, ISBN 974-333-692-3

ปัจจุบันกระบวนการผลิตของ โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จำเป็นที่จะต้องดำเนินการผลิตตลอดเวลา ทำให้ไม่สามารถที่จะปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตได้โดยตรง การศึกษาเพื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิตจึงต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองขึ้น เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตจริง งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองกระบวนการกลั่นแยกอากาศของโรงงานแยกอากาศ โดยใช้โปรแกรมแอสเพน พลัส จุดประสงค์หลัก คือเพื่อหาจุดปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมการกลั่น โดยปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิสายป้อน อัตราการไหลป้อนกลับ และผลต่างความดันหอกลั่นต่อเทรย์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน) ที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาถึงความไวของกระบวนการผลิต เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหล อุณหภูมิ และความดันของสายป้อนที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองในครั้งนี้ทำการออปติไมเซชั่น 3 กรณี คือออปติไมเซชั่นเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน พบว่าจุดปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมการกลั่นคือ สภาวะของการออปติไมเซชั่นไนโตรเจน โดยได้ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนเพิ่มเป็น 99.994% โดยที่ความบริสุทธิ์ของออกซิเจน และความบริสุทธิ์ของอาร์กอนยังคงได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า การศึกษาความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทั้งสามของสายป้อนมีผลต่อความบริสุทธิ์ของไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน โดยที่พารามิเตอร์อัตราการไหลมีความไวต่อการเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ทั้งสามมากที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ และความดันตามลำดับ

ผลจากการศึกษากระบวนการกลั่นแยกอากาศโดยใช้แบบจำลองนี้ จึงน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการกลั่นจริงในโรงงาน ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงหรือพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป และจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์สำหรับลูกค้ามากยิ่งขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่อที่ปรึกษาร่วม .....

3970236021 CHEMICAL ENGINEERING

OPTIMIZATION / AIR SEPARATION UNIT / ASPEN PLUS / DISTILLATION

CHAKKRIT WISESJUNG : OPTIMIZATION OF THE AIR SEPARATION UNIT

THESIS ADVISOR : ASSIT. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D. 155 pp.

ISBN 974-333-692-3

Nowadays, the production lines of petrochemical plants have to operate continuously. They are not available for development or improvement any capability at that time, so a simulation model is needed to represent the actual plant. This research presents the Simulation Model of Air Separation Unit written in ASPEN PLUS. The main objective of this study is to find out optimal operating conditions which can produce the highest purity of Nitrogen, Oxygen and Argon gas with respect to parameters (feeding temperature, reflux ratio and differential pressure per tray). In addition the sensitivities of the process have been studied for the change in flow rate, temperature and pressure of feed stream independently and simultaneously.

This Optimization has separated into 3 conditions: Maximization of nitrogen, oxygen and argon. Simulation results have shown that the appropriate condition is to maximize Nitrogen; simulation result has shown that purity of nitrogen for the Nitrogen's optimal condition is 99.994%, which is higher than the normal operating condition while the purities of oxygen and argon almost the same. For the sensitivity analysis, it has found the flow rate of feed stream is the most sensitive to the purity of the product gas whereas temperature and pressure of stream feed stream are insensitive to the purity of the product gas.

This simulation model can represent the real processing production which is useful for developing or improving its capability. The value-added products can make more reliability to customers

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ..... ลายมือชื่อที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือ และแนะนำจากท่าน ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวความคิดต่างๆของงานวิจัยด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ, อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี และนายพงษ์ศักดิ์ ปิยพงศ์ไพโรจน์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้ข้อคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ช่วยสนับสนุน และเป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาค้นคว้าตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด และนายพนม ไพยริน ที่ได้ให้การสนับสนุน และเป็นแหล่งให้ข้อมูล รวมทั้งให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ และน้องๆ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้ทำงานวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญภาพ.....ญ

สารบัญตาราง.....ฑ

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....2

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....3

2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....4

2.1 การออกแบบที่เหมาะสมของกระบวนกานแยกอากาศโดยใช้ OPTISIM.....4

2.2 การออปติไมซ์ระบบการหล่อเย็นโดยใช้แอสเพน พลัส.....5

2.3 การออปติไมซ์กระบวนการผลิตแอมโมเนียโดยใช้แอสเพน พลัส.....6

2.4 ออปติไมเซชันกระบวนการผลิตแอมโมเนียโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....6

2.5 ออปติไมเซชันกระบวนการกลั่นแบบกะโดยใช้แบบจำลองไม่เชิงเส้น.....7

3. โปรแกรมแอสเพน พลัส (ASPEN PLUS).....8

3.1 โปรแกรมจำลองกระบวนการ....8
3.2 การจำลองกระบวนการในโปรแกรมแอสเพน พลัส....8
3.3 สมรรถนะของโปรแกรมแอสเพน พลัส....9
3.4 การออปติไมเซชัน....11
3.5 กระบวนการคำนวณค่าลู่เข้าอื่น ๆ ที่มีในแอสเพน พลัส....12
4. หอกลั่น และกระบวนการกลั่นแยกอากาศ....14
4.1 หอกลั่น....14
4.2 พฤติกรรมเชิงพลวัต....15
4.3 กระบวนการกลั่นแยกอากาศ....16
4.3.1 พื้นฐานการไหลของหอกลั่นแยกอากาศ....18
4.3.2 ความสำคัญของอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการ....18
4.3.3 หอกลั่นความดันสูง....19
4.3.4 หอกลั่นความดันต่ำ....19
4.3.5 หอกลั่นอาร์กอน....20
4.3.6 การดึงปริมาณออกซิเจนย้อนกลับให้มากที่สุด....21
4.3.7 การดึงอาร์กอนไม่บริสุทธิ์ย้อนกลับ....22
4.3.8 ส่วนของหอกลั่นที่ใช้ศึกษา....22
4.3.9 การเลือกรูปแบบที่จะมาใช้ทำแบบจำลอง....30
4.4 การต่อหอกลั่น....30
4.5 การออปติไมเซชัน....30
5. ผลการจำลอง และการวิเคราะห์แบบจำลองกระบวนการกลั่น....32
5.1 วิธีการคัดเลือกรูปแบบที่ใช้จำลองกระบวนการ....32
5.2 ผลการจำลองหอกลั่นความดันสูง....32
5.3 ผลการจำลองหอกลั่นความดันต่ำ....39

5.4 ผลการต่อหอกลั่น....46
5.5 ปรับเปลี่ยนสายสตรีม 232....51
5.6 เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากโรงงานจริง....57
6. ผลการออปติไมเซชัน, ผลการศึกษาผลกระทบ และการวิเคราะห์ผล....60
6.1 ออปติไมเซชันเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น....60
6.2 ออปติไมเซชันเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของ ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น....62
6.3 ออปติไมเซชันเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของ อาร์กอนเพิ่มมากขึ้น....64
6.4 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสาย 150....67
6.5 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสาย 150....78
6.6 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสาย 150....87
6.7 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสาย 232....96
6.8 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสาย 232....107
6.9 การศึกษาความไวของสายผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสาย 232....107
7. สรุปผลงานวิจัย....119
รายการอ้างอิง....122
ภาคผนวก ก....124
ประวัติผู้เขียน....155

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 4.1 กระบวนการกลั่นแยกอากาศ....17
รูปที่ 4.2 หอกลั่นความดันสูง....23
รูปที่ 4.3 หอกลั่นความดันต่ำ....26
รูปที่ 4.4 รายละเอียดหอกลั่นความดันสูง....28
รูปที่ 4.5 รายละเอียดหอกลั่นความดันต่ำ....29
รูปที่ 5.1 แบบจำลองหอกลั่นความดันสูง....33
รูปที่ 5.2 ความแตกต่างความดันที่ออกแบบ และจำลองของหอกลั่นความดันสูง....34
รูปที่ 5.3 ความแตกต่างอุณหภูมิออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันสูง....34
รูปที่ 5.4 ความแตกต่างอัตราการไหลออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันสูง....35
รูปที่ 5.5 ความแตกต่างความบริสุทธิ์ไนโตรเจนออกแบบ และจำลองของหอกลั่นความดันสูง....35
รูปที่ 5.6 ความแตกต่างความบริสุทธิ์ออกซิเจนออกแบบ และจำลองของหอกลั่นความดันสูง....36
รูปที่ 5.7 ความแตกต่างความบริสุทธิ์อาร์กอนออกแบบ และจำลองของหอกลั่นความดันสูง....36
รูปที่ 5.8 แบบจำลองหอกลั่นความดันต่ำ และหอกลั่นอาร์กอน....40
รูปที่ 5.9 แสดงความแตกต่างความดันที่ออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันต่ำ....41
รูปที่ 5.10 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันต่ำ....41
รูปที่ 5.11 แสดงความแตกต่างอัตราการไหลออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันต่ำ....42
รูปที่ 5.12 แสดงความแตกต่างความบริสุทธิ์โนโตรเจนออกแบบ และจำลองของหอกลั่นความดันต่ำ....42
รูปที่ 5.13 แสดงความแตกต่างความบริสุทธิ์ออกซิเจนออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันต่ำ....43
รูปที่ 5.14 แสดงความแตกต่างความบริสุทธิ์อาร์กอนออกแบบ และจำลอง ของหอกลั่นความดันต่ำ....43
รูปที่ 5.15 แบบจำลองหอกลั่นแยกอากาศ....47
รูปที่ 5.16 แบบจำลองหอกลั่นแยกอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนสายป้อน 232 เป็นสายเดียว....52
รูปที่ 5.17 ความแตกต่างความบริสุทธิ์ของแก๊สไนโตรเจน,ออกซิเจน และอาร์กอน ออกแบบ กับจำลอง ของกระบวนการกลั่นแยกอากาศ....54
รูปที่ 5.18 ความแตกต่างของความดันออกแบบ และจำลองของกระบวนการกลั่นแยกอากาศ....55
รูปที่ 5.19 ความแตกต่างของอุณหภูมิออกแบบ และจำลองของกระบวนการกลั่นแยกอากาศ....55

รูปที่ 5.20 ความแตกต่างของอัตราการไหลออกแบบ และจำลองของกระบวนการกลั่นแยกอากาศ.....56
รูปที่ 6.1 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....67
รูปที่ 6.2 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....68
รูปที่ 6.3 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....68
รูปที่ 6.4 อัตราการไหลของสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....69
รูปที่ 6.5 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....70
รูปที่ 6.6 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....70
รูปที่ 6.7 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....71
รูปที่ 6.8 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....72
รูปที่ 6.9 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....73
รูปที่ 6.10 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....73
รูปที่ 6.11 อัตราการไหลของสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....74
รูปที่ 6.12 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....75
รูปที่ 6.13 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....75
รูปที่ 6.14 อัตราการไหลของสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม 150.....76
รูปที่ 6.15 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....77
รูปที่ 6.16 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม150.....77
รูปที่ 6.17 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....78
รูปที่ 6.18 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....79
รูปที่ 6.19 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนที่สตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....79
รูปที่ 6.20 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....80
รูปที่ 6.21 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....81
รูปที่ 6.22 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....81
รูปที่ 6.23 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....82
รูปที่ 6.24 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....83
รูปที่ 6.25 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....83
รูปที่ 6.26 อัตราการไหลของสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....84

รูปที่ 6.27 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....85
รูปที่ 6.28 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....85
รูปที่ 6.29 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนที่สตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม150.....86
รูปที่ 6.30 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....87
รูปที่ 6.31 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....88
รูปที่ 6.32 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....88
รูปที่ 6.33 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....89
รูปที่ 6.34 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....90
รูปที่ 6.35 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....90
รูปที่ 6.36 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....91
รูปที่ 6.37 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....92
รูปที่ 6.38 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....92
รูปที่ 6.39 อัตราการไหลของสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....93
รูปที่ 6.40 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....94
รูปที่ 6.41 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....94
รูปที่ 6.42 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม150.....95
รูปที่ 6.43 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....96
รูปที่ 6.44 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....97
รูปที่ 6.45 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....97
รูปที่ 6.46 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....98
รูปที่ 6.47 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....99
รูปที่ 6.48 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....99
รูปที่ 6.49 อัตราการไหลของสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....100
รูปที่ 6.50 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....101
รูปที่ 6.51 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....101
รูปที่ 6.52 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม900ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....102
รูปที่ 6.53 อัตราการไหลของสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....103

รูปที่ 6.54 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....104
รูปที่ 6.55 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....104
รูปที่ 6.56 อัตราการไหลของสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....105
รูปที่ 6.57 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....106
รูปที่ 6.58 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม232.....106
รูปที่ 6.59 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....107
รูปที่ 6.60 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....108
รูปที่ 6.61 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม700ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....108
รูปที่ 6.62 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....109
รูปที่ 6.63 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....110
รูปที่ 6.64 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม400ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....110
รูปที่ 6.65 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....111
รูปที่ 6.66 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....112
รูปที่ 6.67 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม600ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....112
รูปที่ 6.68 อัตราการไหลของสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....113
รูปที่ 6.69 ความบริสุทธิ์ของออกซิเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....113
รูปที่ 6.70 ความบริสุทธิ์ของอาร์กอนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....114
รูปที่ 6.71 ความบริสุทธิ์ของไนโตรเจนสตรีม652ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม232.....114

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบ และคุณสมบัติของ อากาศ....16
ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งเทรย์ที่ป้อนเข้าและดึงออกเมื่อลดจำนวนเทรย์ลงที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของหอกลั่นความดันสูง....24
ตารางที่ 4.3 แสดงตำแหน่งเทรย์ที่ป้อนเข้าและดึงออกเมื่อลดจำนวนเทรย์ลงที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของหอกลั่นความดันต่ำ และหอกลั่นอาร์กอน....27
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูงเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง25%....37
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความผิดพลาดยกกำลังสองของหอกลั่นความดันสูงเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง....38
ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง25%....44
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความผิดพลาดยกกำลังสองของหอกลั่นความดันต่ำเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง....45
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นสาย 238 280 400 แล500 กับข้อมูลการออกแบบของหน่วยแยกอากาศเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง25%....48
ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นสาย 600 652 700 และ800 กับข้อมูลออกแบบของหน่วยแยกอากาศเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง25%....49
ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นสาย 900 910 และ912 กับข้อมูลการออกแบบของหน่วยแยกอากาศเมื่อลดจำนวนเทรย์ลง25%....50
ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหน่วยแยกอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนสายป้อน 232....53
ตารางที่ 5.9 การเปรียบเทียบอัตราการไหลจากการจำลองกระบวนการ กับข้อมูลจริงจากโรงงาน....57
ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองกระบวนการ กับข้อมูลจริงจากโรงงาน....57
ตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบความดันที่ได้จากการจำลองกระบวนการ กับข้อมูลจริงจากโรงงาน....58
ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบความบริสุทธิ์ที่ได้จากการจำลองกระบวนการกับข้อมูลจริงจากโรงงาน....58
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อทำออปติไมเซชันไนโตรเจน....60
ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบผลจากออออปติไมเซชันไนโตรเจนกับข้อมูลจากการออกแบบ....61

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อทำออปติไมเซชันออกซิเจน.....62
ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากออออปติไมเซชันออกซิเจนกับข้อมูลจากการออกแบบ.....63
ตารางที่ 6.5 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์เมื่อทำออปติไมเซชันอาร์กอน.....64
ตารางที่ 6.6 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากออออปติไมเซชันอาร์กอนกับข้อมูลจากการออกแบบ.....65
ตารางที่ 6.7 การเปลี่ยนแปลงสาย 700 ต่อการเปลี่ยนแปลงสายป้อน 150 และ 232.....117
ตารางที่ 6.8 การเปลี่ยนแปลงสาย 400 ต่อการเปลี่ยนแปลงสายป้อน 150 และ 232.....118
ตารางที่ 6.9 การเปลี่ยนแปลงสาย 600 ต่อการเปลี่ยนแปลงสายป้อน 150 และ 232.....119
ตารางที่ 6.10 การเปลี่ยนแปลงสาย 652 ต่อการเปลี่ยนแปลงสายป้อน 150 และ 232.....120
ตารางที่ ก1 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูง
เมื่อใช้จำนวนเทรย์จริง.....125
ตารางที่ ก2 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูง
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 10%.....126
ตารางที่ ก3 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูง
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 15%.....127
ตารางที่ ก4 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูง
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 20%.....128
ตารางที่ ก5 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันสูง
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 30%.....129
ตารางที่ ก6 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำ
เมื่อใช้จำนวนเทรย์จริง.....130
ตารางที่ ก7 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำ
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 10%.....131
ตารางที่ ก8 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำ
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 15%.....132
ตารางที่ ก9 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำ
เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 20%.....133

ตารางที่ ก10 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองหอกลั่นกับข้อมูลจากการออกแบบของหอกลั่นความดันต่ำ เมื่อลดจำนวนเทรย์ลง 30%.....134
ตารางที่ ก11 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม 150.....135
ตารางที่ ก12 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม 150.....138
ตารางที่ ก13 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม 150.....141
ตารางที่ ก14 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของสตรีม 232.....144
ตารางที่ ก15 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของสตรีม 232.....147
ตารางที่ ก16 ผลของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสตรีม 232.....150
ตารางที่ ก17 ผลของการผสมสายไอ กับของเหลว.....153