

การจำลองเชิงพลวัตของส่วนการนำกลับแยกเซนสำหรับโรงงานพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

นายชูศักดิ์ คิวเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMIC SIMULATION OF HEXANE RECOVERY SECTION FOR HDPE PLANT

Mr.CHOOSAK KIWJAROUN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511784

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำลองเชิงพลวัตของส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับ
โรงงานผลิตเอทิลีนความหนาแน่นสูง

โดย

นาย ชุศักดิ์ คิ้วเจริญ

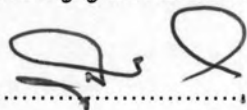
สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญรณ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญรณ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุด)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ)

ชูศักดิ์ คิวเจริญ : การจำลองเชิงพลวัตของส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับโรงงาน
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง. (Dynamic simulation of hexane recovery section for
HDPE plant) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 117 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมของส่วนการนำกลับเฮกเซน
สำหรับโรงงานพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยใช้โปรแกรมแอสเพนในการจำลองกระบวนการ
สำหรับการจำลองกระบวนการในสภาวะพลวัตได้ใช้โปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์เพื่อศึกษาและ
ติดตามพฤติกรรมของกระบวนการที่ภาวะการผลิตจริง ทำการทดสอบกระบวนการด้วยการ
เปลี่ยนแปลงอัตราสารป้อนแบบขั้นบันได ผลที่ได้จากการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมถูกนำมา
ทดสอบกับแบบจำลองกระบวนการ และใช้การวิเคราะห์ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความ
คลาดเคลื่อนในการประเมินสมรรถนะการควบคุมที่ดีที่สุดของระบบ โครงสร้างการควบคุมที่ถูก
พัฒนาประกอบด้วย 3 โครงสร้าง โครงสร้างที่ 1 เป็นโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนหลัก
เข้าสู่กระบวนการ โครงสร้างที่ 2 เป็นโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนัก
โมเลกุลต่ำที่กั้นหอกลั่น และโครงสร้างที่ 3 เป็นโครงสร้างการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของ
หอกลั่นระเหย จากการวิเคราะห์สมรรถนะการควบคุมเชิงปริมาณโดยการวิเคราะห์ค่าความ
คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่ากระบวนการและค่าเป้าหมาย พบว่า โครงสร้างการควบคุมความ
เข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำและโครงสร้างการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับ
สามารถยกระดับสมรรถนะของการควบคุมโดยการลดค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของ
กระบวนการควบคุม นอกจากนี้ การควบคุมค่าสัดส่วนการกลั่นไหลกลับของหอกลั่นระเหย
สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในหม้อต้มซ้ำได้ถึง 11.33 % ในขณะที่ยังคงรักษาระดับของน้ำ
ที่เป็นเปื้อนในผลิตภัณฑ์เฮกเซนได้น้อยกว่า 10 พีพีเอ็ม

ภาควิชา เคมีเทคนิค

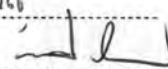
สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต

ชูศักดิ์ คิวเจริญ

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



5072262323 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : DYNAMIC SIMULATION / CONTROL CONFIGURATION / HEXANE
DISTILLATION

CHOOSAK KIWJAROUN : DYNAMIC SIMULATION OF HEXANE RECOVERY
SECTION FOR HDPE PLANT. ADVISOR : ASSOC.PROF.PORNPOTE
PIUMSOMBOON, Ph.D., 117 pp.

The study is to improve control configurations of hexane recovery distillation for high density polyethylene (HDPE) production using a commercial simulator, Aspen Engineering Suite. The Aspen Dynamics was also employed for capturing process behaviors by using step test method. The improved control configurations were tested by process simulation. The values of Integral of Absolute error (IAE) were employed for indicating the best control performance. There are three proposed control configurations. Regarding stripper column control, one is the hexane feed ratio configuration and the other is the low polymer concentration configuration. On the other hand, the reflux ratio configuration was modified for the dehydrator column. Considering the IAE approach, the low polymer concentration configuration in accompanies with the reflux ratio configuration can enhance the control performances by reducing the IAE values. In addition, the reboiler duty of the dehydrator column, being controlled by the reflux ratio configuration, can be reduced more than 11.33% while maintaining the water impurity in hexane product lower than 10 ppm.

Department : Chemical Technology
Field of Study : Chemical Technology
Academic Year : 2551

Student's Signature Choosak Kiwjaroun

Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุรณ์ ที่ได้ชี้แนะ สั่งสอน และอบรมรวมถึงแนะนำ แนวทางดี ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในเรื่องการทำงานและการพัฒนาศักยภาพของผู้วิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ ประธานกรรมการ รศ.ดร.เลอสรวง เมฆ สุต และรศ.ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดและ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยโพลีเอททิลีนที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการศึกษา ตลอดจน คุณนพพล มังกรานนท์ชัย และคุณอิศม์ สุวิตธรรม แห่งหน่วยงานเทคนิค ที่ได้ประสานงานวิจัย ร่วมระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบริษัท ไทยโพลีเอททิลีน และยังเป็นพี่เลี้ยงที่ได้ให้ คำแนะนำดี ๆ และช่วยเหลือด้านงานวิจัย ดูแลและเอาใจใส่ระหว่างที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลที่ บริษัท ไทยโพลีเอททิลีน จนกระทั่งตลอดระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณที่ทุกท่าน แห่งหน่วยงานเทคนิคบริษัท ไทยโพลีเอททิลีนที่ได้ช่วยเหลือกิจการงานต่างๆด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ก่อนับลูกศิษย์คนนี้ จากดินที่แห้งกระด้างให้กลายเป็นทรัพยากรบุคคลที่พร้อมจะก้าวสู่โลกกว้าง ด้วยความภาคภูมิใจ และพร้อมที่จะเป็นฟันเฟืองชิ้นเล็กๆชิ้นหนึ่งที่จะขับเคลื่อนศักยภาพของประเทศ ให้เดินหน้าต่อไป

นอกจากนี้ ขอขอบคุณที่ปรึกษาปริญาเอก เพื่อนปริญาโท นักวิจัยห้องไซเบอร์ และ น้องๆทุกท่านที่ได้เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และขอขอบคุณทุกคนใน ครอบครัวที่ได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง เป็นพลังและแรงกระตุ้นที่ผลักดันให้ ผู้วิจัยได้ดีตลอดการศึกษา ผู้วิจัยใคร่ขอมอบความกตัญญูอันสูงสุดด้วยการมอบความสำเร็จครั้งนี้ ให้แก่บิดา-มารดาผู้ทรงคุณอันประเสริฐ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 1 |
| 1.4 ข้อยกเว้นของการวิจัย..... | 2 |
| 1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... | 2 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.7 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 3 |
| 1.8 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... | 4 |
| 2.1.1 กระบวนการ..... | 4 |
| 2.1.2 กระบวนการควบคุมแบบหลายตัวแปร..... | 7 |
| 2.1.3 เมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกน (RGA)..... | 8 |
| 2.1.4 การขจัดความเชื่อมโยงของวงควบคุม (Decouple)..... | 9 |
| 2.1.5 การปรับแต่งเครื่องควบคุม (Controller Tuning)..... | 10 |
| 2.1.6 การวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการควบคุมด้วยค่าไอเออี..... | 13 |
| 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 13 |

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 16 |
| 3.1 กระบวนการผลิตส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับกระบวนการผลิต พอลิเอทิลีน..... | 16 |
| 3.1.1 ส่วนปฏิบัติการย่อย Hexane Stripping System..... | 16 |
| 3.1.2 ส่วนปฏิบัติการย่อย Hexane Dehydration System..... | 16 |
| 3.1.3 ส่วนปฏิบัติการย่อย Hexane Distribution System..... | 17 |
| 3.1.4 ส่วนปฏิบัติการย่อย Low Polymer Handling System..... | 17 |
| 3.1.5 กระบวนการกลั่นที่หอระเหยน้ำ (T-704)..... | 19 |
| 3.1.6 วงควบคุมกระบวนการของส่วนการนำกลับเฮกเซน..... | 21 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 21 |
| 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 21 |
| 3.4 การดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการ..... | 22 |
| 3.4.1 การจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว (Steady state simulation)..... | 22 |
| 3.4.2 การจำลองกระบวนการเชิงพลวัต (Dynamic simulation)..... | 23 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 24 |
| 4.1 บทนำ..... | 24 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว..... | 24 |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการเชิงพลวัต..... | 29 |
| 4.3.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระบวนการ..... | 30 |
| 4.3.2 การปรับแต่งค่าเครื่องควบคุม..... | 31 |
| 4.3.3 การศึกษาคู่ตัวแปรปรับ-ตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม..... | 33 |
| 4.3.4 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมต่อกระบวนการ การควบคุม..... | 37 |
| 4.3.5 การวิเคราะห์ค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อน (IAE) ของวงควบคุมกระบวนการ..... | 39 |
| 4.4 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกระบวนการกับกระบวนการผลิตจริง..... | 41 |
| 4.5 การพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการ..... | 70 |
| 4.5.1 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนเข้าหอกลั่น T-703..... | 70 |

| | หน้า |
|--|------|
| 4.5.2 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่กั้นหอกถัน T-703..... | 74 |
| 4.5.3 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกถัน T-704..... | 78 |
| 4.6 การประยุกต์การพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการ..... | 87 |
| 4.7 การปรับลดค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกถัน T-704..... | 90 |
| 4.8 การประยุกต์การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย..... | 92 |
| 4.8.1 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ถังดีแคนเตอร์ (D-702)..... | 94 |
| 4.8.2 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่กั้นหอกถัน T-704..... | 97 |
| 4.8.3 การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยโดยสมบูรณ์..... | 99 |
| | |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 101 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 101 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 102 |
| รายการอ้างอิง..... | 103 |
| ภาคผนวก..... | 105 |
| ภาคผนวก ก..... | 106 |
| ภาคผนวก ข..... | 118 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 127 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล (แบบวงเปิดหรือแบบออฟไลน์)..... | 11 |
| ตารางที่ 2.2 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล (แบบวงปิดหรือแบบออนไลน์)..... | 11 |
| ตารางที่ 2.3 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมด้วยวิธีการของไทเรียส-สตูเบน | 12 |
| ตารางที่ 3.1 สมดุลของเหลวและไอของของผสมระหว่างเฮกเซนและน้ำที่ความดัน 0.35 K/G..... | 20 |
| ตารางที่ 3.2 วงควบคุมกระบวนการของส่วนการนำกลับเฮกเซน (หน่วยปฏิบัติการ 700)... | 21 |
| ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลับ Stripper (T-703) โดยสมการสถานะ ต่างๆ..... | 24 |
| ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลับระเหยน้ำ (T-704) โดยสมการสถานะ ต่างๆ..... | 25 |
| ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองกระบวนการของหอกลับระเหยน้ำ T-704..... | 26 |
| ตารางที่ 4.4 วงควบคุมของกระบวนการนำกลับเฮกเซน..... | 29 |
| ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการของวงควบคุม..... | 30 |
| ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมโดยการทดสอบแบบวงเปิด..... | 31 |
| ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมโดยการทดสอบแบบวงปิด..... | 32 |
| ตารางที่ 4.8 เกนสัมพัทธ์ของกระบวนการส่วนการนำกลับเฮกเซน..... | 34 |
| ตารางที่ 4.8ก ความหมายของรหัส C และ M ในตารางที่ 4.8..... | 35 |
| ตารางที่ 4.9 สรุปค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ เชิงพลวัต..... | 37 |
| ตารางที่ 4.10 ค่าไอเอชซีของการปรับแต่งเครื่องควบคุมด้วยวิธีการต่างกัน..... | 40 |
| ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ค่าไอเอชซีของโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วน..... | 72 |
| ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ค่าไอเอชซีของโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ..... | 76 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| ตารางที่ 4.13 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีหลังการพัฒนาโครงสร้างการควบคุมการป้อนกลับ ของหอกลับ T-704 โดยเครื่องควบคุมชนิดพีไอที่มีขั้นตอนวิธีการต่างกัน.... | 81 |
| ตารางที่ 4.14 | ชนิดของเครื่องควบคุมต่อผลของค่าไอเอชอีของวงควบคุมสัดส่วนการ ป้อนกลับ..... | 83 |
| ตารางที่ 4.15 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีของโครงสร้างการควบคุมแบบต่างๆ..... | 85 |
| ตารางที่ 4.16 | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าผลรวมไอเอชอีเมื่อเทียบกับโครงสร้าง การควบคุมอ้างอิง..... | 86 |
| ตารางที่ 4.17 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีระหว่างโครงสร้างอ้างอิงและโครงสร้างรูปแบบที่ 2.... | 89 |
| ตารางที่ 4.18 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ4.8.1 | 96 |
| ตารางที่ 4.19 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ4.8.2 | 98 |
| ตารางที่ 4.20 | เปรียบเทียบค่าไอเอชอีของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ4.8.3 | 100 |
| ตารางที่ ก1. | บล็อกการจำลองกระบวนการควบคุมของโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์..... | 107 |
| ตารางที่ ก2.1 | ค่าคงที่การปรับแต่งเครื่องควบคุมโดยโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์..... | 110 |
| ตารางที่ ก2.2 | หน้าต่างกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรและค่าเป้าหมาย..... | 111 |
| ตารางที่ ก2.3 | ขอบเขตการป้อนค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์..... | 112 |
| ตารางที่ ก2.4 | พฤติกรรมของเครื่องควบคุมและค่าของตัวแปรปรับ..... | 113 |
| ตารางที่ ก3.1 | พฤติกรรมของตัวแปรขาออกของบล็อกสัญญาณ SplitRange..... | 115 |
| ตารางที่ ก3.2 | การตั้งค่าพารามิเตอร์ของบล็อก SplitRange..... | 116 |
| ตารางที่ ก3.3 | ผลของพฤติกรรมของบล็อก SplitRange ของตัวแปรขาออก 1..... | 116 |
| ตารางที่ ก3.4 | ผลของพฤติกรรมของบล็อก SplitRange ของตัวแปรขาออก 2..... | 117 |
| ตารางที่ ข1. | ค่าเกณฑ์ของตัวแปรควบคุมต่างๆเมื่อทำการปรับวาล์ว V02..... | 120 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 แผนผังสัญญาณการควบคุมกระบวนการ (วงควบคุมแบบปิด)..... | 5 |
| รูปที่ 2.2 ระบบ Decoupling ของวงควบคุมแบบปิด..... | 10 |
| รูปที่ 2.3 พฤติกรรมของกระบวนการเมื่อทำการเพิ่มค่า Kc..... | 12 |
| รูปที่ 3.1 กระบวนการกลั่นแยกเฮกเซน หน่วยปฏิบัติการ 700..... | 18 |
| รูปที่ 3.2 กราฟสมดุลของเหลว-ไอระหว่างเฮกเซนและน้ำ..... | 20 |
| รูปที่ 4.1 การกระจายของอุณหภูมิที่ชั้นต่างๆภายในหอกลั่น T-704..... | 27 |
| รูปที่ 4.2 การกระจายของสัดส่วนสารปนเปื้อนภายในหอกลั่น T-704..... | 28 |
| รูปที่ 4.3 แผนผังกระบวนการเมื่อทำการติดตั้งเครื่องควบคุม..... | 36 |
| รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการตอบสนองของวงควบคุม LIC3721 ที่ค่าพารามิเตอร์ของเครื่อง ควบคุมต่างกัน..... | 38 |
| รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์เฮกเซนจากกระบวนการผลิตที่ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุม ต่างกัน..... | 39 |
| รูปที่ 4.6 ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3712..... | 41 |
| รูปที่ 4.7 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FRC3712..... | 42 |
| รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3736..... | 43 |
| รูปที่ 4.9 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FRC3736..... | 44 |
| รูปที่ 4.10 ตำแหน่งของวงควบคุม LIC3721..... | 45 |
| รูปที่ 4.11 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LIC3721..... | 46 |
| รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3721..... | 47 |
| รูปที่ 4.13 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FIC3721..... | 48 |
| รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของวงควบคุม PIC3723..... | 49 |
| รูปที่ 4.15 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม PIC3723..... | 51 |
| รูปที่ 4.16 ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3722..... | 52 |
| รูปที่ 4.17 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FIC3722..... | 54 |
| รูปที่ 4.18 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3724..... | 55 |
| รูปที่ 4.19 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม TIC3724..... | 56 |

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.20 ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3722..... | 57 |
| รูปที่ 4.21 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LICA3722..... | 58 |
| รูปที่ 4.22 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3728..... | 59 |
| รูปที่ 4.23 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม TIC3728..... | 60 |
| รูปที่ 4.24 ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3731..... | 61 |
| รูปที่ 4.25 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LICA3731..... | 63 |
| รูปที่ 4.26 ตำแหน่งของวงควบคุม PICA3731..... | 64 |
| รูปที่ 4.27 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม PICA3731..... | 66 |
| รูปที่ 4.28 ตำแหน่งของวงควบคุม LIC3733..... | 67 |
| รูปที่ 4.29 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LIC3733..... | 68 |
| รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์เฮกเซน..... | 69 |
| รูปที่ 4.31 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนเข้าหอกลับ T-703..... | 70 |
| รูปที่ 4.32 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมแบบ สัดส่วนโดยตรง..... | 71 |
| รูปที่ 4.33 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำแบบ ลำดับขั้น..... | 74 |
| รูปที่ 4.34 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยตรง..... | 74 |
| รูปที่ 4.35 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้น ของพอลิเมอร์ความหนาแน่นต่ำที่กันหอกลับ..... | 75 |
| รูปที่ 4.36 แบบจำลองโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704..... | 78 |
| รูปที่ 4.37 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการ ป้อนกลับของหอกลับ T-704..... | 79 |
| รูปที่ 4.38 พฤติกรรมการตอบสนองของวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับ ของหอกลับ T-704..... | 80 |
| รูปที่ 4.39 สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 ของเครื่องควบคุมชนิดพีไอที่มีขั้นตอน วิธีการต่างกัน..... | 82 |
| รูปที่ 4.40 ผลตอบสนองของสัดส่วนการป้อนกลับหอกลับ T-704 ของชนิดเครื่องควบคุม ต่างกัน..... | 84 |
| รูปที่ 4.41 ผลิตภัณฑ์เฮกเซนจากโครงสร้างการควบคุมทั้งสองโครงสร้าง..... | 86 |

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.42 แผนผังกระบวนการผลิตของการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมรูปแบบที่ 2..... | 88 |
| รูปที่ 4.43 พฤติกรรมการตอบสนองของกระบวนการหลังการปรับลดค่าสัดส่วนการ ป้อนกลับ..... | 91 |
| รูปที่ 4.44 หน่วยปฏิบัติการผลิตส่วนการกลั่นระเหยน้ำ (T-704)..... | 92 |
| รูปที่ 4.45 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำ (4.8.1)..... | 95 |
| รูปที่ 4.46 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำ (4.8.2)..... | 97 |
| รูปที่ 4.47 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำ (4.8.3)..... | 99 |
| รูปที่ ก1. บล็อกการจำลองแบบ Comparator..... | 108 |
| รูปที่ ก2. บล็อกการจำลองแบบ IAE..... | 108 |
| รูปที่ ก3. บล็อกการจำลองแบบ Noise..... | 109 |
| รูปที่ ก4. กราฟแสดงการกระจายแบบเกาส์เซียน..... | 109 |
| รูปที่ ก5.1 บล็อกการจำลองแบบ PID..... | 110 |
| รูปที่ ก5.2 หน้าต่างการป้อนค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุม..... | 111 |
| รูปที่ ก5.3 หน้าต่างเฝ้าติดตามค่ากระบวนการของเครื่องควบคุมพีไอดี..... | 114 |
| รูปที่ ก6. บล็อกการจำลองแบบ Ratio..... | 114 |
| รูปที่ ก7.1 บล็อกการจำลองแบบ SplitRange..... | 115 |
| รูปที่ ก7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของตัวแปรขาเข้าและตัวแปรขาออก..... | 116 |
| รูปที่ ข1. ค่าเมทริกซ์ของเกนที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ ข2..... | 122 |
| รูปที่ ข2. เมทริกซ์ผกผันของค่าเกน (Inverse matrix)..... | 123 |
| รูปที่ ข3. สลับแถวเป็นหลักและหลักเป็นแถวของเมทริกซ์ผกผันของค่าเกน (Transpose).. | 124 |
| รูปที่ ข4. เมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกน (RGA)..... | 125 |
| รูปที่ ข5. โค้ดการคำนวณเมทริกซ์สัมพัทธ์ของเกนใน M-file โปรแกรม MATLAB..... | 126 |