

ระบบควบคุมการกลั่นแบบกำกับดูแลด้วยพีซีของหอกลั่นแยกสารสองชนิด



นายกฤติชัย ธาราธรรมาธิกรณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-029-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A FUZZY SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF A BINARY DISTILLATION COLUMN



Mr. Kritichai Tarathammatikorn

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

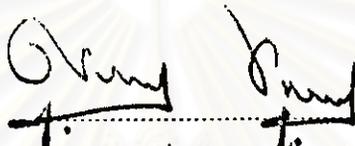
Academic Year 1998

ISBN 974-332-029-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมการกลั่นแบบกำกับดูแลด้วยพีซีของหอกลั่นแยกสารสองชนิด  
โดย นาย กฤติชัย ธาราธรรมาภิกรณ์  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สุวลัย กลั่นความดี

---

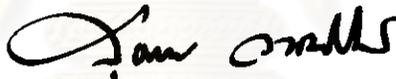
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

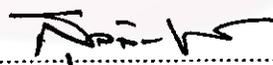
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



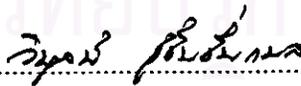
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม วาณิชเสนี)

ประธานกรรมการ



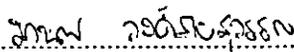
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย กลั่นความดี)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(คุณ วิบูลย์ ชูชีพชื่นกมล)

กรรมการ



(ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

กรรมการ

กฤติชัย ธารารธรรมาธิกรณ์ : ระบบควบคุมการกลั่นแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีของหอกลั่นแยกสารสองชนิด (A FUZZY SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF A BINARY DISTILLATION COLUMN) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุวลัย กลั่นความดี , 85 หน้า. ISBN 974-332-029-6.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีสำหรับระบบหอกลั่นแยกสารสองชนิด เนื่องจากกระบวนการกลั่นแยกสารเป็นกระบวนการที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ทั้งยังเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากสาเหตุต่างๆได้มาก ในการออกแบบระบบควบคุมในที่นี้จึงพิจารณาถึงแง่มุมต่างๆที่สำคัญได้แก่ การออกแบบและปรับจูนตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี การออกแบบระบบเฝ้าระวังความผิดพลาด การติดต่อระหว่างโปรแกรมควบคุมกับผู้ปฏิบัติการ การติดต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัด และการส่งงานอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ผลการพิจารณาการออกแบบโดยคำนึงถึงสิ่งต่างๆเหล่านี้ จะทำให้ระบบควบคุมมีความน่าเชื่อถือได้ ผู้ปฏิบัติการสามารถใช้งานและดูแลกระบวนการได้โดยง่าย

ในส่วนของตัวควบคุมจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอที่กำกับดูแลด้วยฟัซซี นั่นคือตัวควบคุมแบบพีไอธรรมดาจะเป็นตัวควบคุมในวงรอบการควบคุมหลัก และมีตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีกำกับดูแลระบบโดยการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอในวงรอบหลัก ผลการควบคุมโดยการทดลองกับระบบหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่ออกแบบขึ้นนี้สามารถใช้งานได้จริง และได้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....

สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....

ปีการศึกษา ..... 2541 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... กฤติชัย ธารารธรรมาธิกรณ์ .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... รศ. ดร. สุวลัย กลั่นความดี .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

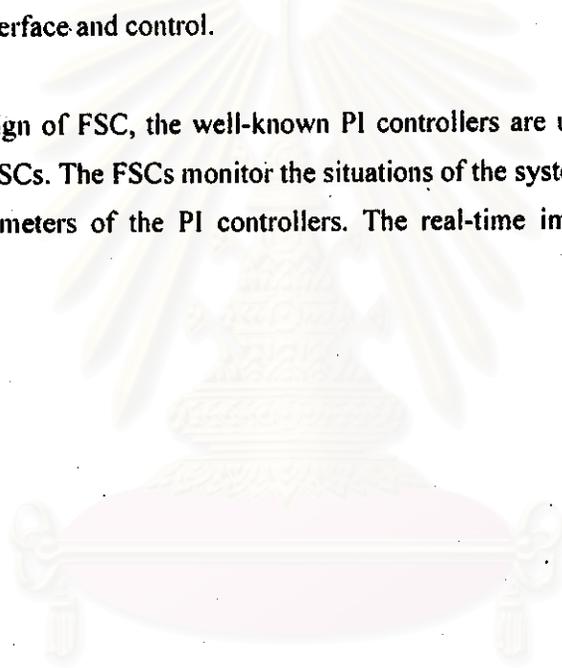
##4070526421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: FUZZY LOGIC / FUZZY SUPERVISORY CONTROL / DISTILLATION COLUMN /

KRITTICHAJ TARATHAMMATIKORN : A FUZZY SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF A BINARY DISTILLATION COLUMN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUVALAI GLANKWAMDEE, Ph.D. 85 pp. ISBN 974-332-029-6.

Fuzzy Supervisory Control System of a binary distillation column is studied in this thesis. Distillation process is one of the most important processes in many industries, however, it has complex behavior, high nonlinearity and may be affected by many sources of fault. So, we consider in many aspects of the control-system design problem to achieve a reliable control system and the ease for plant operators to use and maintain the system. Some important design aspects to be addressed are the design and tuning of the Fuzzy Supervisory Controller (FSC), the fault monitoring system, the user interface and the instruments interface and control.

In the design of FSC, the well-known PI controllers are used as the main controllers with supervision from the FSCs. The FSCs monitor the situations of the system and use the predefined control laws to tune the parameters of the PI controllers. The real-time implementation shows satisfactory control results.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... กฤติชัย ธรรมวัฒนา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Suvalai Glankwamdee

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร.สุวลัย กลิ่นความดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ในสาขาระบบควบคุมทุกท่าน ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสณี ประธานกรรมการ รวมทั้งกรรมการอีกสองท่านคือ อาจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ และ คุณวิบูลย์ ชูชีพชันทนกุล จากบริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ จำกัด ที่ได้ให้คำชี้แนะอันเป็นประโยชน์ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เนื่องจากผู้วิจัยได้รับทุนการวิจัยจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จึงขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนรุ่นพี่และรุ่นน้องในสาขาระบบควบคุมทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องเกี่ยวข้องกับการกลั่นแยกแอลกอฮอล์จากน้ำโดยใช้อุปกรณ์หอกลั่นภายในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม กลิ่นของแอลกอฮอล์จึงอาจรบกวนการทำงานของหลายๆท่านบ้าง ซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก จึงขอขอบคุณทุกท่านที่เสียสละและมีความอดทนขณะดำเนินการทดลองในงานวิจัย และขออภัยทุกท่านมา ณ ที่นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติผู้ใหญ่ของผู้วิจัยทุกท่าน ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	6
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	7
2 การควบคุมที่กำกับดูแลด้วยพีซี.....	8
การออกแบบตัวควบคุมตรรกพีซีโดยวิธีลองผิดลองถูก.....	9
ระบบควบคุมตรรกพีซีสำหรับปรับอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดี.....	10
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลับ.....	15
โครงสร้างของระบบควบคุม.....	16
ผลการจำลองระบบ.....	16
สรุป.....	18
3 ระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยพีซีของหอกลับแยกสารสองชนิด.....	19
คุณลักษณะของหอกลับของห้องปฏิบัติการวิจัย.....	19
ผลการศึกษาการควบคุมระบบ.....	25
สรุป.....	41
4 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	42
รายการอ้างอิง.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก หอกลับแยกสารสองชนิด.....	46
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลักการกักกันแยกสารผสม.....	47
ความดันไอและจุดเดือดของสาร.....	49
แผนภาพจุดเดือด.....	49
ความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพันธ์.....	50
แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว.....	50
จำนวนชั้นของหอกลับและเส้นปฏิบัติการ.....	52
เส้นป้อนสาร.....	56
ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกักกัน.....	57
ตัวแปรสำหรับการควบคุมความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์.....	59
โครงสร้างของระบบควบคุม.....	60
สรุป.....	61
ข ตรีรกพีซีและการควบคุมตรีรกพีซี.....	62
ตรีรกพีซี.....	62
ระบบควบคุมตรีรกพีซี.....	64
ตัวควบคุมตรีรกพีซี.....	64
ข้อดีของระบบควบคุมตรีรกพีซี.....	66
ลักษณะงานที่เหมาะสมกับการควบคุมโดยตัวควบคุมตรีรกพีซี.....	66
ลักษณะงานที่ไม่เหมาะสมกับการควบคุมโดยตัวควบคุมตรีรกพีซี.....	67
ค การออกแบบวงจรเชื่อมต่อในการควบคุมอัตราการบินกลับสารยอดหอ.....	68
โครงสร้างของวงจรเชื่อมต่อที่สร้างขึ้น.....	75
การใช้งาน.....	76
รูปแสดงวงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบ.....	78
ง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	85

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจุดทำงานที่กำหนดขึ้น.....	22
ตารางที่ 3.2 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิยอดหอ.....	40
ตารางที่ 3.3 ค่าแปรปรวนของอุณหภูมิฐานหอ.....	40



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างของระบบควบคุมที่จะสร้างขึ้น..... 6
รูปที่ 2.1	โครงสร้างการควบคุมแบบสองระดับ..... 8
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่พารามิเตอร์ถูกปรับด้วยตัวควบคุมตรรกฟัซซี..... 11
รูปที่ 2.3	ตัวแปรเชิงภาษาของ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ ..... 12
รูปที่ 2.4	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $K_p$ และ $K_i$ ..... 13
รูปที่ 2.5	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\alpha$ ..... 13
รูปที่ 2.6	ผลตอบของกระบวนการโดยทั่วไปต่อสัญญาณเข้าแบบขั้น..... 13
รูปที่ 2.7	ฐานกฎฟัซซีสำหรับ $K_p$ ..... 14
รูปที่ 2.8	ฐานกฎฟัซซีสำหรับ $K_i$ ..... 14
รูปที่ 2.9	ฐานกฎฟัซซีสำหรับ $\alpha$ ..... 14
รูปที่ 2.10	การรบกวนของ Feed Rate ที่ใช้ศึกษา..... 17
รูปที่ 2.11	ผลตอบส่วนเบี่ยงเบนอุณหภูมิยอดหอ..... 17
รูปที่ 2.12	ผลตอบอุณหภูมิฐานหอ..... 17
รูปที่ 2.13	อัตราการป้อนสารกลับยอดหอ..... 17
รูปที่ 2.14	อัตราการป้อนไอรูานหอ..... 17
รูปที่ 3.1	หอกลิ้นแยกสารสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมรุ่น Armfield UOP3CC..... 21
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์ต่างๆของหอกลิ้นแยกสารสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม..... 22
รูปที่ 3.3	แผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดัน 101 kPa..... 23
รูปที่ 3.4	แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดัน 101 kPa..... 24
รูปที่ 3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่หม้อต้มซ้ำกับความดันตกคร่อมยอดหอ..... 24
รูปที่ 3.6	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้นแบบ LV..... 25
รูปที่ 3.7	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ (การทดลองที่ 1)..... 26
รูปที่ 3.8	ฐานกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมตรรกฟัซซี (การทดลองที่ 1)..... 26
รูปที่ 3.9	ก. แผนภาพพื้นผิวของ $K_p$ , ข. แผนภาพพื้นผิวของ $K_i$ (การทดลองที่ 1)..... 27
รูปที่ 3.10	อุณหภูมิที่ขึ้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) (การทดลองที่ 1)..... 27
รูปที่ 3.11	พลังงานที่จ่ายยังหม้อต้มซ้ำ (การทดลองที่ 1)..... 28
รูปที่ 3.12	อัตราป้อนสารกลับ (การทดลองที่ 1)..... 28
รูปที่ 3.13	ค่าพารามิเตอร์ $K_p$ (การทดลองที่ 1)..... 28
รูปที่ 3.14	ค่าพารามิเตอร์ $K_i$ (การทดลองที่ 1)..... 29

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15	ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎ (การทดลองที่ 1)..... 29
รูปที่ 3.16	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาต่างๆ (การทดลองที่ 2)..... 30
รูปที่ 3.17	ฐานกฎการควบคุมสำหรับตัวควบคุมตรรกพีซี (การทดลองที่ 2)..... 30
รูปที่ 3.18	แผนภาพพื้นผิวของ $K_p$ และ $K_I$ (การทดลองที่ 2)..... 31
รูปที่ 3.19	จุดหนีที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) (การทดลองที่ 2)..... 31
รูปที่ 3.20	พลังงานที่หม้อต้มข้าว (การทดลองที่ 2)..... 32
รูปที่ 3.21	อัตราป้อนสารกลับ (การทดลองที่ 2)..... 32
รูปที่ 3.22	ค่าพารามิเตอร์ $K_p$ (การทดลองที่ 2)..... 32
รูปที่ 3.23	ค่าพารามิเตอร์ $K_I$ (การทดลองที่ 2)..... 33
รูปที่ 3.24	ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎ (การทดลองที่ 2)..... 33
รูปที่ 3.25	จุดหนีที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) (การทดลองที่ 3)..... 34
รูปที่ 3.26	พลังงานที่หม้อต้มข้าว (การทดลองที่ 3)..... 35
รูปที่ 3.27	อัตราป้อนสารกลับ (การทดลองที่ 3)..... 35
รูปที่ 3.28	จุดหนีที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) (การทดลองที่ 4)..... 36
รูปที่ 3.29	พลังงานที่หม้อต้มข้าว (การทดลองที่ 4)..... 37
รูปที่ 3.30	อัตราป้อนสารกลับ (การทดลองที่ 4)..... 37
รูปที่ 3.31	ค่าพารามิเตอร์ $K_p$ ของตัวควบคุมในวงรอบยอดหอ (การทดลองที่ 4)..... 37
รูปที่ 3.32	ค่าพารามิเตอร์ $K_I$ ของตัวควบคุมในวงรอบยอดหอ (การทดลองที่ 4)..... 38
รูปที่ 3.33	ค่าพารามิเตอร์ $K_p$ ของตัวควบคุมในวงรอบฐานหอ (การทดลองที่ 4)..... 38
รูปที่ 3.34	ค่าพารามิเตอร์ $K_I$ ของตัวควบคุมในวงรอบฐานหอ (การทดลองที่ 4)..... 38
รูปที่ 3.35	ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎในวงรอบยอดหอ (การทดลองที่ 4)..... 39
รูปที่ 3.36	ค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกในส่วน IF-part ของกฎการควบคุมทั้ง 5 กฎในวงรอบฐานหอ (การทดลองที่ 4)..... 39
รูปที่ 3.37	ค่าแปรปรวนของจุดหนียอดหอเปรียบเทียบทั้ง 4 การทดลอง..... 40
รูปที่ 3.38	ค่าแปรปรวนของจุดหนีฐานหอเปรียบเทียบทั้ง 4 การทดลอง..... 40
รูปที่ ก.1	พื้นฐานของการกลั่นแยกสาร..... 47
รูปที่ ก.2	การเคลื่อนที่ของไอและของเหลวภายในหอกลั่น..... 48
รูปที่ ก.3	อุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่สำคัญในกระบวนการกลั่น..... 48

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.4	แผนภาพจุดเดือดของสารผสมระหว่างสาร A และสาร B..... 50
รูปที่ ก.5	แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลว..... 51
รูปที่ ก.6	แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวที่ไม่เป็นอุดมคติ..... 52
รูปที่ ก.7	แผนภาพสมดุลไอ-ของเหลวของสารผสมคงจุดเดือด..... 52
รูปที่ ก.8	การหา rectification section operating line..... 53
รูปที่ ก.9	การหา stripping section operating line..... 54
รูปที่ ก.10	องค์ประกอบของสารในเฟสไอและเฟสของเหลวในชั้นภายในหอกกลั่น..... 55
รูปที่ ก.11	ตัวอย่างของตำแหน่งป้อนสารเข้า..... 56
รูปที่ ก.12	ลักษณะของเส้นป้อนสาร..... 56
รูปที่ ก.13	ผลของอัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดต่อ rectification section operating line..... 57
รูปที่ ข.1	ตัวอย่างของโอเปอเรชัน and และ or ในตรรกพีชคณิต..... 63
รูปที่ ข.2	โครงสร้างของตัวควบคุมตรรกพีชคณิตโดยทั่วไป..... 65
รูปที่ ข.3	ตัวอย่างฐานกฎการควบคุม..... 66
รูปที่ ค.1	โครงสร้างการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ..... 68
รูปที่ ค.2	สัญญาณวัดและสัญญาณควบคุมในระบบ..... 69
รูปที่ ค.3	อุปกรณ์เชื่อมต่ออิเล็กทรอนิกส์..... 69
รูปที่ ค.4	การสั่งงานตัวแปรพลังงานความร้อนที่หม้อต้มซ้ำ..... 71
รูปที่ ค.5	แผนภาพขั้นตอนการป้องกันการตัดการติดต่อ..... 71
รูปที่ ค.6	การสั่งงานตัวแปรความเร็วรอบมอเตอร์สูบสาร..... 72
รูปที่ ค.7	การสั่งงานตัวแปรการป้อนสารกลับยอดด้วยค่าอัตราส่วน a/b..... 72
รูปที่ ค.8	ตำแหน่งต่างๆของโซลินอยด์วาล์วในการป้อนสารกลับยอด..... 72
รูปที่ ค.9	ขั้นตอนการอ่านค่าอุณหภูมิจากอุปกรณ์เชื่อมต่ออิเล็กทรอนิกส์..... 74
รูปที่ ค.10	แผนภาพโครงสร้างของวงจรเชื่อมต่อโดยคร่าวๆ..... 75
รูปที่ ค.11	แผนภาพทางเวลาแสดงการทำงานของรีเลย์เมื่อสัญญาณอ้างอิงมีค่า 128..... 76
รูปที่ ค.12	ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณค่าอัตราส่วนป้อนสารกับอัตราส่วนป้อนสารกลับที่สั่งงานโดยวงจร..... 77
รูปที่ ค.13	วงจรสั่งงานการป้อนสารกลับยอดที่ออกแบบขึ้น..... 78
รูปที่ ง.1	โครงสร้างของโปรแกรมระบบควบคุมการกลั่นแยกสารที่พัฒนาขึ้น..... 79
รูปที่ ง.2	การป้อนรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่โปรแกรม..... 81

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ง.3	หน้าจอหลักของโปรแกรม..... 81
รูปที่ ง.4	โมดูลการตั้งค่าสัญญาณต่างๆในระบบในรูปแบบกราฟ..... 82
รูปที่ ง.5	การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีโดยผู้ปฏิบัติการ..... 82
รูปที่ ง.6	การออกแบบปรับจูนตัวควบคุมตรรกฟัซซี่..... 83
รูปที่ ง.7	แผนภาพไวยากรณ์ของแต่ละกฎในฐานกฎการควบคุม..... 83
รูปที่ ง.8	การตั้งค่าสัญญาณควบคุมในการควบคุมแบบวงรอบเปิด..... 84

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย