

การเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุมหอกลับโดยใช้ MATLAB

นาย อูระพงษ์ พงศ์ราศรี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2539

ISBN 974-632-101-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17273 249

Comparison of Distillation Column Control Structures Using MATLAB

Mr. Urapong Pongrasri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

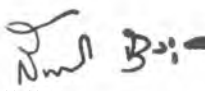
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-632-101-4


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุมหอกลับโดยใช้ MATLAB
โดย นายอุระพงษ์ พงศ์ราศรี
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

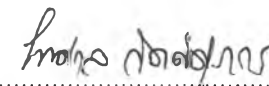
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุภกร)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อุระพงษ์ พงศ์ราศรี : การเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุมหอกถันโดยใช้ MATLAB (Comparison of Distillation Column Control Structures Using MATLAB) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 177 หน้า.

ISBN 974-632-101-4

วิทยานิพนธ์นี้ ได้แสดงวิธีการต่างๆ ในการเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุมหอกถันเพื่อเลือกโครงสร้างที่ดีที่สุด โครงสร้างที่ดีที่สุด คือ โครงสร้างที่ลดการกระทบระหว่างดูฟและปิดการรบกวนได้ดีที่สุด การทดลองได้นำทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของโครงสร้างการควบคุมต่างๆ จากเอกสารตีพิมพ์ 5 ตัวอย่าง และโครงสร้างการควบคุมใหม่ที่ได้จากการแปลงมาจากแบบจำลองโครงสร้างการควบคุมของเอกสารตีพิมพ์ มาสร้างระบบจำลองเลียนแบบควบคุมการกลั่นด้วย MATLAB จากผลการทดลองพบว่า โครงสร้างที่เป็นรูปแบบอัตราส่วน คือ $[D/(L+D), V]$, $[D/(L+D), V/B]$ และโครงสร้างใหม่จากการแปลง คือ $[L/(L+D), V]$ สามารถลดการกระทบระหว่างดูฟและปิดการรบกวนได้ดีกว่าโครงสร้างแบบที่นิยมใช้ เช่น LV และ DV เป็นต้น และได้หาพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่เหมาะสมของโครงสร้างการควบคุมที่เลือก โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้จากเอกสารตีพิมพ์, ZN, ISE และ BLT

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกหาร่วม

C416577 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: DISTILLATION CONTROL STRUCTURE/ LOOPS INTERACTION/ DISTURBANCE REJECTION

URAPONG PONGRASRI: COMPARISON OF DISTILLATION COLUMN CONTROL STRUCTURES USING MATLAB.

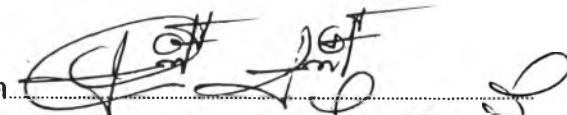
THESIS ADVISOR: DR. MONTREE WONGSRI, 177 pp. ISBN 974-632-101-4

This thesis demonstrates the methods of distillation column control structures comparison to select the best control structure. The best control structure is the structure that reduce the most loops interaction and certain disturbances. The experiments including the study of control structure models from five journals and new control structure model that transforms from known control structure model, that were constructed distillation control system model for simulation using MATLAB. The result, the ratio structures, which is $[D/(L+D),V]$, $[D/(L+D),V/B]$ and new transformation model $[L/(L+D),V]$ are able to reduce loops interaction and certain disturbances better than commonly used structures such as LV and DV etc. In addition, the research of appropriate controller parameter of selected structure compares from parameters from journals, ZN, ISE and BLT.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร ที่ได้กรุณาให้ความสนใจ ทั้งคำแนะนำที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ที่ได้กรุณาเป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ ผู้เขียนต้องกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้กำเนิด เลี้ยงดูด้วยความรักและมอบการศึกษาอันเป็นทรัพย์ที่สูงค่ายิ่ง ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและให้ช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

อนึ่ง งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	น
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 เนื้อหาของรายงานวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 การควบคุมและการแปลงโครงสร้างการควบคุมหอกลับ.....	13
3.1 ความรู้เกี่ยวกับการก่กลับและการควบคุมหอกลับ.....	13

3.1.1	ดีกรีความอิสระ (Degree of freedom).....	14
3.1.2	ตัวแปรควบคุม (Controlled variables).....	16
3.1.3	ตัวแปรปรับ (Manipulated variables).....	16
3.1.4	การควบคุมความดัน (Pressure control).....	17
3.1.5	การควบคุมระดับของเหลวในถังรองรับยอดหอและฐานหอ.....	19
3.2	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้นหอกลิ้น.....	19
3.2.1	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น LV	23
3.2.2	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น DV	24
3.2.3	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น $D/(L+D), V$	25
3.2.4	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น $D/(L+D), V/B$	26
3.3	ระบบควบคุมกระบวนการที่มีตัวแปรควบคุมและตัวแปรปรับหลายตัว.....	27
3.3.1	ระบบควบคุมดีคัปปลิง (Decoupling control system).....	32
3.4	ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างการควบคุมหอกลิ้นแบบต่างๆ.....	34
3.4.1	คุณสมบัติการปิดการรบกวน (Disturbance rejection).....	34
3.4.2	การกระทบระหว่างลูปควบคุม (Control loop interaction)	35
3.5	การแปลงโครงสร้างควบคุมหอกลิ้น (Distillation column control structure transformation).....	36
3.5.1	การแปลงโครงสร้างควบคุมหอกลิ้นสถานะคงที่ (Steady state	

transformation).....	38
3.5.2 การแปลงรูปแบบโครงสร้างควบคุมหอกลับเชิงไดนามิก (Dynamic transformation).....	41
3.5.3 การแปลงโครงสร้างการควบคุม $L/(L+D), V$	44
3.5.4 การแปลงโครงสร้างการควบคุม $L/(L+D), V/B$	52
3.5.5 การแปลงโครงสร้างการควบคุม LB	53
4. MATLAB และระบบควบคุมแบบกระจายส่วน	54
4.1 MATLAB.....	54
4.1.1 SIMULINK.....	55
4.2 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (Distributed Control System หรือ DCS).....	58
4.2.1 การพัฒนาระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	58
4.2.2 สถาปัตยกรรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	65
4.2.3 ความเชื่อถือของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	74
4.2.4 การจำลองกระบวนการของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	78
4.2.5 การนำระบบควบคุมแบบกระจายส่วนมาใช้.....	80
บทที่ 5 การทดลอง.....	83
5.1 ตัวอย่างการทดลอง.....	83
5.1.1 ตัวอย่างที่ 1 : แบบจำลองของ W.L. Luyben and C.D. Vinante.....	84

5.1.2 ตัวอย่างที่ 2 : แบบจำลองของ R.K. Wood and M.W. Berry.....	84
5.1.3 ตัวอย่างที่ 3 : แบบจำลองของ J.L. Marchetti et al.....	84
5.1.4 ตัวอย่างที่ 4 : แบบจำลองกระบวนการกลั่นของ Lau et al.....	84
5.1.5 ตัวอย่างที่ 5 : แบบจำลองของ K.V. Waller, K.E. Haggblom, P.M. Sandelin and P.M. Finnerman.....	85
5.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	87
5.2.1 การทดลองด้วย MATLAB.....	87
5.2.2 การทดลองด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS).....	88
6. ผลการทดลอง.....	91
6.1 ผลการทดลองจาก SIMULINK.....	92
6.1.1 ตัวอย่างที่ 1 แบบจำลองของ C.N.Vinante กับ W.L.Luyben.....	92
6.1.2 ตัวอย่างที่ 2 แบบจำลองของ R.K.Wood กับ M.W.Berry.....	95
6.1.3 ตัวอย่างที่ 3 แบบจำลองของ J.L. Marchetti และคณะ.....	99
6.1.4 ตัวอย่างที่ 4 แบบจำลองของ H.Lau และคณะ.....	104
6.1.5 ตัวอย่างที่ 5 แบบจำลองของ K.V.Waller และคณะ.....	107
6.1.6 เปรียบเทียบการตอบสนองระหว่างโครงสร้างควบคุม LV , $[L/(L+D),V]$ และ $[L/(L+D),V/B]$	124
6.1.7 ผลการตอบสนองของโครงสร้าง $[L/(L+D),V]$ ที่แปลงจาก DV	128

6.1.8 ผลการตอบสนองของโครงสร้าง LB ที่แปลงจาก LV	130
7. วิเคราะห์และสรุปและข้อเสนอแนะ.....	142
7.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	143
7.2 สรุปผลการทดลอง.....	147
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	147
รายการอ้างอิง.....	149
ภาคผนวก	
ก. ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน μXL	156
ข. วิธีการหาพารามิเตอร์ตัวควบคุม.....	172
1. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธีอินทิกรัลออฟเดอะสแควร์เออเรีย (Integral of the Square Error หรือ ISE).....	172
2. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธี ZN (Ziegler Nichole Method).....	174
3. การหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมโดยวิธี BLT (Biggest Log Modulus Tuning).....	175
ประวัติผู้เขียน.....	177

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 โครงสร้างหอกลับอย่างง่ายและตัวแปรต่างๆ.....	15
3.2 การติดตั้งของโครงสร้างการควบคุมหอกลับ LV	23
3.3 การติดตั้งของโครงสร้างการควบคุมหอกลับ DV	24
3.4 การติดตั้งของโครงสร้างการควบคุมหอกลับ $D/(L+D), V$	26
3.5 การติดตั้งของโครงสร้างการควบคุมหอกลับ $D/(L+D), V/B$	27
3.6 ภาพรวมของระบบในการควบคุมหอกลับ.....	28
3.7 ระบบควบคุมสองตัวแปรควบคุมสองตัวแปรปรับ.....	28
3.8 การเกิดลูปป้อนกลับลูปที่สาม (Hidden feedback loop).....	30
3.9 ระบบควบคุมดีคัปลิง.....	33
4.1 วินโดว์ไลบรารีทูลบ็อกซ์ของ SIMULINK.....	55
4.2 ตัวอย่างระบบเลียนแบบการกลับโดย SIMULINK.....	58
4.3 แบบการนำโดยพนักงาน.....	60
4.4 แบบการควบคุมเชิงทอยท์.....	60
4.5 การควบคุมดิจิทัลโดยตรง.....	61
4.6 การควบคุมแบบออฟไลน์ลูปเปิด.....	65

4.7 การควบคุมแบบออฟไลน์ลูปปิด.....	66
4.8 การควบคุมแบบออนไลน์ลูปเปิด	66
4.9 การควบคุมแบบออนไลน์ลูปปิด.....	67
4.10 ระบบควบคุมแบบกระจายคอมพิวเตอร์.....	67
4.11 การควบคุมแบบใช้คอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง.....	68
4.12 ระบบควบคุมแบบรวมศูนย์.....	68
4.13 ระบบควบคุมแบบคอมพิวเตอร์กระจาย.....	69
4.14 โครงสร้างระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	71
4.15 ภาพรวมสถาปัตยกรรมระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	72
4.16 ระบบความปลอดภัยแบบแมนวอลเบ็คอัฟ.....	75
4.17 ระบบความปลอดภัยแบบทำซ้ำสำรอง	76
4.18 ระบบความปลอดภัยแบบตัวควบคุมทำงานหลายตัว.....	76
4.19 การควบคุมแบบอะนาลอก.....	81
4.20 การควบคุมด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	81
4.21 โครงสร้างฟังก์ชันอุปกรณ์ตัวควบคุมพีไอดี.....	82
6.1 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม LV	92
6.2 การตอบสนองตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์อุณหภูมิยอดหอ (T_{17})	93
6.3 การตอบสนองตัวอย่างที่ 1 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์อุณหภูมิฐานหอ (T_4).....	93

6.4 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม LV ของตัวอย่างที่ 2.....	95
6.5 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 2 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ผลิตภัณฑ์ยอคหอ (x_D).....	96
6.6 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 2 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ผลิตภัณฑ์ฐานหอ (x_B).....	97
6.7 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 2 เมื่อเปลี่ยนอัตราไหลกระแสป้อน (F).....	98
6.8 แบบจำลอง SIMULINK ตัวอย่างที่ 3.....	99
6.9 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ผลิตภัณฑ์ยอคหอ (y).....	100
6.10 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ผลิตภัณฑ์ฐานหอ (x).....	101
6.11 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนอัตราไหลกระแสป้อน (F).....	102
6.12 การตอบสนองของตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนส่วนผสมกระแสป้อน (z).....	103
6.13 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม LV ของ H.Lau และคณะ.....	104
6.14 การตอบสนองตัวอย่างที่ 4 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์อุณหภูมิยอคหอ (T_3).....	105
6.15 การตอบสนองตัวอย่างที่ 4 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์อุณหภูมิฐานหอ (T_{17}).....	106
6.16 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม LV ตัวอย่างที่ 5.....	107
6.17 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม DV ตัวอย่างที่ 5.....	107
6.18 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม $D/(L+D), V$ ตัวอย่างที่ 5.....	108
6.19 แบบจำลอง SIMULINK โครงสร้างควบคุม $D/(L+D), V/B$ ตัวอย่างที่ 5.....	108
6.20 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_4 พารามิเตอร์จากเอกสาร.....	109
6.21 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_4 พารามิเตอร์จาก ZN.....	110

6.22 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_4 พารามิเตอร์จาก BLT.....	111
6.23 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_4 พารามิเตอร์จาก ISE.....	112
6.24 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_{14} พารามิเตอร์จากเอกสาร.....	113
6.25 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_{14} พารามิเตอร์จาก ZN.....	114
6.26 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_{14} พารามิเตอร์จาก BLT.....	115
6.27 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน T_{14} พารามิเตอร์จาก ISE.....	116
6.28 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน F พารามิเตอร์จากเอกสาร.....	117
6.29 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน F พารามิเตอร์จาก ZN.....	118
6.30 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน F พารามิเตอร์จาก BLT.....	119
6.31 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน F พารามิเตอร์จาก ISE.....	120
6.32 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน z พารามิเตอร์จากเอกสาร.....	121
6.33 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน z พารามิเตอร์จาก ZN.....	122
6.34 การตอบสนองตัวอย่างที่ 5 เปลี่ยน z พารามิเตอร์จาก BLT.....	123
6.35 การตอบสนองของโครงสร้าง $LV, [L/(L+D), V], [L/(L+D), V/B]$ เปลี่ยน T_4 sp.....	124
6.36 การตอบสนองของโครงสร้าง $LV, [L/(L+D), V], [L/(L+D), V/B]$ เปลี่ยน T_{14} sp.....	125
6.37 การตอบสนองของโครงสร้าง $LV, [L/(L+D), V], [L/(L+D), V/B]$ เปลี่ยน F	126
6.38 การตอบสนองของโครงสร้าง $LV, [L/(L+D), V], [L/(L+D), V/B]$ เปลี่ยน z	127
6.39 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D), V$ เปลี่ยน T_4 sp.....	128

6.40 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน T_{14SP}	128
6.41 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน F	129
6.42 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน z	129
6.43 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน T_{4SP}	130
6.44 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน T_{14SP}	130
6.45 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน F	131
6.46 การตอบสนองของโครงสร้าง $L/(L+D)$, V เปลี่ยน z	131

ภาคผนวก ก

1 โครงสร้างขนาดเล็กของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน μXL	156
2 โครงสร้างของบ็อกซ์ตัวควบคุม.....	159
3 โครงสร้างฟังก์ชันเล็กอันดับหนึ่งมีเดดไทม์ และสัญญาณตอบสนอง.....	160
4 โครงสร้างฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอดี (PID controller).....	161
5 บล็อกซีโคแอมของอุปกรณ์คำนวณ (CALCU unit).....	163
6 โครงสร้างฟังก์ชันอุปกรณ์ FUNC.....	163
7 โครงสร้างฟังก์ชันอุปกรณ์ PG-S13 และ PG-L13.....	164
8 Builder Menu Panel.....	166
9 Unit Configuration Panel.....	167
10 OPS system definition builder panel (card configuration).....	167

11 Control unit configuration panel.....	168
12 Feedback Instrument Specification Panel.....	168
13 Feedback instrument specification (loop connection) panel.....	169
14 Trend configuration panel.....	169
15 Pen assignment panel.....	170
16 Overview assignment panel.....	170
17 Control group assignment panel.....	171

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลสภาวะคงที่ของตัวอย่างที่ 5.....	45
4.1 ไบรารีฟังก์ชันบล็อก (Block function Libraries) ของ SIMULINK.....	56
4.2 รายชื่อของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	64
5.1 แบบจำลองการกลั่นของตัวอย่างที่ 1-5.....	85
5.2 พารามิเตอร์ตัวควบคุมของตัวอย่างทดลอง.....	89
6.1 เปรียบเทียบค่า IAE ของโครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น.....	132
6.2 ค่า Relative gain (λ) ของโครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น.....	136
6.3 ค่าพารามิเตอร์ความไวต่อการรบกวน (Disturbance Sensitivity Parameter).....	137
6.4 ร้อยละของค่า IAE ของพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่เลือก เปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ตัว ควบคุมวิธีอื่น.....	140
ภาคผนวก ก	
1 ฟังก์ชันบล็อกอุปกรณ์ μ XL ที่อยู่ในไลบรารี.....	157
ภาคผนวก ข	
1 สมการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม.....	173
2 ค่าพารามิเตอร์ a, b, c, d, e และ f	173

คำอธิบายสัญลักษณ์

B	อัตราไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอ (Bottom flow rate)
D	อัตราไหลคิสติลเลต (Distillate flow rate)
F	อัตราไหลของกระแสป้อน (Feed flow rate)
L	อัตราไหลกระแสรีฟลักซ์ (Reflux flow rate)
P	ความดันภายในหอกลิ้น (Column pressure)
V	อัตราไหลของไอน้ำ (Steam flow rate)
L_A	ระดับถังพักของเหลวยอดหอ (Reflux Drum Level)
L_B	ระดับถังพักของเหลวฐานหอ (Bottom sump Level)
LV	โครงสร้างควบคุมหอกลิ้น (L ควบคุม y , V ควบคุม x)
DV	โครงสร้างควบคุมหอกลิ้น (D ควบคุม y , V ควบคุม x)
$D/(L+D), V$	โครงสร้างควบคุมหอกลิ้น [$D/(L+D)$ ควบคุม y , V ควบคุม x]
$D/(L+D), V/B$	โครงสร้างควบคุมหอกลิ้น [$D/(L+D)$ ควบคุม y , V/B ควบคุม x]
DRD	โครงสร้างควบคุมหอกลิ้น
x	ส่วนผสมผลิตภัณฑ์ก้นหอ (Bottom product composition)
y	ส่วนผสมผลิตภัณฑ์ยอดหอ (Top product composition)
z	ส่วนผสมกระแสป้อน (Feed composition)