

โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นสำหรับการวิจัย  
และพัฒนาการควบคุมกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์

นาย สิมาไชย พวงเพชร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-623-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20608630

A DISTILLATION PILOT PLAN FOR COMPUTER PROCESS CONTROL

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Mr. Simachai Puangpetch

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-623-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์      โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นสำหรับการวิจัยและพัฒนาการควบคุม  
กระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์

โดย                              นาย สิวมาไชย พวงเพชร

ภาควิชา                        วิศวกรรมเคมี

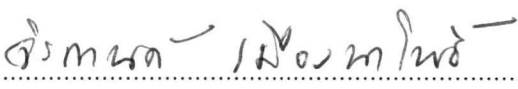
อาจารย์ที่ปรึกษา            อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี


---

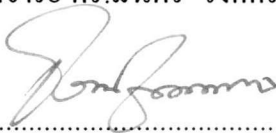
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

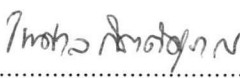
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จिरกานต์ เมืองนาโพธิ์)

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

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย ชรินพานิชกุล)

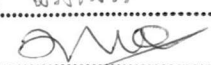
  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุกกร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สิมาไชย พวงเพ็ชร : โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นสำหรับการวิจัยและพัฒนาการควบคุมกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์ (A DISTILLATION PILOT PLANT FOR COMPUTER PROCESS CONTROL RESEARCH AND DEVELOPMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 292 หน้า. ISBN 974-636-623-8

โรงงานนำร่องหอกลิ้นถูกสร้าง และมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดและตัวส่งสัญญาณอย่างเต็มรูปแบบ เพื่อการปรับโครงสร้างระบบควบคุมได้อย่างคล่องตัว หอกลิ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ประกอบด้วยเทรย์แบบเจาะรูจำนวน 15 เทรย์ และมีความสูง 5 เมตร ตำแหน่ง เทรย์ป้อนเลือกได้ 5 ตำแหน่ง หอกลิ้นแยกส่วนผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล หอกลิ้นถูกอินเตอร์เฟซกับระบบการควบคุมแบบกระจายส่วนรุ่น ไมโคร-เอ็กซ์แอล งานวิศวกรรมระบบควบคุมแบบกระจายส่วนถูกสาธิต โมเดลแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของหอกลิ้นได้มาจากข้อมูลการทดลอง นอกจากนี้ หอกลิ้นยังถูกสร้างโมเดลด้วยโปรแกรมแอสเพนพลัส และมีการนำเสนอผลการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี โรงงานนำร่องนี้จะถูกใช้เพื่อการวิจัยการควบคุมกระบวนการขั้นก้าวหน้า และการสอนระบบเวลาจริง

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต ..... สิมาไชย พวงเพ็ชร  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C616941 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD:

DISTILLATION CONTROL / PILOT PLANT / DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

SIMACHAI PUNGPETCH : A DISTILLATION PILOT PLANT FOR COMPUTER PROCESS

CONTROL RESEARCH AND DEVELOPMENT. THESIS ADVISOR: DR. MONTREE WONGSRI,

292 pp. ISBN 974-636-623-8

The distillation pilot plant is constructed and is fully equipped with sensors and transmitters to be flexible in adjusting control system configuration. The 6 inch-diameter column consists 15 sieve trays and is 5 meters high. The 5 alternative feed trays have been provided. The column fractionates a mixture of water and ethanol. The distillation column is interfaced to the  $\mu$ -XL Distributed Control System. The engineering work of the Distributed Control System is demonstrated. The transfer function models of column are obtained from experimental data. The distillation column is also modeled by using Aspen Plus. Some results of PID feedback control are presented. The pilot plant will be used for advanced process control research and real-time system instruction.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา.....2539

ลายมือชื่อนิสิต..... สิมไช้ พวงเพชร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอ  
ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและ  
แนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จिरกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วย  
ศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาศิขกุล และ อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุขกร กรรมการในการ  
สอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดจนสำเร็จ  
การศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฐ
สารบัญตาราง.....	ป
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
2 ทฤษฎีเบื้องต้นของการกักกัน.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 ความรู้เบื้องต้น.....	9
2.3 แบบจำลองเชิงพลวัตของการกักกัน.....	11
2.4 พฤติกรรมเชิงพลวัตของการกักกัน.....	18
2.5 สรุป.....	22
3 การควบคุมกระบวนการด้วยระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน	
3.1 บทนำ.....	23
3.2 การควบคุมแบบป้อนกลับ.....	26

## บทที่

3.3	ระบบการควบคุมแบบกระจายส่วนหรือดีซีเอส .....	29
3.3.1	ความเป็นมาของระบบดีซีเอส.....	30
3.3.2	โครงสร้างหลักของระบบดีซีเอส.....	33
3.3.3	การแสดงผลของระบบดีซีเอส.....	57
3.4	การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยระบบดีซีเอส.....	64
3.4.1	การประมวลสัญญาณอินพุท.....	67
3.4.2	ฟังก์ชันการตรวจเดือน.....	70
3.4.3	ฟังก์ชันการควบคุม.....	74
3.4.4	การประมวลสัญญาณเอาต์พุท.....	75
3.5	สรุป.....	77
4	โรงงานนำร่องหอกลับ.....	78
4.1	บทนำ.....	78
4.2	องค์ประกอบสำคัญของหน่วยการกลับ.....	79
4.2.1	เทอร์ย์.....	80
4.2.2	เครื่องควบแน่น.....	80
4.2.3	หม้อต้มซ้ำ.....	81
4.2.4	พรีฮีตเตอร์.....	83
4.2.5	เครื่องควบแน่นแบบน็อคเอาท์.....	84
4.2.6	ถังหล่อเย็น.....	84
4.2.7	ถังเก็บ.....	86
4.3	อุปกรณ์ในกระบวนการกลับ.....	86
4.3.1	อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหอกลับ.....	86
4.3.2	สายกระบวนการ.....	87
4.3.3	สายไอน้ำ .....	89
4.3.4	สายน้ำ.....	89
4.4	การติดตั้งอุปกรณ์การวัดและการควบคุมกับระบบดีซีเอส.....	95
4.4.1	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	95



## บทที่

4.4.2 เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณการไหล.....	101
4.4.3 เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณระดับ.....	104
4.4.4 เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณความดัน.....	106
4.4.5 องค์กรควบคุมสุดท้ายหรือวาล์วควบคุม.....	106
4.4.6 ป้อนและโซลินอยด์วาล์ว.....	108
4.5 สรุป.....	110
5 การทำวิศวกรรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	112
5.1 บทนำ.....	112
5.2 ฟังก์ชันการสร้างระบบ.....	114
5.3 การทำวิศวกรรมระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของโรงงานนำร่องเพื่อ การกลั่น.....	119
5.3.1 การกำหนดรูปแบบโครงสร้างหน่วย.....	121
5.3.2 การกำหนดของสถานีของพนักงาน.....	123
5.3.3 การกำหนดหน่วยควบคุมและหน่วยการติดตาม.....	123
5.3.4 การกำหนดอุปกรณ์การควบคุมแบบป้อนกลับ.....	125
5.3.5 การระบุการต่อสูฟ.....	127
5.3.6 การกำหนดอุปกรณ์การทำงานแบบเปิดและปิดด้วยซีเควินซ์.....	129
5.3.7 การกำหนดรูปแบบโครงสร้างกราฟการแสดงแนวโน้ม.....	132
5.3.8 การกำหนดของโอเวอร์วิว.....	133
5.3.9 การกำหนดบทบาทของกลุ่มควบคุม.....	134
5.3.10 การกำหนดฟังก์ชันคีย์.....	135
5.3.11 การกำหนดลักษณะพารามิเตอร์ของอุปกรณ์.....	136
5.3.12 การกำหนดลักษณะการแสดงผลของหน้าจอกกราฟฟิก.....	137
5.3.13 เอกสารการทำวิศวกรรมระบบควบคุม.....	141
5.4 สรุป.....	141
6 การปฏิบัติการของโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นด้วยระบบการควบคุมแบบ กระจายส่วน.....	144

บทที่

6.1	บทนำ.....	144
6.2	การปฏิบัติการด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	145
6.2.1	การเข้าสู่ระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน.....	150
6.2.2	การปฏิบัติการด้วยหน้าจอการแสดงกราฟฟิค.....	153
6.2.3	การปฏิบัติการด้วยหน้าจอการแสดงโอเวอร์วิว.....	157
6.2.4	การปฏิบัติการด้วยหน้าจอการแสดงกลุ่มควบคุม.....	159
6.2.5	การปฏิบัติการด้วยหน้าจอการแสดงการจูนนิ่ง.....	162
6.2.6	การปฏิบัติการด้วยหน้าจอการแสดงกราฟแนวโน้ม.....	165
6.3	สรุป.....	166
7	การทดสอบระบบควบคุมโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น.....	167
7.1	บทนำ.....	167
7.2	การเลือกสารที่นำมาใช้ในการกลั่น.....	168
7.3	โมเดลแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน.....	170
7.3.1	การหาโมเดลแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นโค้ง ปฏิกิริยา.....	173
7.3.2	ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาโมเดลแบบทรานส์เฟอร์ ฟังก์ชัน.....	178
7.4	การสร้างแบบจำลองของหอกลิ้น.....	203
7.4.1	การสร้างแบบจำลองของหอกลิ้นด้วยโมเดลแบบทรานส์เฟอร์ ฟังก์ชันโดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ.....	203
7.4.2	สร้างแบบจำลองของหอกลิ้นโดยใช้โปรแกรม Apen Plus.....	210
7.5	การควบคุมโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น.....	213
7.5.1	ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	214
7.5.2	การทดสอบตัวควบคุม.....	219
7.6	สรุป.....	225
8	สรุปและวิเคราะห์ผล.....	227
8.1	โรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น.....	227

## บทที่

8.2 การทำวิศวกรรมระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	233
8.3 การสร้างโมเดลของหอกลับ.....	235
8.3.1 ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันและพลวัตของหอกลับ.....	235
8.3.2 การสร้างโมเดลของหอกลับด้วยโปรแกรม Aspen Plus.....	240
8.4 การควบคุมกระบวนการกักเก็บด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	241
8.5 ข้อเสนอแนะ.....	244
รายการอ้างอิง.....	246
ภาคผนวก.....	249
ภาคผนวก ก.....	250
ภาคผนวก ข.....	266
ภาคผนวก ค.....	287
ประวัติผู้วิจัย.....	292

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แบบจำลองของหอกลิ้น.....	8
รูปที่ 2.2 แผนภูมิจุดเคียดสำหรับสารสององค์ประกอบ.....	11
รูปที่ 2.3 ระบบการควบคุมหอกลิ้นเพื่อแสดงแบบจำลองเชิงพลวัต.....	13
รูปที่ 3.1 ผังการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	27
รูปที่ 3.2 โครงสร้างหลักของดีซีเอส.....	34
รูปที่ 3.3 องค์ประกอบพื้นฐานของหน่วยควบคุมและการอินเตอร์เฟซ.....	37
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแมนนวลสำรอง.....	42
รูปที่ 3.5 แผนภูมิตัวควบคุมรีดกันแดนท์.....	42
รูปที่ 3.6 แผนภูมิตัวควบคุมรีดกันแดนท์ทำงานหลายตัว.....	43
รูปที่ 3.7 แผนผังโครงสร้างการแสดงผล.....	58
รูปที่ 3.8 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบอะนาล็อก.....	65
รูปที่ 3.9 การควบคุมด้วยระบบดีซีเอส.....	65
รูปที่ 3.10 การควบคุมอุณหภูมิกันหอกลิ้นด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับใน ระบบดีซีเอส.....	66
รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมแสดงบล็อกประมวลสัญญาณอินพุต.....	68
รูปที่ 3.12 การตรวจเตือนที่ขีดจำกัดและที่ก่อนขีดจำกัด.....	72
รูปที่ 3.13 การตรวจเตือนความเร็ว.....	72
รูปที่ 3.14 การตรวจเตือนค่าความเบี่ยงเบน.....	73
รูปที่ 3.15 บล็อกกระบวนการสัญญาณเอาต์พุต.....	76
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงโรจนานำร่องหอกลิ้น.....	79
รูปที่ 4.2 สายปล่อยสารทิ้ง.....	85

	หน้า
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนตัวหอกลับ	88
รูปที่ 4.4 สายการป้อน	90
รูปที่ 4.5 สายรีฟลักซ์และผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต	91
รูปที่ 4.6 สายผลิตภัณฑ์ก้นหอย	92
รูปที่ 4.7 สายไอน้ำ	93
รูปที่ 4.8 สายน้ำ	94
รูปที่ 4.9 วงจรอาร์ทีดีแบบ 3 สาย	97
รูปที่ 4.10 ก. ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล กับหน่วยควบคุมของดีซีเอส	98
รูปที่ 4.10 ข. ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีกับหน่วย ควบคุมของดีซีเอส	99
รูปที่ 4.10 ข. (ต่อ) ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดีกับหน่วย ควบคุมของดีซีเอส	100
รูปที่ 4.11 การติดตั้งชุดวัดการไหล	101
รูปที่ 4.12 ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดการไหลกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส	102
รูปที่ 4.12 (ต่อ) ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดการไหลกับหน่วยควบคุม ของดีซีเอส	103
รูปที่ 4.13 การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับแบบถังเปิดและถังปิด	104
รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดระดับกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส	105
รูปที่ 4.15 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส	107
รูปที่ 4.16 การติดตั้งปั๊มปีและโซลินอยด์วาล์วกับหน่วยควบคุมของดีซีเอส	109
รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมการทำวิศวกรรมระบบควบคุม	113
รูปที่ 5.2 หน้าจอแสดงเมนูของการสร้างระบบ	115
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทำวิศวกรรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน	120
รูปที่ 5.3 (ต่อ) ขั้นตอนการทำวิศวกรรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน	121
รูปที่ 5.4 หน้าจอการจัดโครงสร้างหน่วยควบคุม	122
รูปที่ 5.5 หน้าจอการกำหนดโครงสร้างของหน่วยปฏิบัติการ	123

	หน้า
รูปที่ 5.6 หน้าจอกำหนดโครงสร้างของหน่วยควบคุม.....	124
รูปที่ 5.7 หน้าจอกำหนดอุปกรณ์ของการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	126
รูปที่ 5.8 การต่อลูขของการควบคุมอุณหภูมิยอคดอกกลับ.....	128
รูปที่ 5.9 หน้าจอแสดงการกำหนดคลุข.....	128
รูปที่ 5.9 (ต่อ) หน้าจอแสดงการกำหนดคลุข.....	129
รูปที่ 5.10 หน้าจอกำหนดหน่วยสวิทซ์ควบคุม .....	131
รูปที่ 5.11 หน้าจอกำหนดคิจิตอลเอาท์พุ ท.....	131
รูปที่ 5.12 หน้าจอกำหนดกราฟแสดงแนวโน้ข.....	132
รูปที่ 5.13 หน้าจอกำหนดขงโอเวอร์วิว.....	133
รูปที่ 5.14 หน้าจอกำหนดขงกลุ่มควบคุม.....	135
รูปที่ 5.15 หน้าจอแสดงการกำหนดฟังก์คิย.....	136
รูปที่ 5.16 หน้าจอกำหนดลักษณะพารามิเตอร์ของอุปกรณ์.....	137
รูปที่ 5.17 หน้าจอกำหนดข้อมูลหน้ากราฟฟิคที่ 1.....	139
รูปที่ 5.18 หน้าจอแสดงกราฟฟิคหน้าที่ 1 .....	139
รูปที่ 5.19 หน้าจอกำหนดข้อมูลหน้ากราฟฟิคที่ 2.....	140
รูปที่ 5.20 หน้าจอแสดงกราฟฟิคหน้าที่ 2.....	140
รูปที่ 6.1 รูปแสดงลักษณะเป็นพิมพ์ขงพนักงาน.....	145
รูปที่ 6.2 หน้าจอเริ่มต้นการปฏิบัติงาน.....	148
รูปที่ 6.3 หน้าจอสำหรับผู้ใช้งาน.....	148
รูปที่ 6.4 หน้าจอสำหรับแสดงข้อมูล.....	149
รูปที่ 6.5 กราฟฟิคแสดงเมนูเริ่มต้น.....	151
รูปที่ 6.6 กราฟฟิคขงโรงงานนำร่องเพื่อการกลับ.....	152
รูปที่ 6.7 บล็อกโอเวอร์วิวขงกระบวนการกลับโดย.....	152
รูปที่ 6.8 กราฟฟิคขงการปฏิบัติการและระบบควบคุมกระบวนการกลับ.....	153
รูปที่ 6.9 เฟชเพลทขงวาล์วควบคุมระดับในถังรองรับฟลักซ์ขง หน้าการแสดงกราฟฟิคการปฏิบัติการและการควบคุมดอกกลับ.....	156

รูปที่ 6.10	รายละเอียดในบล็อกการแสดงของหน้าจอโอเวอร์วิว.....	158
รูปที่ 6.11	รายละเอียดของกลุ่มควบคุม.....	160
รูปที่ 6.12	กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการไอน้ำ.....	161
รูปที่ 6.13	หน้าจอการแสดงหนึ่งของ การควบคุมอุณหภูมิกันหอกลับ.....	165
รูปที่ 6.14	กราฟแสดงแนวโน้มของอุณหภูมิกันหอกลับ.....	166
รูปที่ 7.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงรูปแบบโครงสร้างการควบคุมแบบ(LV).....	170
รูปที่ 7.2	กระบวนการที่ปรับให้คงที่เองได้.....	176
รูปที่ 7.3	กระบวนการที่ปรับให้คงที่เองไม่ได้.....	176
รูปที่ 7.4	การตอบสนองของอุณหภูมิยอคห่อเมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +5%.....	180
รูปที่ 7.5	การตอบสนองของอุณหภูมิยอคห่อเมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -5%.....	180
รูปที่ 7.6	การตอบสนองของอุณหภูมิยอคห่อเมื่อ $\Delta MV$ ของไอน้ำเท่ากับ -8%.....	184
รูปที่ 7.7	การตอบสนองของอุณหภูมิยอคห่อเมื่อ $\Delta MV$ ของไอน้ำเท่ากับ +8%.....	184
รูปที่ 7.8	การตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่สตีพของค่าตัวแปรปรับเปลี่ยน รีฟลักซ์ +5% .....	187
รูปที่ 7.9	การตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่สตีพของค่าตัวแปรปรับเปลี่ยน รีฟลักซ์ -5% .....	187
รูปที่ 7.10	การตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่สตีพของค่าตัวแปรปรับเปลี่ยน ไอน้ำ -8% .....	190
รูปที่ 7.11	การตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่สตีพของค่าตัวแปรปรับเปลี่ยน ไอน้ำ +8% .....	190
รูปที่ 7.12	การตอบสนองของระดับของเหลวที่กันห่อเมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -1%.....	194
รูปที่ 7.13	การตอบสนองของระดับของเหลวที่กันห่อเมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +1%.....	194
รูปที่ 7.14	การตอบสนองของระดับของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -1%.....	198
รูปที่ 7.15	การตอบสนองของระดับของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +1%.....	198
รูปที่ 7.16	การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -5%.....	201

รูปที่ 7.17 การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +5%.....	201
รูปที่ 7.18 การเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของ รีฟลักซ์ .....	206
รูปที่ 7.19 บล็อกไดอะแกรมการเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของรีฟลักซ์.....	206
รูปที่ 7.20 การเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของ ไอน้ำ.....	207
รูปที่ 7.21 บล็อกไดอะแกรมการเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของไอน้ำ.....	207
รูปที่ 7.22 การเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่อสเต็มพ์ของ รีฟลักซ์ .....	208
รูปที่ 7.23 บล็อกไดอะแกรมการเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมิกันหอต่อสเต็มพ์ของรีฟลักซ์.....	208
รูปที่ 7.24 การเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของ ไอน้ำ.....	209
รูปที่ 7.25 บล็อกไดอะแกรมการเลียนแบบผลการตอบสนองของอุณหภูมียอดหอต่อสเต็มพ์ของไอน้ำ.....	209
รูปที่ 7.26 ไดอะแกรมการสร้างแบบจำลองของหอกลับ โปแกรม Apen Plus.....	210
รูปที่ 7.27 โพรไฟล์แสดงส่วนประกอบโดยน้ำหนักในของเหลวในแต่ละเทรย์.....	212
รูปที่ 7.28 โพรไฟล์แสดงส่วนประกอบโดยน้ำหนักในไอในแต่ละเทรย์.....	213
รูปที่ 7.29 โพรไฟล์แสดงอุณหภูมิของหอกลับในแต่ละเทรย์.....	213
รูปที่ 7.30 ระบบการควบคุมหอกลับ.....	214
รูปที่ 7.31 การแกว่งที่ความถี่และขนาดคงที่ของระดับของเหลวที่ก้นหอ.....	217
รูปที่ 7.32 การแกว่งที่ความถี่และขนาดคงที่ของอุณหภูมิสารควบแน่น.....	218
รูปที่ 7.33 การควบคุมอุณหภูมิกันหอกลับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์.....	220
รูปที่ 7.34 การควบคุมของตัวควบคุมอุณหภูมิกันหอกลับเมื่อกระบวนการมีการ รบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียอดหอ.....	221



รูปที่ 7.35 การควบคุมอุณหภูมิยอดหอกลิ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์.....	222
รูปที่ 7.36 การควบคุมของตัวควบคุมอุณหภูมิยอดหอกลิ้นเมื่อกระบวนการมีการ รบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกันหอกลิ้น.....	223
รูปที่ 7.35 เซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมระดับที่กันห่อเปลี่ยนแปลงจาก35 cm.เป็น40 ....	224
รูปที่ 7.36 เซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมระดับที่กันห่อเปลี่ยนแปลงจาก15 cm.เป็น10 ....	224
รูปที่ 7.37 การควบคุมอุณหภูมิของสารควบแน่นที่เซ็ทพอยท์เท่ากับ 80 °C.....	225
รูปที่ 8.1 ไดอะแกรมโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นพร้อมอุปกรณ์การวัดและควบคุม...	228
รูปที่ 8.2 รูปแบบโครงสร้างการควบคุมหอกลิ้นของ PCEL.....	229
รูปที่ 8.3 โครงสร้างรูปแบบการควบคุมคุณภาพ.....	236
รูปที่ 8.4 โปรไฟล์อุณหภูมิของโรงงานนำร่องการกลั่นและการเลียนแบบ กระบวนการ.....	240
รูปที่ 8.5 ควบคุมของระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน.....	242
รูปที่ ก.1 โอเวอร์วิวของกระบวนการกลั่น.....	251
รูปที่ ก.2 กราฟฟิคของโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่น.....	251
รูปที่ ก.3 กลุ่มควบคุมสวิทช์ปฏิบัติการ.....	252
รูปที่ ก.4 กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการรีฟลักซ์.....	253
รูปที่ ก.5 กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการไอน้ำ.....	253
รูปที่ ก.6 กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต.....	254
รูปที่ ก.7 กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการผลิตภัณฑ์กันหอกลิ้น.....	254
รูปที่ ก.8 กลุ่มควบคุมสายปฏิบัติการของสารป้อน.....	255
รูปที่ ก.9 กลุ่มควบคุมความดันในหอกลิ้น.....	255
รูปที่ ก.10 การแสดงจูนนิ่งการควบคุมระดับที่กันหอกลิ้น.....	256
รูปที่ ก.11 การแสดงจูนนิ่งของการควบคุมระดับในถังเก็บรีฟลักซ์.....	257
รูปที่ ก.12 การแสดงจูนนิ่งของอุณหภูมิยอดหอกลิ้นที่เทรย์ 5.....	258
รูปที่ ก.13 การแสดงจูนนิ่งของอุณหภูมิยอดหอกลิ้นที่เทรย์ 3.....	258
รูปที่ ก.14 การแสดงจูนนิ่งของการควบคุมอุณหภูมิกันหอกลิ้น.....	258
รูปที่ ก.15 จอการแสดงผลจูนนิ่งของอุณหภูมิสารป้อน.....	259

หน้า

รูปที่ ก.16 แสดงจุดนิ่งของอุณหภูมิสารควบแน่น.....	259
รูปที่ ก.17 การแสดงจุดนิ่งของการไหลของสารป้อน.....	260
รูปที่ ก.18 การแสดงจุดนิ่งของการไหลของรีฟลักซ์.....	260
รูปที่ ก.19 การแสดงจุดนิ่งของการไหลผลิตภัณฑ์ก้นหอกกลับ.....	261
รูปที่ ก.20 การแสดงจุดนิ่งของการไหลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลต.....	261
รูปที่ ก.21 การแสดงจุดนิ่งของความดันยอดหอกกลับ.....	262
รูปที่ ก.22 การแสดงจุดนิ่งของความดันก้นหอกกลับ.....	262
รูปที่ ก.23 กราฟแสดงแนวโน้มของอุณหภูมิก้นหอกกลับ.....	263
รูปที่ ก.24 กราฟแสดงแนวโน้มของอุณหภูมียอดหอกกลับ.....	263
รูปที่ ก.25 กราฟแสดงแนวโน้มของอุณหภูมิสารควบแน่น.....	264
รูปที่ ก.26 กราฟแสดงแนวโน้มของระดับในถังรองรับรีฟลักซ์.....	264
รูปที่ ก.27 กราฟแนวโน้มของระดับที่ก้นหอกกลับ.....	265
รูปที่ ข.1 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพการไหลของรีฟลักซ์ เท่ากับ -10%.....	268
รูปที่ ข.2 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพการไหลของรีฟลักซ์ เท่ากับ +10%.....	268
รูปที่ ข.3 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพการไหลของรีฟลักซ์ เท่ากับ -20%.....	269
รูปที่ ข.4 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพการไหลของรีฟลักซ์ เท่ากับ +20%.....	269
รูปที่ ข.5 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพของไอน้ำเท่ากับ -15%.....	271
รูปที่ ข.6 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพของไอน้ำเท่ากับ +15%.....	271
รูปที่ ข.7 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพของไอน้ำเท่ากับ -20%.....	272
รูปที่ ข.8 การตอบสนองของอุณหภูมียอดหอเมื่อสตีพของไอน้ำเท่ากับ +20%.....	272
รูปที่ ข.9 การตอบสนองของอุณหภูมิก้นหอ เมื่อ $\Delta MV$ ของอุณหภูมียอดหอ เท่ากับ -10%.....	274
รูปที่ ข.10 การตอบสนองของอุณหภูมิก้นหอเมื่อ เมื่อ $\Delta MV$ ของอุณหภูมียอดหอ	

เท่ากับ+10%.....	274
รูปที่ ข.11 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ ของอุณหภูมิยอดห่อ เท่ากับ -20%.....	275
รูปที่ ข.12 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อเมื่อ เมื่อ $\Delta MV$ ของอุณหภูมิยอดห่อ เท่ากับ +20%.....	275
รูปที่ ข.13 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -5%.....	277
รูปที่ ข.14 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ สเต็ป เท่ากับ +5%.....	277
รูปที่ ข.15 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -10%.....	278
รูปที่ ข.16 การตอบสนองของอุณหภูมิกันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +10%.....	278
รูปที่ ข.17 การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -8 %.....	280
รูปที่ ข.18 การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +8 %.....	281
รูปที่ ข.19 การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -10 %.....	281
รูปที่ ข.20 การตอบสนองของอุณหภูมิสารควบแน่น เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -10 %.....	282
รูปที่ ข.21 การตอบสนองของระดับของของเหลวที่กันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -2%...283	283
รูปที่ ข.22 การตอบสนองของระดับของของเหลวที่กันห่อ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +2%..283	283
รูปที่ ข.23 การตอบสนองของระดับของของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ -2%.....	285
รูปที่ ข.24 การตอบสนองของระดับของของเหลวในถังเก็บรีฟลักซ์ เมื่อ $\Delta MV$ เท่ากับ +2%.....	285
รูปที่ ค.1 โพรไฟล์แสดงการไหลของไอในแต่ละเทรย์.....	291
รูปที่ ค.2 โพรไฟล์แสดงการไหลของของเหลวในแต่ละเทรย์.....	291

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 การกำหนดอุปกรณ์สำหรับการทำวิศวกรรมระบบควบคุม.....142

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) การกำหนดอุปกรณ์สำหรับการทำวิศวกรรมระบบควบคุม..... 143

ตารางที่ 7.1 สารที่นำมาใช้สำหรับระบบการกลั่นสารคู่ที่เป็นตัวเลือก..... 169

ตารางที่ 7.2 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของรีฟลักซ์ที่มีผลต่ออุณหภูมิยอคหอ...182

ตารางที่ 7.3 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับเปลี่ยนของไอน้ำที่ให้แก่ม้อคัมซ้า  
ที่มีผลต่ออุณหภูมิยอคหอ.....185

ตารางที่ 7.4 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของรีฟลักซ์ที่มีผลต่ออุณหภูมิกันหอ...188

ตารางที่ 7.5 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับเปลี่ยนของไอน้ำที่ให้แก่ม้อคัมซ้า  
ที่มีผลต่ออุณหภูมิกันหอ.....192

ตารางที่ 7.6 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์กันหอที่มีต่อระดับ  
ของเหลวที่กันหอ.....195

ตารางที่ 7.7 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์คิสทิลเลตที่มีต่อระดับ  
ของเหลวในถังรีฟลักซ์ .....197

ตารางที่ 7.8 ผลการวิเคราะห์เส้นโค้งปฏิกิริยาเพื่อหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ  
การเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับเปลี่ยนของน้ำหล่อเย็นที่ให้เครื่องควบ  
แน่นที่มีผลต่ออุณหภูมิสารควบแน่น.....202

ตารางที่ 7.9 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี.....219

	หน้า
ตารางที่ 8.1 แสดงอุปกรณ์วัดและตัวส่งสัญญาณสำหรับโรงงานนำร่องหอกลิ้น.....	230
ตารางที่ 8.2 ภาวะการเตือนสำหรับการตรวจสอบกระบวนการ.....	235
ตารางที่ 8.3 รูปควบคุมของโรงงานนำร่องหอกลิ้น.....	241
ตารางที่ 8.4 โครงการวิจัยการควบคุมกระบวนการ โดยใช้โรงงานนำร่องหอกลิ้น.....	245
ตารางที่ ค.1 แสดงโปรแกรมไฟลล์อุณหภูมิของโรงงานนำร่องเพื่อการกลั่นและของ โมเดล.....	287
ตารางที่ ค.2 แสดงผลของการสร้างแบบจำลองหอกลิ้นด้วยโปรแกรม Aspen Plus...	288
ตารางที่ ค.2 (ต่อ) แสดงผลของการสร้างแบบจำลองหอกลิ้นด้วยโปรแกรม Aspen Plus.....	289
ตารางที่ ค.2 (ต่อ) แสดงผลของการสร้างแบบจำลองหอกลิ้นด้วยโปรแกรม Aspen Plus.....	290