

ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด
สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดโดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม



นาย ชีรวุฒิ ฉัตรชนอนันต์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-220-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN OPTIMUM FUZZY SUPERVISORY CONTROL SYSTEM
OF A BINARY DISTILLATION COLUMN USING GENETIC ALGORITHMS



Mr. Theerawut Chatthana-anan

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-220-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟuzzyที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสาร
ผสมสองชนิดโดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม
โดย นาย ชีรวิทย์ ฉัตรชนานันต์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย ประดิษฐ์ฐานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ วาณิชเสณี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย ประดิษฐ์ฐานนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

..... กรรมการ
(คุณวิบูลย์ ชูชีพชื่นกมล)

ธีรวุฒิ ฉัตรชนานันต์ : ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้น
แยกสารผสมสองชนิดโดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม (AN OPTIMUM FUZZY
SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF A BINARY DISTILLATION COLUMN USING
GENETIC ALGORITHMS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุวลัย ประดิษฐ์ฐานนท์, 78 หน้า. ISBN 974-
346-220-1.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี
ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ตัวควบคุม PI เป็นตัวควบคุมหลักทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการโดยตรง และใช้ระบบ
ตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นตัวกำกับดูแลการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ตามกฎการควบคุมที่ได้ออกแบบ
ไว้ โดยนำวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GAs) มาใช้ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก (Membership
Function) และฐานกฎ (Rule Base) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อแสดงว่าระบบควบคุมนี้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าระบบ
ควบคุมแบบปรับตัวเองได้จึงนำไปประยุกต์ใช้กับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดซึ่งมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและ
พารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงช้าๆ ผลการควบคุมในเวลาจริงแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่ออกแบบขึ้นนี้
สามารถควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอให้มีความบริสุทธิ์เป็นไปตามที่กำหนดไว้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
อัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170350321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: PI CONTROLLER / FUZZY LOGIC SYSTEM / GENETIC ALGORITHMS / A BINARY DISTILLATION COLUMN

THEERAWUT CHATTHANA-ANAN : AN OPTIMUM FUZZY SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF A BINARY DISTILLATION COLUMN USING GENETIC ALGORITHMS.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUVALAI PRATISHTHANANDA, Ph.D. 78 pp. ISBN 974-346-220-1.

This thesis presents a design method of an optimum fuzzy supervisory control system. The system uses PI controllers as the main controllers that perform direct control and uses the fuzzy logic system to perform supervision for adjusting the parameters of the PI controllers according to the designed fuzzy control rules. Genetic Algorithms (GAs) are utilized to build up the optimal fuzzy membership functions and rules. To demonstrate that this design method can perform like an adaptive control, the proposed design is applied to a binary distillation column to maintain the top product composition as close as possible to the set points despite the presence of perturbations in the feed flow rate. The real-time implementation demonstrates the efficiency of this approach.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....

Student's signature.....

Field of study.....

Advisor's signature.....

Academic year.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สุวลัย ประดิษฐ์ฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ กำลังใจ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุมที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม วาณิชเสณี ประธานกรรมการ รวมทั้งกรรมการอีกสองท่าน คือ อาจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ และคุณวิบูลย์ ชูชีพชั้นกมล จากบริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เนื่องจากผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากโครงการศึกษากันภูมิของภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า จึงขอขอบพระคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้ามา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ในการทดลอง (Refractometer) ตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผองเพื่อน พี่ น้อง ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมทุกท่านที่ได้ร่วมทุกข์สุข ช่วยเป็นกำลังใจด้วยดีมาตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	6
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 วิธีดำเนินงาน	7
2 ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด	8
2.1 ตัวควบคุม PI	9
2.2 ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีสำหรับปรับจูนอัตราขยายของตัวควบคุม PI	10
2.3 การหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยใช้ GAs	13
2.3.1 โครโมโซมของ GAs	13
2.3.2 ฟังก์ชัน Fitness	14
2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรม	14
2.4 สรุป	15
3 ตัวอย่างการจำลองระบบ	16
3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	16
3.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	17
3.1.2 โครงสร้างของระบบควบคุม	17
3.1.3 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการจำลองระบบ	18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.1.4 สรุป	28
3.2 หอกลับแยกสารผสมสองชนิด	29
3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลับแยกสารผสมสองชนิด	29
3.2.2 โครงสร้างของระบบควบคุม	33
3.2.3 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการจำลองระบบ	34
3.2.4 สรุป	43
3.3 สรุป	44
4. ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลับ แยกสารผสมสองชนิด	45
4.1 หอกลับแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม	45
4.2 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการควบคุมระบบ	51
4.3 สรุป	66
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	67
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก	73
ก ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม	74
ก.1 รูปแบบของการแสดงโครโมโซม	74
ก.2 การดำเนินการทางพันธุกรรม	75
ก.2.1 การสืบพันธุ์	75
ก.2.2 การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน	76
ก.2.3 การกลายพันธุ์	77
ประวัติผู้เขียน	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลในสภาวะอยู่ตัว	33
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจุดทำงานที่กำหนดขึ้น	50



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด	8
รูปที่ 2.2 ตัวแปรเชิงภาษาของ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$	11
รูปที่ 2.3 ตัวแปรเชิงภาษาของ K_p และ K_I	12
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโครโมโซม	13
รูปที่ 2.5 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ GAs	15
รูปที่ 3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	16
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	17
รูปที่ 3.3 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	20
รูปที่ 3.4 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	20
รูปที่ 3.5 ผลตอบของอนุหภูมิในกรณีที่ 1	20
รูปที่ 3.6 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 1	20
รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.11 ฐานกฎสำหรับ K_p ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.12 ฐานกฎสำหรับ K_I ในกรณี Pop = 20	21
รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.15 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.17 ฐานกฎสำหรับ K_p ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.18 ฐานกฎสำหรับ K_I ในกรณี Pop = 28	22
รูปที่ 3.19 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	23
รูปที่ 3.20 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	23
รูปที่ 3.21 ผลตอบของอนุหภูมิในกรณีที่ 2	23
รูปที่ 3.22 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 2	23
รูปที่ 3.23 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.24	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 24
รูปที่ 3.25	ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 24
รูปที่ 3.26	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 24
รูปที่ 3.27	ผลตอบของอนุหภูมิในกรณีที่ 3.1 25
รูปที่ 3.28	สัญญาควบคุมในกรณีที่ 3.1 25
รูปที่ 3.29	ผลตอบของอนุหภูมิในกรณีที่ 3.2 25
รูปที่ 3.30	สัญญาควบคุมในกรณีที่ 3.2 25
รูปที่ 3.31	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.32	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.33	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.34	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.35	ฐานกฎสำหรับ K_p สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.36	ฐานกฎสำหรับ K_I สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 26
รูปที่ 3.37	ผลตอบของอนุหภูมิเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี ที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเทียบกับตัวควบคุม PI 27
รูปที่ 3.38	สัญญาควบคุมเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี ที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเทียบกับตัวควบคุม PI 27
รูปที่ 3.39	ผลตอบของอนุหภูมิเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ 28
รูปที่ 3.40	สัญญาควบคุมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ 28
รูปที่ 3.41	แบบจำลองหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด 30
รูปที่ 3.42	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้นแบบ (L,V) 33
รูปที่ 3.43	ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด 36
รูปที่ 3.44	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด 36
รูปที่ 3.45	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37
รูปที่ 3.46	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37
รูปที่ 3.47	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37
รูปที่ 3.48	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37
รูปที่ 3.49	ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37
รูปที่ 3.50	ฐานกฎของ K_I สำหรับวงรอบยอดหอคอยในกรณีที่ 1 37

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.51 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.52 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.53 อัตราการป้อนกลับสารที่ขอดหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.54 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.55 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.56 ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1	38
รูปที่ 3.57 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 2 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	39
รูปที่ 3.58 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 2 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	39
รูปที่ 3.59 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.60 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.61 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.62 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.63 ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.64 ฐานกฎของ K_I สำหรับวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	40
รูปที่ 3.65 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.66 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.67 อัตราการป้อนกลับสารที่ขอดหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.68 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.69 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.70 ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบฐานหอในกรณีที่ 2	41
รูปที่ 3.71 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอในกรณีที่ 3	42
รูปที่ 3.72 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอในกรณีที่ 3	42
รูปที่ 3.73 อัตราการป้อนกลับสารที่ขอดหอในกรณีที่ 3	42
รูปที่ 3.74 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอในกรณีที่ 3	42
รูปที่ 3.75 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบขอดหอในกรณีที่ 3	43
รูปที่ 3.76 ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบขอดหอในกรณีที่ 3	43
รูปที่ 3.77 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในกรณีที่ 3	43
รูปที่ 3.78 ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบฐานหอในกรณีที่ 3	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1	หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC 47
รูปที่ 4.2	แผนภาพอย่างง่ายของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC 48
รูปที่ 4.3	แผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดันบรรยากาศ 49
รูปที่ 4.4	โครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น 50
รูปที่ 4.5	ลักษณะสมบัติของมาตรวัดรหรณีหักเหต่อค่าความเข้มข้นของเอทานอล 51
รูปที่ 4.6	อุณหภูมิที่ขึ้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 1 54
รูปที่ 4.7	อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 1 54
รูปที่ 4.8	พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 1 54
รูปที่ 4.9	ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในการทดลองที่ 2 55
รูปที่ 4.10	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในการทดลองที่ 2 55
รูปที่ 4.11	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.12	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.13	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.14	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.15	ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.16	ฐานกฎของ K_i สำหรับวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 56
รูปที่ 4.17	อุณหภูมิที่ขึ้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 2 57
รูปที่ 4.18	อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 2 57
รูปที่ 4.19	พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 2 57
รูปที่ 4.20	ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 58
รูปที่ 4.21	ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 2 58
รูปที่ 4.22	ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 3 59
รูปที่ 4.23	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 3 59
รูปที่ 4.24	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60
รูปที่ 4.25	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60
รูปที่ 4.26	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60
รูปที่ 4.27	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.28	ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60
รูปที่ 4.29	ฐานกฎของ K_I สำหรับวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 60
รูปที่ 4.30	อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 3 61
รูปที่ 4.31	อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 3 61
รูปที่ 4.32	พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 3 61
รูปที่ 4.33	ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 62
รูปที่ 4.34	ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3 62
รูปที่ 4.35	อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 4 63
รูปที่ 4.36	อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 4 64
รูปที่ 4.37	พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 4 64
รูปที่ 4.38	ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 4 64
รูปที่ 4.39	ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 4 65
รูปที่ 4.40	ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 4 65
รูปที่ 4.41	ค่าพารามิเตอร์ K_I ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 4 65
รูปที่ ก.1	รูปแบบโครโมโซมโดยใช้การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง 75
รูปที่ ก.2	การสืบพันธุ์ 75
รูปที่ ก.3	การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบจุดเดียว 76
รูปที่ ก.4	การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบหลายจุด (ในรูปเป็นแบบ 3 จุด) 76
รูปที่ ก.5	การกลายพันธุ์ 77

บทที่ 1

บทนำ

การกลั่นนับเป็นกระบวนการแยกสารที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีอย่างหนึ่ง เนื่องจากหอกลั่นเป็นองค์ประกอบหลักในโรงงานเคมีและโรงกลั่นน้ำมัน อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินการในการกลั่นก็มีมูลค่าสูง ดังนั้นระบบควบคุมการกลั่นหรือการทำงานของหอกลั่นจึงจำเป็นต้องมีประสิทธิภาพและมีความเชื่อถือได้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการกลั่น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

การกลั่นคือการแยกของเหลวหรือไอผสมของสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดของสารแต่ละชนิดเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ตามที่กำหนดไว้ เพราะถ้าสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกมีความบริสุทธิ์ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ก็จะเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากสารผสมนั้นมีมูลค่าสูงด้วยแล้ว ยิ่งจำเป็นต้องแยกสารผสมออกจากกันให้ได้ความบริสุทธิ์ตามที่ต้องการ เพราะหากสารผลิตภัณฑ์ที่แยกออกมามีความบริสุทธิ์มากหรือน้อยเกินไปจะไม่เป็นผลดี เช่น ในกรณีที่ถ้าสารที่แยกออกมามีความบริสุทธิ์น้อยกว่าที่กำหนดจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ ในทางตรงกันข้ามถ้าความบริสุทธิ์มากกว่าที่กำหนดจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการกลั่น ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการควบคุมการทำงานของหอกลั่น โดยทั่วไปคือควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นให้มีความบริสุทธิ์ตามที่กำหนดไว้

ด้วยลักษณะสมบัติของหอกลั่นที่เป็นระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก (Multi-Input-Multi-Output: MIMO) มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีการกระทำ (Interaction) ระหว่างวงรอบการควบคุม การรบกวนอันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าของสารที่กลางหอและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ป้อนกลางหอมีผลต่อคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ ทำให้การควบคุมการทำงานของหอกลั่นมีความสลับซับซ้อน การควบคุมการทำงานของหอกลั่นนี้จึงนับเป็นปัญหาที่น่าสนใจและท้าทายมากอย่างหนึ่ง

ตัวควบคุมกระบวนการที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไปคือตัวควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivative) เนื่องจากมีโครงสร้างตัวควบคุมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ปฏิบัติการ ให้ผลการควบคุมที่ยอมรับได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในแง่ที่ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติการในการปรับจูนพารามิเตอร์ โดยเฉพาะในระบบ MIMO การปรับจูนพารามิเตอร์ทำได้ลำบาก

การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยอาศัยความชำนาญและการตัดสินใจแบบมีเหตุผลของผู้ปฏิบัติการเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรม ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีก็เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถผนวกความชำนาญและการใช้เหตุผลของผู้ปฏิบัติการเข้ากับระบบควบคุมได้ โดยอาศัยการอ้างเหตุผลแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีในการสร้างสัญญาณออกจากสัญญาณเข้าต่างๆ ด้วยมุ่งหวังที่จะให้กลไกการสร้างสัญญาณออกเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ อีกทั้งยังมีข้อดีตรงที่ไม่ต้องอาศัยแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ถูกต้องแม่นยำนัก แต่อย่างไรก็ตามการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมต่อกระบวนการหนึ่งๆไม่ใช่งานที่ง่ายเลย เนื่องจากไม่มีวิธีที่แน่นอนในการกำหนด จำเป็นต้องอาศัยเวลา ประสบการณ์ และทักษะของผู้ปฏิบัติการในการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ ซึ่งจะเป็นไปในลักษณะลองผิดลองถูก (Trial-and-Error) จนกระทั่งได้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ

เพื่อกำจัดปัญหาดังกล่าว ได้มีนักวิจัยหลายท่าน [22-34] คิดวิธีในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม ในบรรดาวิธีการค้นหาต่างๆ GAs [30-34] ถือเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อดีที่เหนือกว่าวิธีอื่นๆ อาทิเช่น ไม่ต้องใช้ข้อมูลเชิงอนุพันธ์ เป็นการค้นหาแบบหลายจุด ได้คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม (Global Optima) สามารถแก้ปัญหาที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) หลายฟังก์ชันได้ เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น การควบคุมการทำงานของหอกลับด้วยตัวควบคุม PI ที่ปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยใช้ GAs ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม จึงน่าสนใจและสมควรทำการศึกษาในรายละเอียดให้มากยิ่งขึ้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมกระบวนการโดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมสมัยใหม่ซึ่งใช้แบบจำลองสถานะเป็นที่นิยมในการออกแบบมากกว่าการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน เพราะสามารถแก้ปัญหาในระบบ MIMO ได้ อาทิเช่นหอกลับมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมต่างๆดังกล่าวในการควบคุมการทำงานของหอกลับ เช่น บริษัท Dow Chemical [1] ได้นำวิธีควบคุมแบบจำลองภายใน (Internal Model Control: IMC) ที่เพิ่มส่วนการป้อนไปข้างหน้าและส่วนลดการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุมไปประยุกต์ใช้กับหอกลับ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าการควบคุมด้วยวิธีนี้ให้ผลที่ดีกว่าตัวควบคุม PI แบบแยกศูนย์ดั้งเดิม

Machacek และ Kotyk [2] เสนอการควบคุมเพื่อลดการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุม จากนั้นจึงค่อยออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีวางตำแหน่งขั้วแบบปรับตัว ผลการควบคุมกับหอกลับจริงพบว่าเมื่อเพิ่มตัวชดเชยเข้าไปจะสามารถลดผลของการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุมได้

Zhou, Whiteley, Misawa และ Gasem [3] ได้ศึกษาเทคนิค Linear Quadratic Gaussian with Loop Transfer Recovery (LQG/LTR) และประยุกต์ใช้กับแบบจำลองหอกลับของ Wood/Berry [4] เนื่องจากการทำ LQG เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ระบบมีความคงทน (Robustness) ได้ การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยเพิ่มส่วนของ LTR เข้าไป ซึ่งผลการควบคุมได้ผลที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการปรับจูนตัวควบคุม PI

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีระบบควบคุมสมัยใหม่ยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากยังจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องแม่นยำ แต่สำหรับหอกลับซึ่งเป็นระบบที่สลับซับซ้อน มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และมีการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุม ทำให้หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แม่นยำได้ยาก [5, 6] อีกทั้งถ้าใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายเกินไปหรือไม่สอดคล้องกับสมมติฐานของเทคนิคการ

ควบคุมเหล่านั้น อาจทำให้แบบจำลองไม่สามารถแสดงลักษณะสมบัติของหอกลับันได้ทั้งหมดซึ่งเป็นผลให้การควบคุมไม่เป็นที่น่าพอใจ แต่ในทางกลับกันถ้าหากใช้แบบจำลองที่ยุ่งยากซับซ้อนก็จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีระบบควบคุมระดับสูงซึ่งจะทำให้เข้าใจยาก นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็ได้จากการประมาณเชิงเส้นซึ่งจะใช้ได้เฉพาะย่านการทำงานที่ประมาณเท่านั้น ถ้าหากต้องการให้ครอบคลุมย่านการทำงานกว้างๆ การออกแบบก็จะยิ่งซับซ้อนมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดใหม่ที่จะลดความยุ่งยากโดยตัดขั้นตอนในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออก แนวคิดใหม่นี้จะอาศัยฐานความรู้และข้อมูลของระบบซึ่งอาจได้จากการทดสอบและเก็บข้อมูลจากระบบหรือจากความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติการมาสร้างระบบควบคุม วิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับมากคือการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซี

ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีมีรากฐานมาจากการนำเสนอเซตฟัซซีของ Zadeh [7] ในปี ค.ศ. 1965 โดยตรรกศาสตร์ฟัซซีหมายถึงความคลุมเครือไม่แน่นอน ในช่วงแรกนั้นยังไม่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1974 Mamdani [8] ได้แสดงถึงความสามารถของตรรกศาสตร์ฟัซซีในการออกแบบตัวควบคุมเครื่องจักรไอน้ำในห้องปฏิบัติการ และได้รับการนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมครั้งแรกโดยบริษัท F. L. Smidth [9] จากนั้นเป็นต้นมาการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีจึงได้รับการยอมรับ ศึกษา และประยุกต์ใช้กับงานควบคุมอย่างแพร่หลาย รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีโดยเฉพาะการควบคุมกระบวนการกลั่น

Cartwright และ Thomson [10] ใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลับันเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ ผลการควบคุมแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองหอกลับันที่สามารถแทนหอกลับันจริงได้ดีพอสมควร ต่อมา Klett [11] นำตรรกศาสตร์ฟัซซีมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการกลั่นทางเคมีแบบไม่ต่อเนื่อง ผลการจำลองระบบสรุปได้ว่าการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีสามารถควบคุมความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ได้ และเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบปรับจูนด้วยมือพบว่าสามารถควบคุมความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ได้พอๆกัน แต่การควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีจะใช้เวลาในการแยกสาร โดยเฉลี่ยเป็นครึ่งหนึ่งของการควบคุมแบบปรับจูนด้วยมือ

Santhanam และ Langari [12] เสนอเทคนิคการปรับตัวของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีการกำกับดูแลโดยใช้กฎการปรับตัวในรูปของตัวแปรเชิงภาษา เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ของหอกลับันแยกสารผสมระหว่างเบนซีนกับโทลูอีน โดยตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีจะปรับแบบจำลองของส่วนป้อนไปข้างหน้าและแบบจำลองของส่วนลดผลการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุม เพื่อลดผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตสารกลางหอกลับัน ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถให้ผลการควบคุมที่ดีขึ้น

Yamazaki [13] นำ Fuzzy Model Tuning Predictive Controller (FMTPC) สำหรับระบบ MIMO มาประยุกต์ใช้กับหอกลับัน โดยใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลับัน ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองหอกลับันที่สามารถใช้แทนหอกลับันจริงได้ดีพอสมควร

Wang, Luo และ Shao [14] กล่าวถึง Soft Sensor ว่าเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณสัญญาณออกที่ไม่สามารถวัดได้ของกระบวนการทางอุตสาหกรรม การออกแบบ Soft Sensor ทำได้ยากเพราะแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับข้อมูล ซึ่งมีความไม่ต่อเนื่อง ชับซ้อน และมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ดังนั้นจึงเสนอโครงข่ายระบบประสาทฟังกซ์ชันฐานรัศมีที่กระจายด้วยฟัซซี (Fuzzy Distributed Radial Basis Function (RBF) Neural Network) ในการออกแบบ Soft Sensor สำหรับหอกลิ้น ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าวิธีการออกแบบนี้มีประสิทธิภาพที่ดี

Margaglio, Lamanna และ Glorennec [15] เสนอ Fuzzy Inference Systems (FISs) เพื่อควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยใช้วิธี Fuzzy Q-Learning (FQL) ในการปรับส่วนสรุป (Conclusion Parts) ของ FIS โครงสร้างของตัวควบคุมนี้เป็นแบบแยกศูนย์ ผลการควบคุมโดยการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมความบริสุทธิ์สารผลิตภัณฑ์ยอดห่อและฐานห่อได้ แต่อย่างไรก็ตามผลตอบไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะตัวควบคุมไม่สามารถจัดการกับการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุมได้

ในงานควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม ตัวควบคุม PID เป็นที่นิยมยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการเข้าใจ อีกทั้งยังให้ผลการควบคุมที่มีความคงทนในย่านการทำงานกว้าง แต่ในปัจจุบันมีความต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยหลายชิ้นที่พยายามศึกษาปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของตัวควบคุม PID โดยการพัฒนาวិธีการปรับจูนพารามิเตอร์

Luyben [16] เสนอการออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับระบบ MIMO เนื่องจากการปรับจูนพารามิเตอร์ PID ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ ยิ่งถ้าเป็นกรณีของระบบ MIMO จะทำการปรับจูนพารามิเตอร์ได้ลำบาก ดังนั้นจึงได้เสนอการออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับระบบ MIMO ซึ่งเรียกว่าวิธี Biggest Log Modulus Tuning (BLT) โครงสร้างของตัวควบคุมแบบนี้จะมีลักษณะแบบแยกศูนย์ กล่าวคือเป็นตัวควบคุม PID หลายวงรอบ ผลการจำลองระบบกับหอกลิ้นที่มีอันดับต่างๆกันไป 10 แบบพบว่าสามารถควบคุมได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

He, Wang และ Lee [17] เสนอวิธีการปรับจูนตัวควบคุม PI และ PID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการอันดับต่ำๆ ที่มีเวลาหน่วงด้วยการใช้เทคนิค Linear Quadratic Regulator (LQR) โดยนำเสนอหลักเกณฑ์ในการเลือกเมทริกซ์ Q และ R ที่ทำให้ได้ผลตอบที่มีความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio) ตามที่ต้องการ ผลการจำลองระบบที่มีพลวัตหลายๆ แบบ (รวมทั้งหอกลิ้น) ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการปรับจูน PID ด้วยวิธี Gain-Phase Margin (GPM) [18]

Zhao, Tomizuka และ Isaka [19] พัฒนาการกำหนดอัตราขยายโดยใช้ฟัซซี (Fuzzy Gain Scheduling) ซึ่งจะใช้สัญญาณคลาดเคลื่อนและอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสัญญาณคลาดเคลื่อน ผ่านกฎและการใช้เหตุผลแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีในการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ผลการควบคุมโดยการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบนี้สามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการปรับจูนพารามิเตอร์ PID ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols [20] และวิธีของ Kitamori [21]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีได้รับการยอมรับมากขึ้นในการควบคุมระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ไม่สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยง่าย แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซียังขาดวิธีการที่เป็นแบบแผนในการวิเคราะห์และออกแบบ กล่าวคือยังไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมต่อกระบวนการหนึ่งๆ ต้องอาศัยการปรับจูนแบบลองผิดลองถูกไปเรื่อยๆ ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาวิธีใหม่ๆ ในการกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม อาทิเช่น โครงข่ายระบบประสาท [22,23] Fuzzy Clustering [24] Rough Set [25] วิธี Gradient [26] Simulated Annealing (SA) [27-30] และ GAs [30-34] ซึ่งในบรรดาวิธีการต่างๆ เหล่านี้ GAs ได้รับความสนใจมาก เพราะมีข้อดีเหนือกว่าวิธีอื่นๆ เช่น ไม่ต้องใช้ข้อมูลเชิงอนุพันธ์ เป็นการค้นหาแบบหลายจุด ได้คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม สามารถแก้ปัญหาที่มีหลายฟังก์ชันจุดประสงค์ได้ เป็นต้น

Holland [35] ได้นำเสนอ GAs เป็นครั้งแรก โดยมีหลักการค้นหาที่เลียนแบบวิวัฒนาการทางธรรมชาติ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่นำ GAs ไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซี เช่น Wang และ Kwok [31] ใช้ GAs เป็นกลไกในการหากฎการควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวควบคุม PID ที่ปรับจูนด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี ผลการจำลองระบบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการปรับจูน PID แบบปกติ

Lee และ Takagi [32] นำเสนอการออกแบบระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก จำนวนกฎ และพารามิเตอร์ของกฎ โดยตัวอย่างระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้เป็นแบบจำลอง Takagi-Sugeno-Kang (TSK) [36] ซึ่งมีลักษณะคือในส่วนเงื่อนไขของกฎจะใช้เป็นตัวแปรภาษา แต่ในส่วนผลจากส่วนเงื่อนไขจะเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของตัวแปรขาเข้า ผลการจำลองระบบกับเพนดูลัมผกผันพบว่าให้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ

Eksin และ Erol [33] เสนอการหาตารางการตัดสินใจ (Decision Table) ของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ GAs ในการหาฐานกฎ ผลการจำลองระบบกับระบบอันดับหนึ่ง อันดับสอง และระบบไม่เชิงเส้น พบว่าให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุม PID ปกติ

Tang, Man, Liu และ Kwong [34] นำเสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical Genetic Algorithms: HGA) ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี วิธีนี้จะแบ่งยีน (Genes) ของโครโมโซมออกเป็น 2 กลุ่มในลักษณะเป็นลำดับชั้น กล่าวคือยีนกลุ่มหนึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมยีนของอีกกลุ่มหนึ่ง ผลการจำลองระบบกับระบบสูบน้ำที่มีความดันคงที่พบว่าให้สมรรถนะการควบคุมที่ดี

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจะเห็นว่าตัวควบคุม PI เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมควบคุมกระบวนการ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ให้ผลการควบคุมที่มีเสถียรภาพ และมีความคงทนในย่านการทำงานกว้างๆ สำหรับตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมก็เป็นที่ยอมรับในการควบคุมระบบ ผลการประยุกต์ใช้งานดังที่ยกมานี้แสดงให้เห็นว่าการควบคุม

แบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎที่เหมาะสมสามารถใช้งานได้จริงและมีข้อดี เช่น มีวิธีการออกแบบที่ง่ายและเป็นแบบแผน ไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำความเข้าใจและแก้ไขได้ง่าย

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวควบคุม PI ที่กำกับดูแลด้วยระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยใช้ GAs ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม เพื่อควบคุมการทำงานของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยจะออกแบบให้ตัวควบคุมสามารถควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ขุดห่อ ให้มีความบริสุทธิ์เป็นไปตามที่กำหนด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าของสารที่กลางห่อ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบควบคุมกระบวนการกลั่นที่ใช้ตัวควบคุม PI แบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยใช้ GAs ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาวิธีการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือใช้ GAs ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีเพื่อใช้ในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งจะได้นำไปใช้ในการควบคุมหอกลิ้นต่อไป
2. ออกแบบระบบควบคุมหอกลิ้น โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้
 - 2.1 ออกแบบตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดที่วงรอบขุดห่อและใช้ตัวควบคุม PI ในการควบคุมวงรอบฐานห่อ
 - 2.2 ออกแบบตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดที่วงรอบฐานห่อและใช้ตัวควบคุม PI ในการควบคุมวงรอบขุดห่อ
 - 2.3 นำตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการออกแบบตามข้อ 2.1 และ 2.2 มาควบคุมทั้งวงรอบขุดห่อและวงรอบฐานห่อตามลำดับ

จากนั้นนำมาทดสอบด้วยการจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลิ้น โดยจะศึกษาการลดผลการรบกวน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการรบกวนคือการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าของสารที่กลางห่อ
3. ออกแบบระบบควบคุมโดยแบ่งเป็น 3 กรณีเช่นเดียวกับข้อ 2 เพื่อนำไปใช้ควบคุมหอกลิ้นจริงในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม โดยจะศึกษาการลดผลการรบกวนเช่นเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้ ความเข้าใจในการทำงานของกระบวนการกลั่น และทราบถึงลักษณะสมบัติของหอกลิ้น
2. ได้ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของหอกลิ้นในห้องปฏิบัติการวิจัย*
3. ได้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของ GAs ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

1.5 วิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของหอกลิ้น รวมไปถึงโครงสร้างการควบคุมของหอกลิ้น
2. ศึกษาตัวควบคุม PI ที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับหอกลิ้น
3. ศึกษาระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี เพื่อนำมาใช้กำกับดูแล (ปรับจูนพารามิเตอร์) ตัวควบคุม PI
4. ศึกษาและพัฒนา GAs เพื่อใช้ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ
5. ออกแบบระบบควบคุม แล้วศึกษาผลการควบคุมด้วยการจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลิ้น
6. ออกแบบระบบควบคุมเพื่อนำมาใช้ควบคุมหอกลิ้นจริงในห้องปฏิบัติการวิจัย
7. สรุปผลและวิเคราะห์ เพื่อหาข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

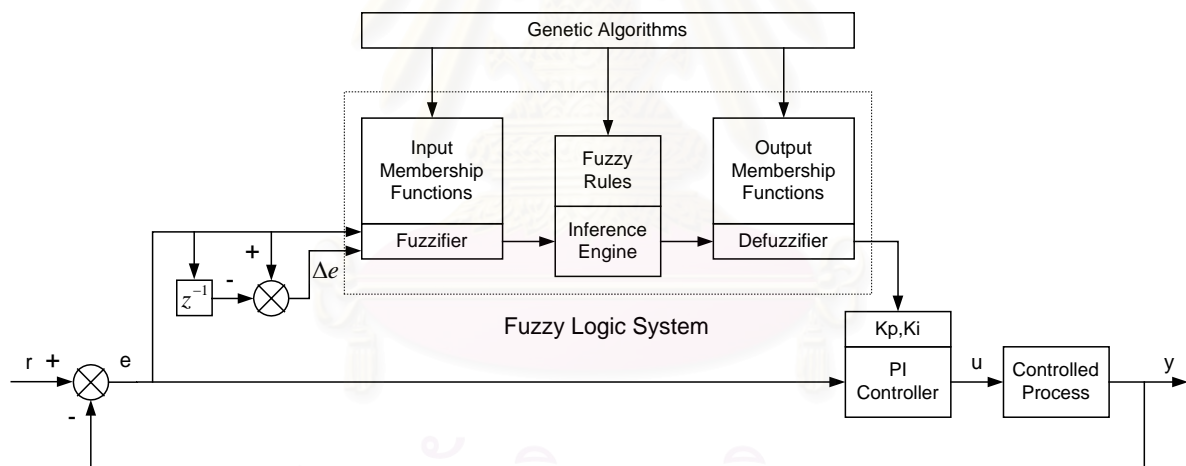
* ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด

การออกแบบระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นไปในลักษณะลองผิดลองถูก กล่าวคือการกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติการ เมื่อได้ระบบควบคุมก็นำมาทดสอบกับกระบวนการ ซึ่งถ้าผลการควบคุมยังไม่เป็นที่น่าพอใจก็จะทำการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎใหม่จนกระทั่งได้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ จะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซียังไม่มีแบบแผนที่ชัดเจนทำให้เสียเวลาในการออกแบบมาก อีกทั้งอาจจะยังไม่ได้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดด้วย

การหาวิธีในการกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎอย่างเป็นระบบเป็นแนวทางที่สามารถแก้ปัญหาได้ GAs ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากเนื่องจากมีข้อดี เช่น ไม่ต้องใช้ข้อมูลเชิงอนุพันธ์ เป็นการค้นหาแบบหลายจุด ได้คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม สามารถแก้ปัญหาที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์หลายฟังก์ชันได้ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด

ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด โดยจะใช้ตัวควบคุม PI เป็นตัวควบคุมหลักทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการโดยตรง และใช้ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นตัวกำกับดูแลการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ตามกฎการควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ [37] โดยที่นำ GAs มาใช้ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด โดยมีโครงสร้างระบบควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบควบคุมนี้จะใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณเข้า ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณออก และฐาน

กฎที่เหมาะสมสำหรับระบบตรรกศาสตร์พีชซี จะเห็นว่าระบบควบคุมนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบควบคุมแบบปรับตัวเนื่องจากการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI แบบ On-Line แต่มีข้อดีกว่าตรงที่ไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

2.1 ตัวควบคุม PI

ตัวควบคุม PI ในรูปมาตรฐานสามารถเขียนได้ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.1)$$

หรือ

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right] \quad (2.2)$$

โดยที่ K_p, K_i คืออัตราขยายสัดส่วนและอินทิกรัลตามลำดับ

$T_i = K_p / K_i$ คือค่าคงที่เวลาของอินทิกรัล

$e(t) = r(t) - y(t)$ คือสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน

$r(t)$ คือค่ากำหนด

$y(t)$ คือสัญญาณของระบบ

แปลงสมการ (2.2) ให้อยู่ในรูปเวลาเต็มหน่วยที่มีคาบเวลาการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ h ได้ดังนี้

เทอมสัดส่วน:

$$P(kh) = K_p (r(kh) - y(kh)) \quad (2.3)$$

เทอมอินทิกรัล:

$$I(kh + h) = I(kh) + \frac{K_p h}{T_i} e(kh) \quad (2.4)$$

ได้

$$u(kh) = P(kh) + I(kh) \quad (2.5)$$

โดยที่เทอมอินทิกรัลได้จากการประมาณแบบไปข้างหน้า (Forward Approximation) [38]

2.2 ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีสำหรับปรับจูนอัตราขยายของตัวควบคุม PI

ระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีจะใช้ฐานกฎในรูปของกฎ IF-THEN ในการอธิบายว่าจะต้องปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PI อย่างไร ในการออกแบบจะต้องกำหนดช่วงค่าอัตราขยายที่เป็นไปได้เป็น $K_p \in [K_{p,\min}, K_{p,\max}] \subset \mathcal{R}$ และ $K_I \in [K_{I,\min}, K_{I,\max}] \subset \mathcal{R}$ โดยที่ค่า K_{\min} และ K_{\max} สามารถหาได้จากการทดลอง และเพื่อความสะดวกจึงปรับสเกลของอัตราขยายให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$K'_p = \frac{K_p - K_{p,\min}}{K_{p,\max} - K_{p,\min}} \quad (2.6)$$

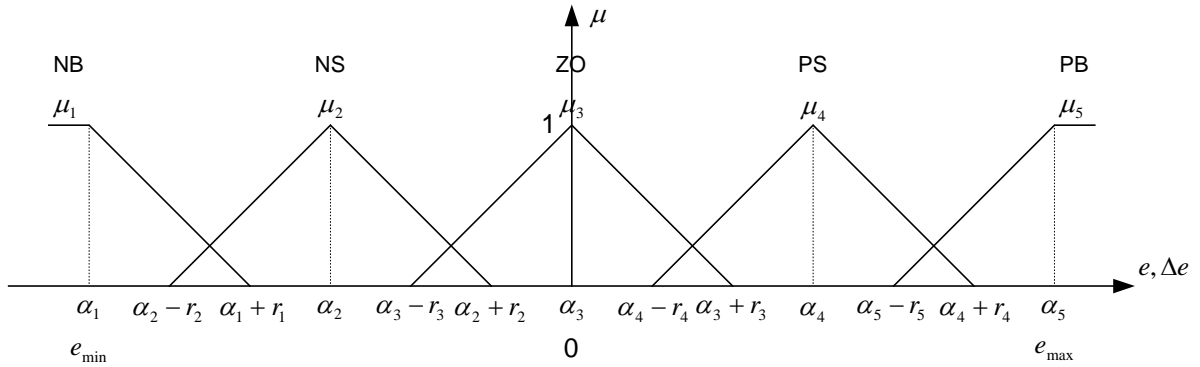
$$K'_I = \frac{K_I - K_{I,\min}}{K_{I,\max} - K_{I,\min}} \quad (2.7)$$

ให้ข้อมูลเข้าของระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีคือสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(kh)$ และสัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่งของค่าความคลาดเคลื่อน $\Delta e(kh)$ ซึ่งกำหนดช่วงค่า $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ เป็น $e(kh) \in [e_{\min}, e_{\max}]$ และ $\Delta e(kh) \in [\Delta e_{\min}, \Delta e_{\max}]$ ตามลำดับ ซึ่งช่วงค่าเหล่านี้หาได้จากการทดลองเช่นเดียวกัน

กฎฟัซซีในรูปกฎ IF-THEN จะอยู่ในรูปแบบ

$$\text{IF } e(kh) \text{ is } A_i \text{ and } \Delta e(kh) \text{ is } B_i, \text{ THEN } K'_p \text{ is } C_j, K'_I \text{ is } D_j \quad (2.8)$$

โดยที่ A_i, B_i, C_j, D_j คือฟัซซีเซต, $i = 1, 2, \dots, 5$, $j = 1, 2$ ซึ่งนิยามตัวแปรเชิงภาษาสำหรับ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ ไว้ 5 ตัว ได้แก่ ค่าลบมาก (NB) ค่าลบน้อย (NS) ค่าศูนย์ (ZO) ค่าบวกน้อย (PS) และค่าบวกมาก (PB) ดังนั้นจะมีจำนวนกฎในฐานกฎทั้งสิ้น 25 กฎซึ่งหาได้จากการใช้ GAs (ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาทั้ง 5 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และมีนิยามดังนี้



รูปที่ 2.2 ตัวแปรเชิงภาษาของ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$

$$\mu_1(e) = \begin{cases} 1 & , e \leq \alpha_1 \\ \frac{\alpha_1 + r_1 - e}{r_1} & , \alpha_1 < e < \alpha_1 + r_1 \\ 0 & , e \geq \alpha_1 + r_1 \end{cases}$$

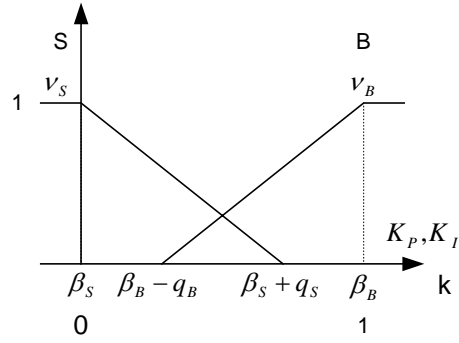
$$\mu_i(e) = \begin{cases} \frac{e - \alpha_i + r_i}{r_i} & , \alpha_i - r_i < e < \alpha_i \\ \frac{\alpha_i + r_i - e}{r_i} & , \alpha_i < e < \alpha_i + r_i \\ 0 & , e \leq \alpha_i - r_i \text{ or } e \geq \alpha_i + r_i \end{cases} , i = 2, 3, 4 \quad (2.9)$$

$$\mu_5(e) = \begin{cases} 0 & , e \leq \alpha_5 - r_5 \\ \frac{e - \alpha_5 + r_5}{r_5} & , \alpha_5 - r_5 < e < \alpha_5 \\ 1 & , e \geq \alpha_5 \end{cases}$$

โดยที่ $\alpha_i = e_{\min} + \left(\frac{e_{\max} - e_{\min}}{4} \right) \cdot (i-1) , i = 1, 2, \dots, 5 \quad (2.10)$

และ $r_i , i = 1, 2, \dots, 5$ หาได้จากการใช้ GAS

และนิยามตัวแปรเชิงภาษาสำหรับ K_p' และ K_I' ไว้ 2 ตัว คือ เล็ก (S) และใหญ่ (B) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาทั้งสองแสดงในรูปที่ 2.3 และนิยามดังนี้



รูปที่ 2.3 ตัวแปรเชิงภาษาของ K'_p และ K'_I

$$v_S(k) = \begin{cases} 1 & , k \leq \beta_S \\ \frac{\beta_S + q_S - k}{q_S} & , \beta_S < k < \beta_S + q_S \\ 0 & , k \geq \beta_S + q_S \end{cases}$$

$$v_B(k) = \begin{cases} 0 & , k \leq \beta_B - q_B \\ \frac{k - \beta_B + q_B}{q_B} & , \beta_B - q_B < k < \beta_B \\ 1 & , e \geq \beta_B \end{cases} \quad (2.11)$$

โดยที่ β_S, β_B เท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ

q_S, q_B หาได้จากการใช้ GAs เช่นเดียวกัน

โดยใช้ Product Inference Engine ใช้การแปลงฟัซซีแบบ Triangular-Type Fuzzifier และการแปลงกลับฟัซซีแบบ Center Average Defuzzifier พารามิเตอร์ K'_p และ K'_I จะถูกปรับค่าตามสมการ

$$K'_p = \frac{\sum_{l=1}^{25} \bar{y}_p^l \mu_{A_l}(e(kh)) \mu_{B_l}(\Delta e(kh))}{\sum_{l=1}^{25} \mu_{A_l}(e(kh)) \mu_{B_l}(\Delta e(kh))} \quad (2.12)$$

$$K'_I = \frac{\sum_{l=1}^{25} \bar{y}_I^l \mu_{A_l}(e(kh)) \mu_{B_l}(\Delta e(kh))}{\sum_{l=1}^{25} \mu_{A_l}(e(kh)) \mu_{B_l}(\Delta e(kh))} \quad (2.13)$$

โดยที่ \bar{y}_p^l และ \bar{y}_I^l เป็นค่าตามแกนแนวนอนตรงกลางของกราฟฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่สอดคล้องกับค่า μ_{C_j} และ μ_{D_j} ของกฎที่ l

หลังจากคำนวณหาค่า K'_p และ K'_I ได้แล้ว ก็จะคำนวณหาค่าอัตราขยายทั้งสองของตัวควบคุม PI โดยการแปลงกลับสมการ (2.6) และ (2.7) ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$K_p = (K_{p,\max} - K_{p,\min})K'_p + K_{p,\min} \quad (2.14)$$

$$K_I = (K_{I,\max} - K_{I,\min})K'_I + K_{I,\min} \quad (2.15)$$

2.3 การหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับระบบควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีโดยใช้ GAs [39]

2.3.1 โครโมโซมของ GAs

กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับซึ่งได้กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้วดังนี้

- r_{ei} , $i = 1, 2, \dots, 5$ ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน
- $r_{\Delta ei}$, $i = 1, 2, \dots, 5$ ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่งของค่าความคลาดเคลื่อน
- $q_{K_p S}, q_{K_p B}$ ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของพารามิเตอร์ K_p
- $q_{K_I S}, q_{K_I B}$ ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของพารามิเตอร์ K_I
- $l_{K_p i}$, $i = 1, 2, \dots, 25$ ของฐานกฎสำหรับ K_p
- $l_{K_I i}$, $i = 1, 2, \dots, 25$ ของฐานกฎสำหรับ K_I

จากนั้นทำการเข้ารหัส ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง (Binary) [35] เนื่องจากมีความง่าย ในการเลือกความยาว (จำนวนบิต หรือยีน) ของพารามิเตอร์ที่เข้ารหัสแต่ละตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ แต่สำหรับพารามิเตอร์ในส่วนของฐานกฎ กำหนดให้พารามิเตอร์ที่เข้ารหัสแต่ละตัวมีความยาว 1 บิต เนื่องจากพารามิเตอร์แต่ละตัวจะหมายถึง เล็ก (S) หรือใหญ่ (B) เท่านั้น ซึ่งสามารถแทนด้วย 0 หรือ 1 ตามลำดับ

หลังจากทำการเข้ารหัสพารามิเตอร์แต่ละตัวแล้ว ให้นำมาเรียงกันเป็นชุดอักขระ (String) เรียกว่า โครโมโซม ดังรูปที่ 2.4 การเลือกจำนวน โครโมโซมขึ้นอยู่กับความเร็วที่ต้องการในการลู่เข้าสู่ผลเฉลย

Membership Functions											Rules				
e		Δe					K_p		K_I		K_p		K_I		
r_{e1}	...	r_{e5}	$r_{\Delta e1}$	...	$r_{\Delta e5}$	$q_{K_p S}$	$q_{K_p B}$	$q_{K_I S}$	$q_{K_I B}$	$l_{K_p 1}$	...	$l_{K_p 25}$	$l_{K_I 1}$	...	$l_{K_I 25}$

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโครโมโซม

2.3.2 ฟังก์ชัน Fitness

ค่า Fitness เป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการดำรงเผ่าพันธุ์ของโครโมโซมแต่ละตัว โครโมโซมที่มีค่า Fitness มากหมายความว่าโครโมโซมตัวนั้นมีแนวโน้มที่จะอยู่รอดสูงและให้กำเนิดโครโมโซมรุ่นถัดไป ในการหาค่า Fitness หาได้จากฟังก์ชัน Fitness ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่งกับฟังก์ชันจุดประสงค์ (J) ขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา โดยทั่วไปมักจะเป็นความสัมพันธ์ในเชิงผกผันเนื่องจากส่วนใหญ่เราต้องการหาค่าต่ำที่สุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ แต่ GAs จะใช้หาค่าสูงที่สุดของฟังก์ชัน Fitness

ในการประเมินคุณภาพของระบบควบคุมอาจเลือกหลักเกณฑ์ได้หลายอย่าง แต่ที่นิยมใช้กันมากสำหรับประเมินคุณภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นคือ อินทิกรัลของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$J = \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (2.16)$$

โดยที่ e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ในการหาค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวจะต้องทำการถอดรหัสออกมาเป็นฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎเสียก่อน แล้วนำไปใส่ในระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี ทำการจำลองระบบเพื่อหาค่าจุดประสงค์ (Objective Value) จากนั้นจึงค่อยแปลงกลับเป็นค่า Fitness

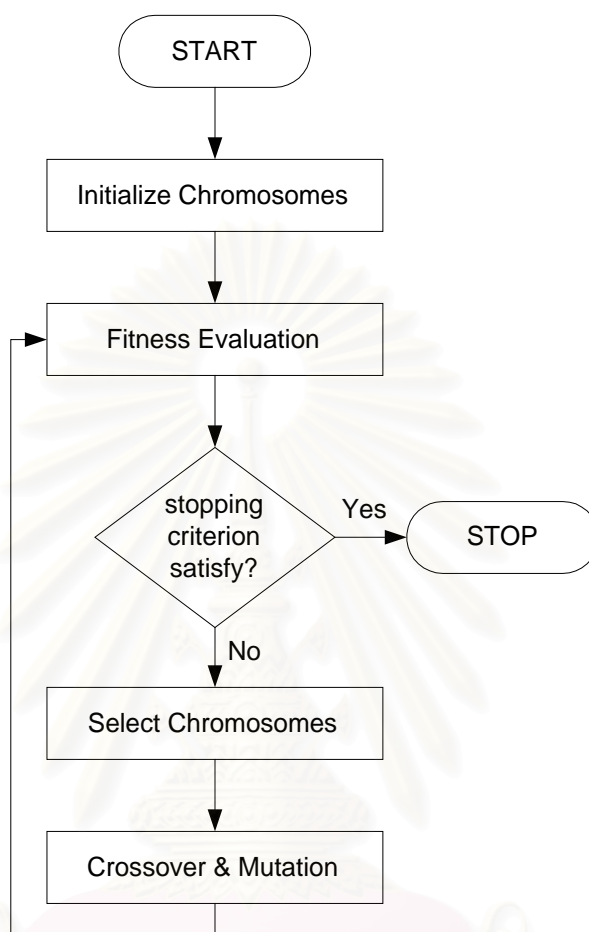
2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรม

เมื่อทราบค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวแล้วก็ใช้การดำเนินการทางพันธุกรรมได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งการดำเนินการทางพันธุกรรมนี้จะทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่า Fitness มากเพื่อให้กำเนิดโครโมโซมรุ่นถัดไปโดยคาดหวังว่าจะได้โครโมโซมที่มีค่า Fitness มากขึ้น

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้กลไกการคัดเลือกโครโมโซมแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) [39-41] เนื่องจากเข้าใจได้ง่าย อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่า Fitness สูงได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการคัดเลือกนี้ยังมีข้อด้อยตรงที่ช่วงของการคัดเลือกค่อนข้างจะกว้าง กล่าวคือมีโครโมโซมที่มีค่า Fitness สูงอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งอาจทำให้ไม่ได้เลือกโครโมโซมที่มีค่า Fitness สูงสุดจริงๆ นอกจากนี้เราจะเลือกใช้วิธีการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบจุดเดียวเนื่องจากมีความง่าย

เมื่อผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมทั้งสาม นั่นคือได้กำเนิดโครโมโซมรุ่นต่อไปแล้วก็จะหาค่า Fitness ของโครโมโซมแล้วนำมาผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมทั้งสามนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสอดคล้อง

กับเงื่อนไขบางอย่างที่กำหนด เช่น สร้างจำนวนรุ่น (Generation) ได้ครบตามจำนวนที่ได้กำหนดหรือส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยของประชากรไม่เกินขอบเขตที่กำหนด เป็นต้น รูปที่ 2.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของ GAs



รูปที่ 2.5 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ GAs

2.4 สรุป

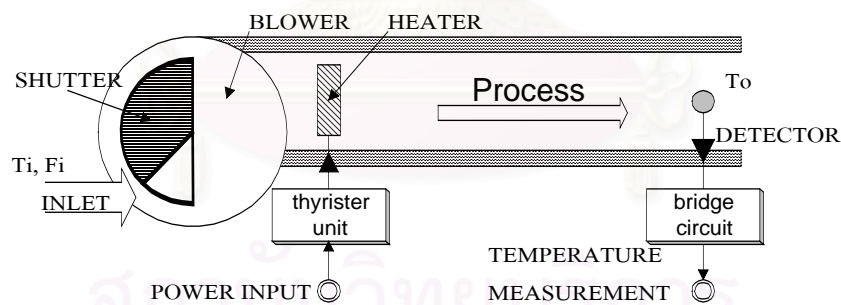
ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด โดยตัวควบคุมหลักเป็นตัวควบคุม PI ที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี และใช้ GAs ในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ระบบควบคุมนี้ยังรับประกันเสถียรภาพของระบบด้วยการจำกัดค่า K_{max} ดังนั้นระบบควบคุมแบบนี้จึงน่าจะเหมาะสมกับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นและค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เราจะนำระบบควบคุมนี้ไปควบคุมระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดโดยการจำลองระบบในบทที่ 3 และนำไปควบคุมในเวลาจริงกับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 3

ตัวอย่างการจำลองระบบ

เมื่อได้ศึกษาพื้นฐานความรู้ในทฤษฎีระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีดังที่ได้กล่าวถึงในบทที่แล้ว ก็จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีโดยการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในบทนี้จะพิจารณาผลของการเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับ GAs ว่ามีผลอย่างไรต่อการควบคุมระบบ และพิจารณาการควบคุมระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนด (Set Point) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ และเมื่อเกิดการรบกวนขึ้นภายในระบบ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 ระบบด้วยกันคือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยจะศึกษาผลของการเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับ GAs ว่ามีผลอย่างไรต่อการควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และศึกษาการควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ สุดท้ายจะศึกษาการควบคุมความเข้มข้นที่ขอดหอของหอกลิ้นเมื่อมีการรบกวนระบบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอ

3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ดังรูปที่ 3.1) เป็นระบบทำความร้อน ประกอบด้วยพัดลม (Blower) ที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่เพื่อทำหน้าที่ดูดอากาศให้เข้าไปหมุนเวียนภายในท่ออากาศ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าโดยการปรับ Shutter อากาศที่ผ่านเข้าไปในท่อจะไหลผ่านเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าซึ่งมี Thyristor เป็นตัวขับเร็วและสร้างกำลังงานให้แก่เครื่องทำความร้อนตามสัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากตัวควบคุม จากนั้นอากาศจะไหลต่อไปยังอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermistor) ที่อยู่ปลายท่อ อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จะเปลี่ยนเป็นแรงดันโดย Wheatstone Bridge และนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมต่อไป

เนื่องจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิคืออยู่ที่ปลายท่อทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Transportation Lag หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Deadtime หรือ Distance/Velocity Lag นั่นคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้า จะยังไม่มีเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ปลายด้านออกของท่อจนกระทั่ง τ วินาทีต่อมา โดยที่ τ คือเวลาที่อากาศไหลผ่านท่อ ปรากฏการณ์เช่นนี้จะส่งผลให้การควบคุมทำได้ยากขึ้น อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศยังส่งผลต่อพลวัตของระบบอีกด้วย นอกจากนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็มีคุณลักษณะที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นในสถานะอยู่ตัว ดังนั้นระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพควรจะสามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกได้ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดอุณหภูมิหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งการใช้ตัวควบคุม PI ก็สามารถทำการควบคุมได้ดี แต่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยมือบ่อยๆ ดังนั้นการใช้ตัวควบคุม PI ที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ด้วยระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

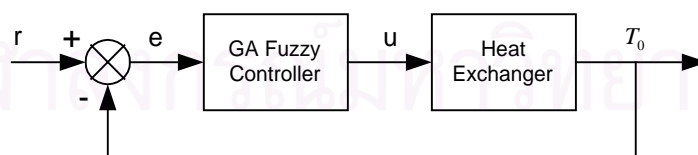
3.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transportation Lag ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน [31]

$$G(s) = \frac{10e^{-0.13s}}{0.33s + 1} \quad (3.1)$$

โดยที่สัญญาณเข้าเป็นแรงดัน (โวลต์) และสัญญาณออกเป็นอุณหภูมิที่ปลายด้านออก (องศาเซลเซียส)

3.1.2 โครงสร้างของระบบควบคุม



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.2 วัตถุประสงค์ของการควบคุมคือ ออกแบบระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกให้เปลี่ยน

แปลงตามค่ากำหนด ดังนั้นเลือกใช้อินทิกรัลของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเป็นฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ต้องทำให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ให้จำกัดค่าสัญญาณควบคุมไว้ในพิสัยที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพเสมอ

3.1.3 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการจำลองระบบ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ในการจำลองระบบ ดังนี้

- $e(kh) \in [-50,50]$ และ $\Delta e(kh) \in [-5000,5000]$
- $K_p \in [0.06,0.15]$ และ $K_I \in [0.24,0.38]$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ใน GAs ดังนี้

- ความยาวของโครโมโซม

ในการกำหนดความยาวของพารามิเตอร์แต่ละตัวอาจกำหนดได้จากความต้องการความละเอียดของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยดูจากช่วงของพารามิเตอร์ เช่น พารามิเตอร์ A อยู่ในช่วง $[A_{\min}, A_{\max}]$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ n จะต้องใช้ความยาวทั้งหมด m บิต ดังเงื่อนไข

$$2^{m-1} < (A_{\max} - A_{\min}) \cdot 10^n < 2^m \quad (3.2)$$

1. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณเข้า

- $r_{ei} \in [12.5,50]$, $i = 1,2,\dots,5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นใช้ความยาว 19 บิต/พารามิเตอร์
- $r_{\Delta ei} \in [1250,5000]$, $i = 1,2,\dots,5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นใช้ความยาว 19 บิต/พารามิเตอร์

2. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณออก

- $q_{K_p S}, q_{K_p B}, q_{K_I S}, q_{K_I B} \in [0.5,1]$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นใช้ความยาว 13 บิต/พารามิเตอร์

3. พารามิเตอร์ในส่วนฐานกฎ

- $l_{K_p i}, l_{K_I i}$, $i = 1,2,\dots,25$ ใช้ความยาว 1 บิต/พารามิเตอร์

ดังนั้นความยาวของโครโมโซม 1 ตัว = $19 \cdot 5 + 19 \cdot 5 + 13 \cdot 4 + 25 + 25 = 292$ บิต

- ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน (p_c) และการกลายพันธุ์ (p_m)

ใน [42,43] ได้แนะนำการเลือก p_c และ p_m ดังนี้

สำหรับประชากรขนาดใหญ่ (ประมาณ 100 ตัว) $p_c = 0.6$, $p_m = 0.001$

สำหรับประชากรขนาดเล็ก (ประมาณ 30 ตัว) $p_c = 0.9$, $p_m = 0.01$

ในวิธานิพนธ์นี้จะใช้ประชากรไม่เกิน 30 ตัว ดังนั้นจะเลือกใช้ $p_c = 0.9$, $p_m = 0.01$ และในวิธานิพนธ์นี้เลือกใช้ฟังก์ชัน Fitness (F) สำหรับระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังสมการ

$$F = \left(\frac{10^5}{J} \right)^{15} \quad (3.3)$$

โดยที่ J คือ ฟังก์ชันจุดประสงค์ตามสมการ (2.16)

เหตุที่เลือกใช้ฟังก์ชัน Fitness ตามสมการ (3.3) เพราะฟังก์ชันนี้มีลักษณะเป็น Exponential ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความไวต่อการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่า Fitness สูงๆ ได้ดี [31]

ทำการศึกษาเปรียบเทียบใน 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อใช้จำนวนคำตอบหรือประชากร (Population: Pop) ในแต่ละรุ่นต่างกัน

กรณีที่ 2 เมื่อกำหนดจำนวนรุ่น (Generation: Gen) เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหาต่างกัน

กรณีที่ 3 เมื่อมีการประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการประกัน

ในการศึกษานี้กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดอุณหภูมิขาออกที่เวลา 6 วินาที จาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส และที่เวลา 12 วินาที ลดลงสู่ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

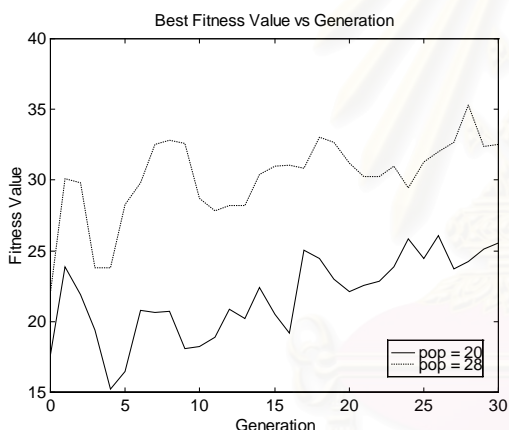
กรณีศึกษาที่ 1

เมื่อใช้จำนวนคำตอบหรือประชากรในแต่ละรุ่นต่างกัน ในที่นี้จะเปรียบเทียบกันเมื่อใช้ Pop = 20 และ Pop = 28 ผลการทำงานของ GAs โดยกำหนดให้ Gen = 30 ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.4

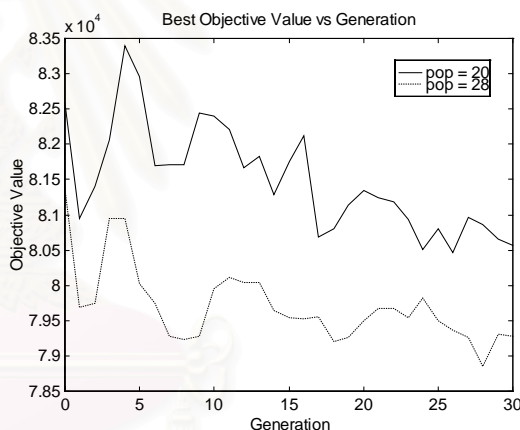
จากรูปที่ 3.3 พบว่าในกรณี Pop = 28 ได้ค่า Fitness ที่สูงกว่ากรณี Pop = 20 นั้นหมายถึงมีค่าจุดประสงค์ที่ดีกว่า (ดังรูปที่ 3.4) ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้จำนวนประชากรที่มากกว่าทำให้มีโอกาสมากกว่าที่จะพบคำตอบที่ดีกว่าซึ่งจะทำให้คำตอบเข้าสู่ผลเฉลยได้เร็วกว่า

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าในกรณี Pop = 20 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 26 ดังนั้นเราจะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบ และในกรณี Pop = 28 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 28 เราก็จะเลือกค่านี้เพื่อใช้ในการจำลองระบบแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 3.5-3.18

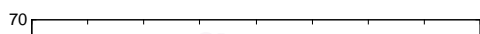
จากผลการจำลองระบบ (ดังรูปที่ 3.5) จะเห็นว่าผลตอบของอุณหภูมิทั้ง 2 กรณีไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก โดยกรณี Pop = 28 จะให้ผลตอบที่ดีกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 3.3 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



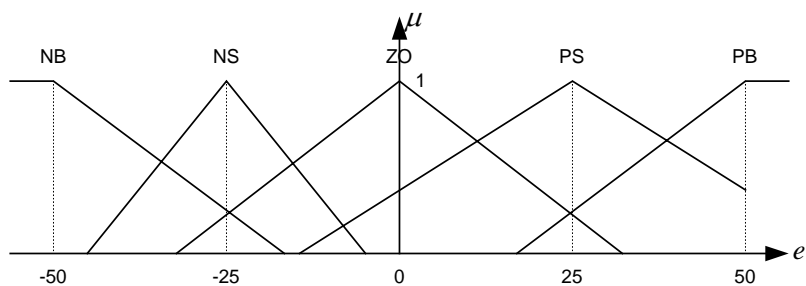
รูปที่ 3.4 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



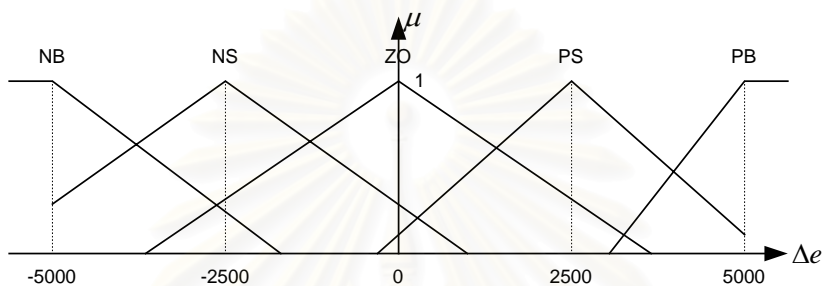
รูปที่ 3.5 ผลตอบของอุณหภูมิในกรณีที่ 1



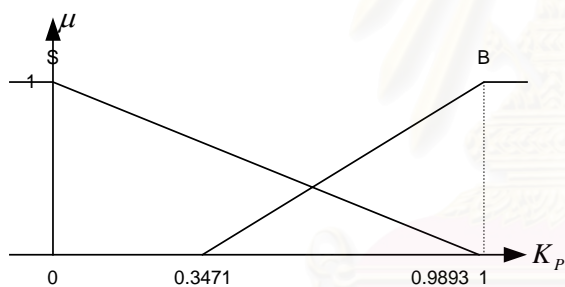
รูปที่ 3.6 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ ในกรณี Pop = 20

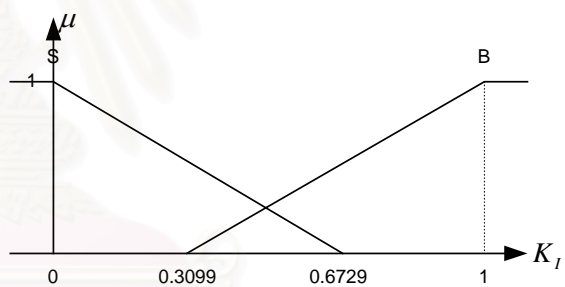


รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ ในกรณี Pop = 20



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p

ในกรณี Pop = 20



รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I

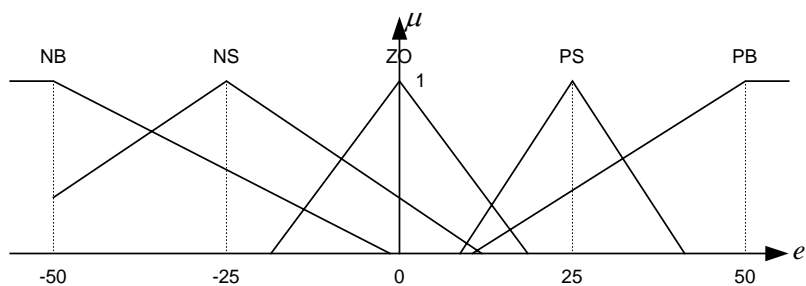
ในกรณี Pop = 20

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	B	S	B
	NS	B	S	S	S	S
	ZO	B	S	B	B	S
	PS	S	S	B	S	S
	PB	S	S	B	S	B

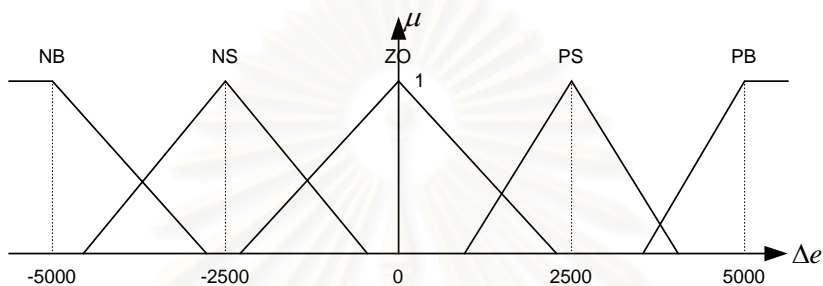
รูปที่ 3.11 ฐานกฎสำหรับ K_p ในกรณี Pop = 20

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	B	B	B	S
	NS	B	S	S	B	B
	ZO	S	B	B	S	B
	PS	S	B	B	B	B
	PB	S	S	B	S	B

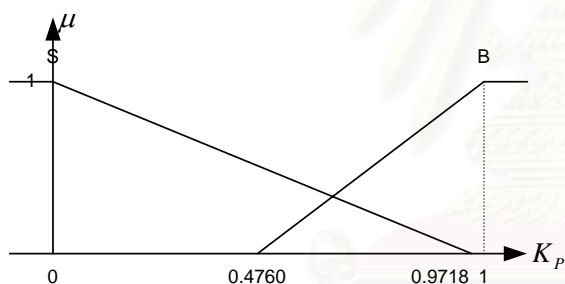
รูปที่ 3.12 ฐานกฎสำหรับ K_I ในกรณี Pop = 20



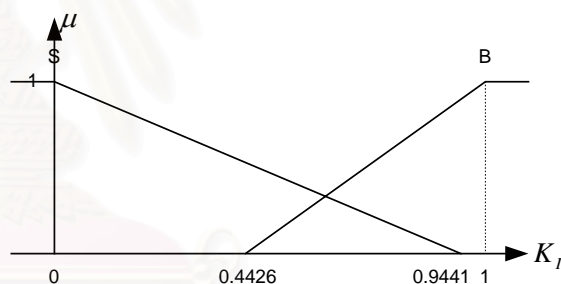
รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ ในกรณี Pop = 28



รูปที่ 3.14 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ ในกรณี Pop = 28



รูปที่ 3.15 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p ในกรณี Pop = 28



รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I ในกรณี Pop = 28

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	S	B	S	S
	NS	B	B	B	S	S
	ZO	B	B	S	S	S
	PS	S	B	B	B	B
	PB	B	S	B	S	B

รูปที่ 3.17 ฐานกฎสำหรับ K_p ในกรณี Pop = 28

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	B	B	B	S
	NS	B	S	B	S	S
	ZO	S	B	B	B	S
	PS	B	B	S	S	B
	PB	B	S	B	S	S

รูปที่ 3.18 ฐานกฎสำหรับ K_I ในกรณี Pop = 28

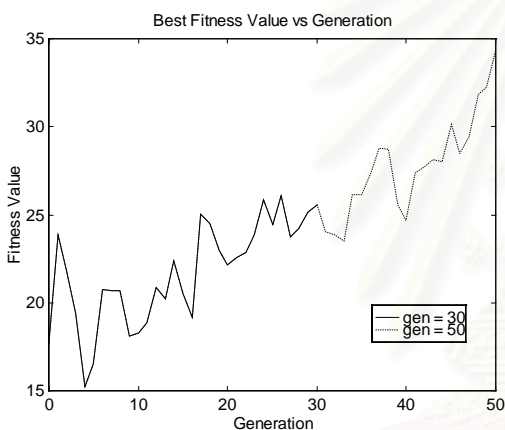
กรณีศึกษาที่ 2

เมื่อกำหนดจำนวนรุ่นเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหาต่างกัน ในที่นี้จะเปรียบเทียบกันเมื่อใช้ Gen = 30 และ Gen = 50 ผลการทำงานของ GAs โดยกำหนดให้ Pop = 20 ดังแสดงในรูปที่ 3.19-3.20

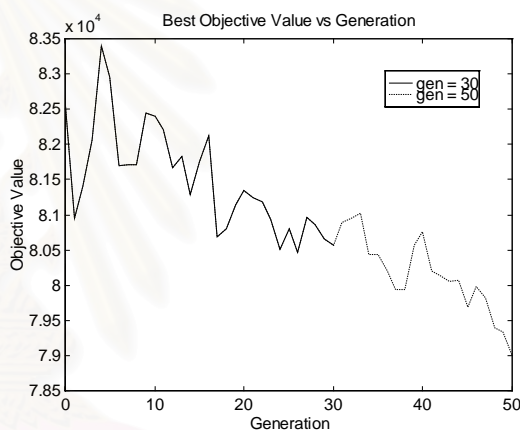
จากรูปที่ 3.19 พบว่าในกรณีที่ใช้จำนวนรุ่นที่มากขึ้นจะสามารถทำให้ได้ ค่า Fitness ที่สูงขึ้นหรือได้ค่าจุดประสงค์ที่น้อยลงนั่นเอง (ดังรูปที่ 3.20)

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าในกรณี Gen = 30 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 26 ดังนั้นเราจะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบ และในกรณี Gen = 50 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 50 เราก็จะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ได้ดังรูปที่ 3.21-3.22

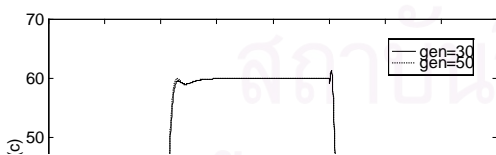
จากผลการจำลองระบบ (ดังรูปที่ 3.21) จะเห็นว่าทั้ง 2 กรณีให้ผลตอบอนุมุมิไม่แตกต่างกันนัก



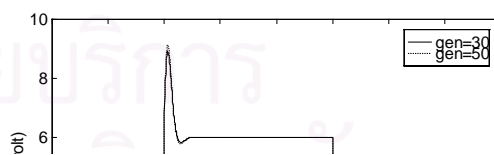
รูปที่ 3.19 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในกรณีที่ 2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.20 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในกรณีที่ 2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.21 ผลตอบของอนุมุมิในกรณีที่ 2



รูปที่ 3.22 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 2

กรณีที่ 3

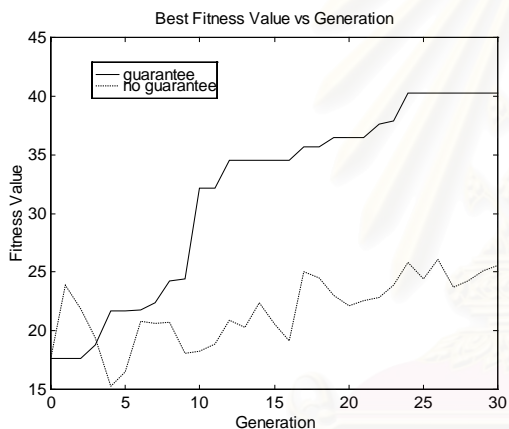
โดยปกติการหาจุดเหมาะสมโดยใช้ GAs จะไม่รับประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะมีค่าที่สูงขึ้นกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบัน (ดังรูปที่ 3.3 และ 3.19) ดังนั้นจึงคิดวิธีที่จะทำให้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปมีค่าไม่ต่ำกว่ารุ่นปัจจุบัน โดยมีหลักการง่ายๆคือกำหนดให้โครโมโซมที่มีค่า Fitness ที่มากที่สุดทุกรุ่นนั้นๆทำการสำเนาตัวเองไปยังรุ่นถัดไปโดยที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมเลย

ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเมื่อมีการประกันฯและไม่มีการประกันฯ โดยกำหนดให้ Gen = 30 และแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

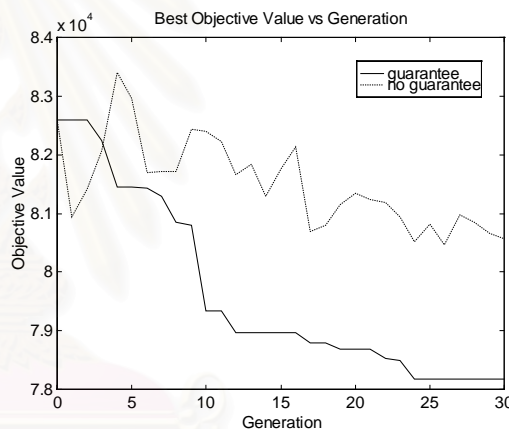
กรณีที่ 3.1 เมื่อใช้ Pop = 21 (หรือ Pop = 20 ในกรณีที่ไม่มีประกันฯ)

กรณีที่ 3.2 เมื่อใช้ Pop = 29 (หรือ Pop = 28 ในกรณีที่ไม่มีประกันฯ)

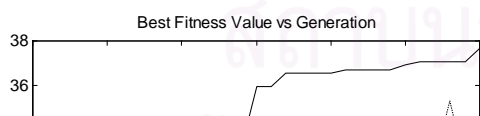
ผลการทำงานของ GAs ดังแสดงในรูปที่ 3.23-3.26



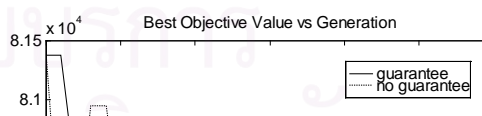
รูปที่ 3.23 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.24 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.1 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.25 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



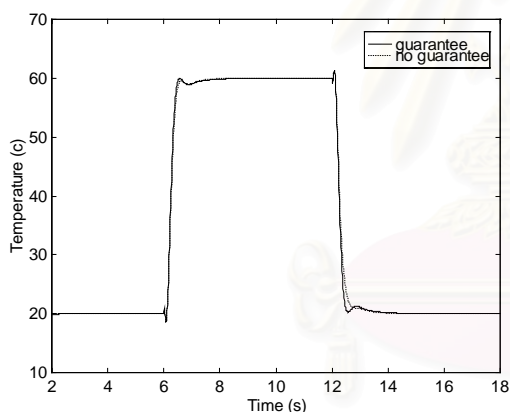
รูปที่ 3.26 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น ในกรณีที่ 3.2 ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากรูปที่ 3.23 และ 3.25 พบว่าเมื่อมีการประกันฯ ค่า Fitness ที่ดีที่สุดจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการประกันฯ นั้นหมายถึงค่าจุดประสงค์ก็จะมีค่าต่ำกว่าเช่นเดียวกัน (ดังรูปที่ 3.24 และ 3.26) เพราะเมื่อมีการประกันฯจะสามารถแน่ใจได้ว่าต้องได้ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปไม่ต่ำกว่าค่าปัจจุบันแน่นอน

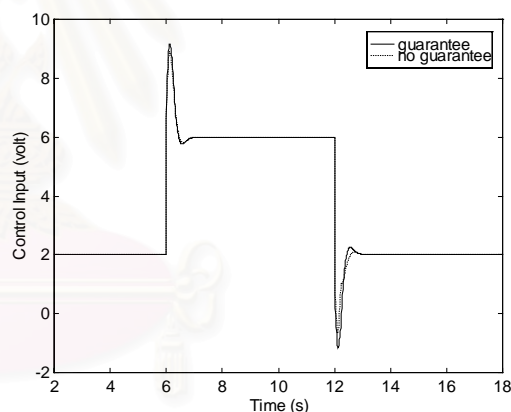
พิจารณากรณีที่ 3.1 (รูปที่ 3.23) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการประกันฯ ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 30 ดังนั้นเราจะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบ และเมื่อไม่มีการประกันฯ ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 26 เราก็จะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 3.27-3.28

พิจารณากรณีที่ 3.2 (รูปที่ 3.25) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการประกันฯ ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 30 ดังนั้นเราจะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบ และเมื่อไม่มีการประกันฯ ค่า Fitness ที่ดีที่สุดอยู่ในรุ่นที่ 28 เราก็จะเลือกค่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 3.29-3.30

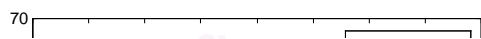
จากผลการจำลองระบบ (ดังรูปที่ 3.27 และ 3.29) จะเห็นได้ว่าทั้งกรณีที่มีการประกันฯและไม่มีการประกันฯต่างก็สามารถให้ผลตอบอุณหภูมิต่างกัน โดยที่กรณีที่มีการประกันฯจะได้ผลตอบที่ดีกว่าเล็กน้อย



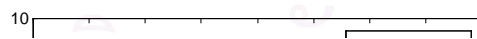
รูปที่ 3.27 ผลตอบของอุณหภูมิในกรณีที่ 3.1



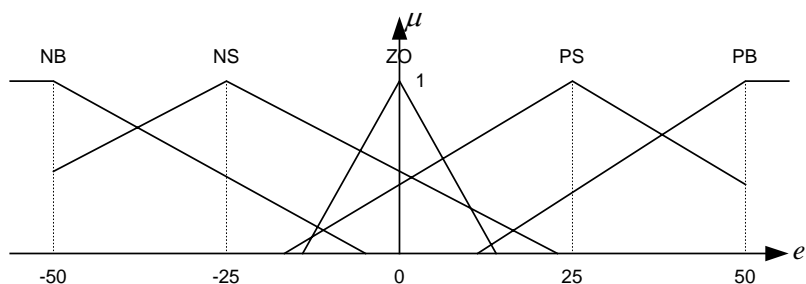
รูปที่ 3.28 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 3.1



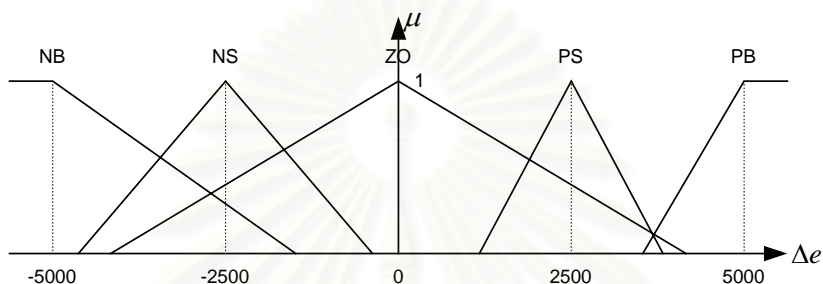
รูปที่ 3.29 ผลตอบของอุณหภูมิในกรณีที่ 3.2



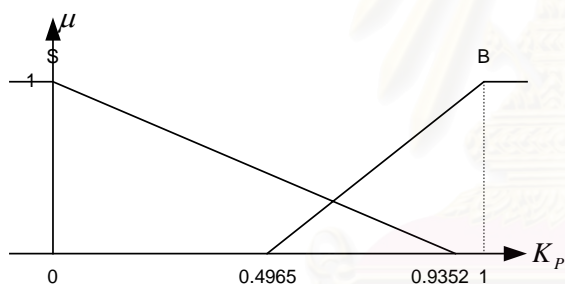
รูปที่ 3.30 สัญญาณควบคุมในกรณีที่ 3.2



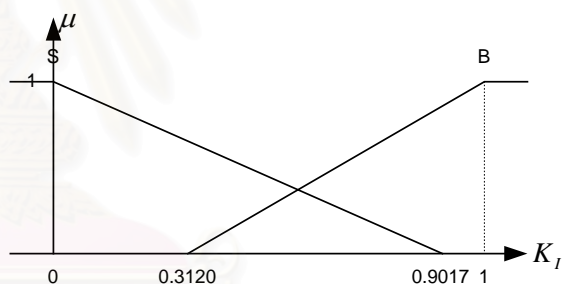
รูปที่ 3.31 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.32 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.33 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.34 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	B	S	B
	NS	B	B	B	S	B
	ZO	S	B	B	S	B
	PS	B	B	B	S	B
	PB	S	B	B	S	B

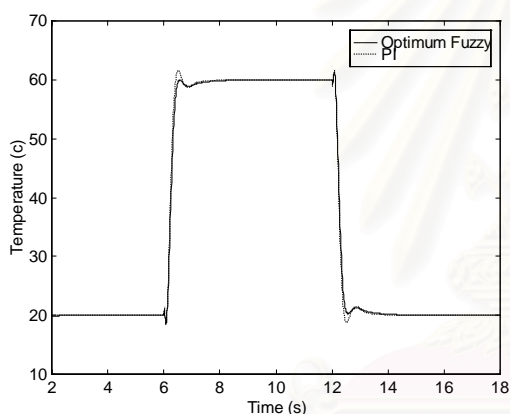
รูปที่ 3.35 ฐานกฎสำหรับ K_p สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	B	S	S
	NS	S	S	B	S	B
	ZO	B	B	S	S	B
	PS	B	S	B	B	B
	PB	B	S	B	B	S

รูปที่ 3.36 ฐานกฎสำหรับ K_I สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

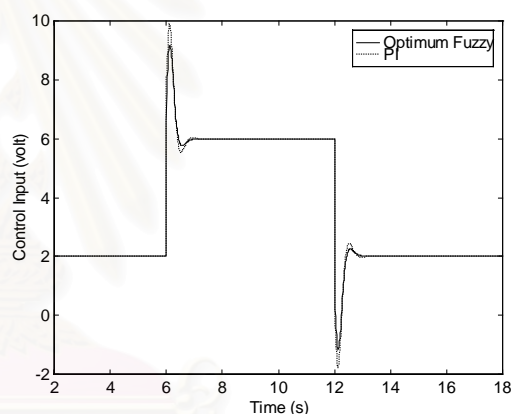
จากการเปรียบเทียบที่ผ่านมาทั้ง 3 กรณีสรุปได้ว่าการใช้จำนวนประชากรมากๆในแต่ละรุ่นหรือการเลือกจำนวนรุ่นมากๆเพื่อเป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหาจะทำให้ได้ค่า Fitness ที่ดีขึ้นก็จริง แต่เมื่อพิจารณาผลตอบแทนของระบบพบว่าไม่ค่อยส่งผลเท่าไรนัก (ผลตอบแทนไม่ได้ดีขึ้นกว่าเดิม) เมื่อมีการประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันก็นับว่าเป็นแนวคิดที่ดี ทำให้ได้ค่า Fitness ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่มีการประกันฯ เนื่องจากค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่าปัจจุบันแน่นอน

ดังนั้นเราจะเลือกกรณีที่ใช้ Pop = 21 Gen = 30 และมีการประกันฯนำมาหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม (ได้ดังรูปที่ 3.31-3.36) สำหรับระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีเพื่อใช้ในการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองระบบโดยใช้ตัวควบคุม PI (ตามสมการ (2.1)) ที่ปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols [20] ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ $K_p = 0.15$, $K_i = 0.38$ ผลการจำลองระบบดังแสดงในรูปที่ 3.37-3.38



รูปที่ 3.37 ผลตอบของอุณหภูมิ

เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเทียบกับตัวควบคุม PI

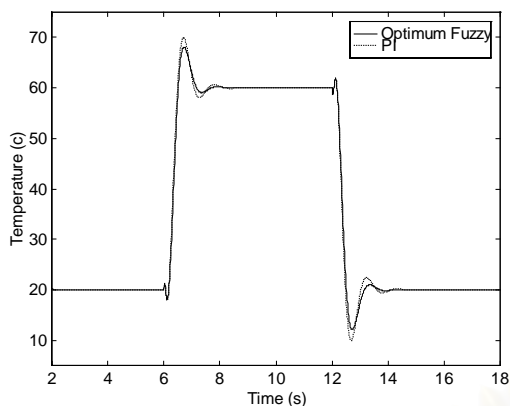


รูปที่ 3.38 สัญญาณควบคุม

เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเทียบกับตัวควบคุม PI

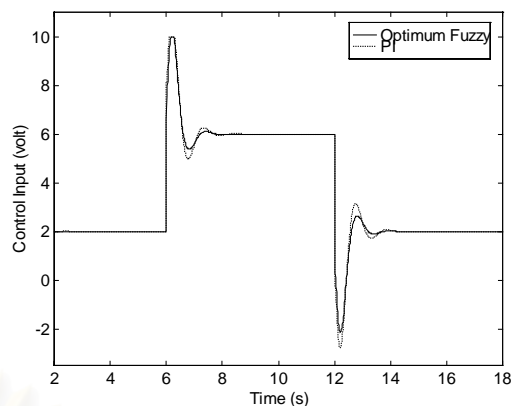
จากผลการจำลองระบบ (ดังรูปที่ 3.37) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดและตัวควบคุม PI สามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งคู่ อุณหภูมิสามารถเข้าสู่ค่ากำหนดได้อย่างรวดเร็ว แต่ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุม PI กล่าวคือให้ผลตอบที่มีส่วนพุงเกินที่ต่ำกว่า

นอกจากนี้เราจะนำตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดและตัวควบคุม PI มาเปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่เวลาหน่วงเปลี่ยนจาก 0.13 วินาที เป็น 0.2 วินาที และค่าคงที่ทางเวลาเปลี่ยนจาก 0.33 วินาที เป็น 0.4 วินาที ผลการจำลองระบบดังแสดงในรูปที่ 3.39-3.40



รูปที่ 3.39 ผลตอบของอุณหภูมิ

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ



รูปที่ 3.40 สัญญาณควบคุม

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ

จากผลการจำลองระบบ (ดังรูปที่ 3.39) จะเห็นว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดและตัวควบคุม PI ก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ แต่ให้ผลตอบที่มีส่วนพุ่งเกินสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ (ดังรูปที่ 3.37) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวควบคุมทั้งสองแบบพบว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็ยังคงให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุม PI (มีส่วนพุ่งเกินต่ำกว่า) อีกทั้งเมื่อพิจารณาที่สัญญาณควบคุม (รูปที่ 3.40) จะเห็นว่าตัวควบคุม PI ใช้สัญญาณควบคุมเกินขอบเขตที่เป็นไปได้ ($u \in [-10,10]$ โวลต์)

3.1.4 สรุป

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับ GAs ไม่ว่าจะเป็นการเลือกจำนวนประชากรหรือจำนวนรุ่นเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหา จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบของระบบเท่าไรนัก ดังนั้นการเลือกจำนวนประชากรหรือจำนวนรุ่นที่น้อยกว่าจะทำให้ GAs สามารถค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมได้เร็วกว่า สำหรับเมื่อมีการประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบันนั้นเป็นสิ่งที่ควรทำ เพราะทำให้มั่นใจได้ว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่าปัจจุบันแน่นอน อีกทั้งยังไม่ทำให้เสียเวลาเพิ่มในการค้นหาอีกด้วย

ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการจำลองระบบจะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดให้ผลการควบคุมดีกว่าตัวควบคุม PI และเมื่อพารามิเตอร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

3.2 หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการกลายเป็นไอของสารแต่ละชนิดซึ่งจะต้องมีจุดเดือดแตกต่างกันพอสมควร เมื่อเริ่มต้นกระบวนการจะให้ความร้อนแก่สารผสมที่อยู่ในหม้อต้มซ้ำบริเวณฐานหรือจนกระทั่งสารผสมมีอุณหภูมิสูงพอที่จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ไอของสารผสมนี้จะผ่านเข้าไปยังชั้น (Trays) ต่างๆภายในหอ เกิดการกลั่นแบบลำดับส่วนขึ้นภายในแต่ละชั้น ไอของสารที่ออกจากยอดหอจะมีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเป็นปริมาณมาก และจะผ่านไปยังเครื่องควบแน่นเพื่อทำให้กลายเป็นของเหลว จากนั้นก็ผ่านไปยังวาล์วป้อนกลับสารยอดหอ ซึ่งวาล์วนี้สามารถควบคุมให้ของเหลวไหลออกมาเป็นผลิตภัณฑ์หรือป้อนกลับไปยังยอดหอได้เรียกว่าการป้อนกลับยอดหอ (External Reflux) เพื่อเป็นการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ

พิจารณาภายในหม้อต้มซ้ำ สารที่มีจุดเดือดสูงกว่าจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หากต้องการให้เกิดการกลั่นแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการป้อนสารผสมเข้ามาให้หอกลิ้น ซึ่งมักจะป้อนเข้ามาที่ตำแหน่งตอนกลางของหอ โดยปกติอัตราการป้อนเข้าสารและความเข้มข้นของสารที่ป้อนเข้าจะมีค่าคงที่ แต่ถ้าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ป้อนเข้าที่กลางหอนี้ จะส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปหากเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% อาจถือว่าเป็นการรบกวนของระบบ ตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพควรจะสามารถควบคุมความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์ให้อยู่ที่ค่ากำหนดได้ แม้ว่าจะเกิดการรบกวนระบบขึ้น

3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

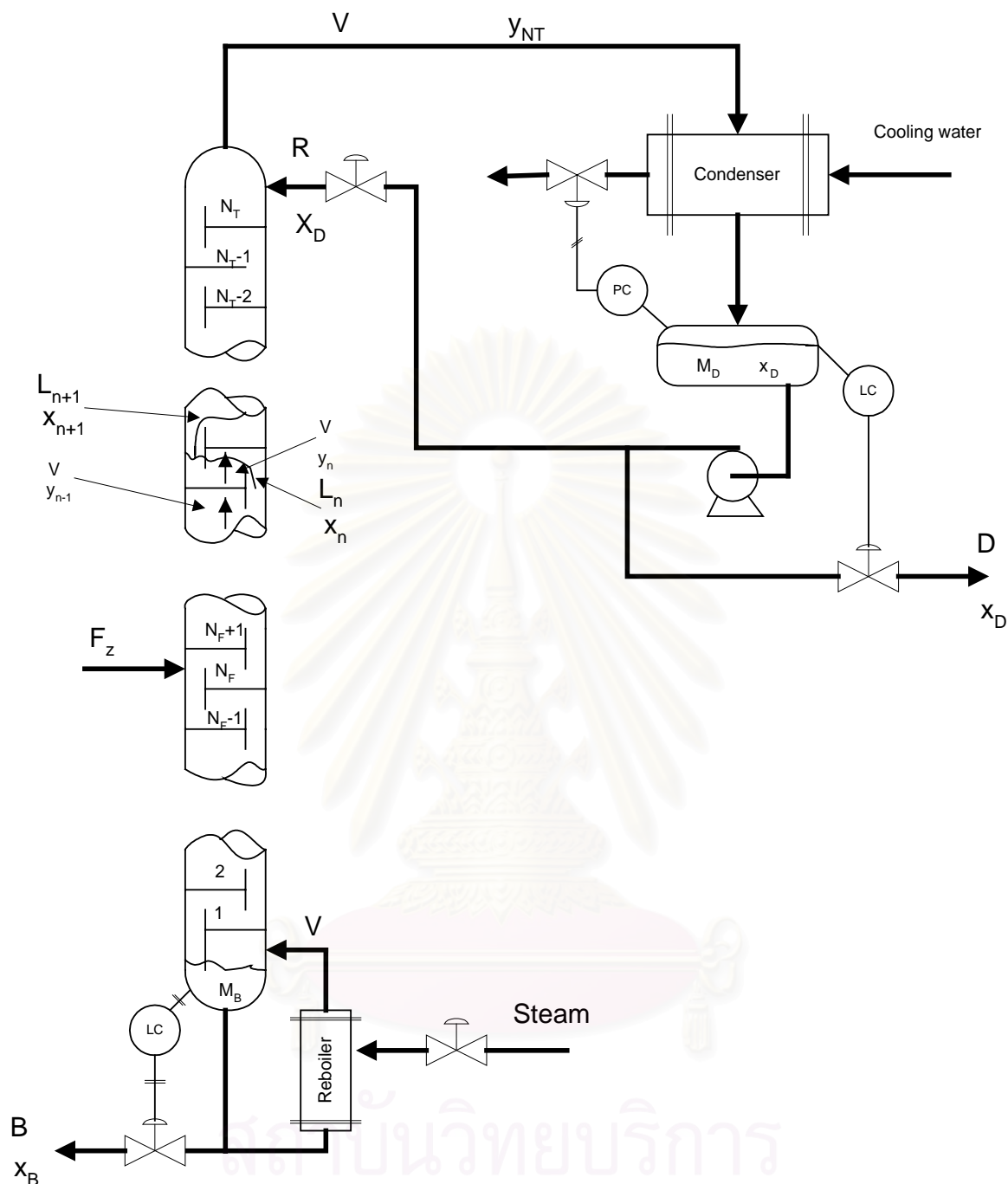
ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบจำลองหอกลิ้นของ Luyben [44] ซึ่งจะพิจารณาเป็นระบบแยกสารผสมสองชนิดที่มีการระเหยสัมพัทธ์ (Relative Volatility) คงที่ตลอดทั้งหอ โดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ในรูปอย่างง่ายของสมดุลไอ-ของเหลว ของสารผสมคือ

$$y_n = \frac{\alpha x_n}{1 + (\alpha - 1)x_n} \quad (3.4)$$

โดยที่ x_n คือองค์ประกอบสารในสารผสมสถานะของเหลว

y_n คือองค์ประกอบสารในสารผสมสถานะก๊าซ

α คือค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์



รูปที่ 3.41 แบบจำลองหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด

สารผสมจะถูกป้อนเข้าในชั้นที่ N_F ด้วยอัตรา F โมล/นาที่ และมีความเข้มข้น z ดังรูปที่ 3.41 ไอจากยอดหอจะถูกควบแน่นทั้งหมดในเครื่องควบแน่น และไหลผ่านไปยังเครื่องป้อนเวียนรอบ (Reflux Drum) ซึ่งบรรจุของเหลวจำนวน M_D โมล และสมมติว่าของเหลวผสมกันอย่างสมบูรณ์มีความเข้มข้น x_D ของเหลวในเครื่องป้อนเวียนรอบส่วนหนึ่งจะถูกป้อนกลับไปยังยอดหอ (N_T) ด้วยอัตรา R และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยอัตรา D เราจะละเลยเวลาหน่วงในการเดินทางของไอจากยอดหอ

ไปถึงเครื่องป้อนเวียนรอบและการเดินทางของของเหลวจากควาล์วป้อนกลับไปยังยอดหอ (สมมติฐานนี้ใช้ได้ดีในกรณีที่เป็นหอกลั่นขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม)

ผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอจะถูกส่งออกด้วยอัตรา B และมีความเข้มข้น x_B ไอที่ได้จากการต้มสารในหม้อต้มซ้ำ (Reboiler) จะลอยสูงขึ้นด้วยอัตรา V เราจะสมมติว่าของเหลวในหม้อต้มซ้ำและที่ฐานหอถูกผสมกันอย่างสมบูรณ์โดยมีความเข้มข้น x_B จำนวน M_B โมล และไอที่ออกจากฐานหอขึ้นสู่ชั้นที่หนึ่งมีความเข้มข้น y_B

หอกลั่นมีทั้งหมด N_T ชั้น ของเหลวในแต่ละชั้นมีจำนวน M_n และสมมติว่าผสมกันอย่างสมบูรณ์มีความเข้มข้น x_n นอกจากนี้ยังสมมติว่าไม่มีไอดกค้างในแต่ละชั้น เพราะแม้ว่าไอจะมีปริมาณมากแต่จำนวนโมลมีน้อย เนื่องจากความหนาแน่นของไอนี้้น้อยมากเมื่อเทียบกับความหนาแน่นของของเหลว (ข้อสมมติฐานนี้จะใช้ไม่ได้ในกรณีที่เป็นหอกลั่นความดันสูง) ซึ่งจากข้อสมมติฐานนี้ทำให้อัตราการไหลของไอมีค่าเท่ากันตลอดทั้งหอ

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_{N_T} \quad (3.5)$$

และสุดท้ายเราจะละเลยภาวะพลวัตของเครื่องควบแน่นและหม้อต้มซ้ำ จากข้อสมมติฐานที่กล่าวมาทั้งหมดเราสามารถเขียนสมการอธิบายระบบซึ่งมีรูปแบบเป็นสมการอนุพันธ์แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆในระบบ ประกอบด้วยสมการความต่อเนื่องโดยรวม (Total Continuity) และสมการความต่อเนื่องขององค์ประกอบ (Component Continuity) ตามลำดับ ซึ่งแยกไปตามส่วนประกอบของหอกลั่นดังต่อไปนี้

เครื่องควบแน่นและเครื่องป้อนเวียนรอบ

$$\frac{dM_D}{dt} = V - R - D \quad (3.6)$$

$$\frac{d(M_D x_n)}{dt} = V y_{N_T} - (R + D) x_D \quad (3.7)$$

ชั้นบนสุดของหอกลั่น ($n = N_T$)

$$\frac{dM_{N_T}}{dt} = R - L_{N_T} \quad (3.8)$$

$$\frac{d(M_{NT}x_{NT})}{dt} = Rx_D - L_{NT}x_{NT} + Vy_{NT-1} - Vy_{NT} \quad (3.9)$$

ชั้นที่ n ของหอกถั่ว

$$\frac{dM_n}{dt} = L_{n+1} - L_n \quad (3.10)$$

$$\frac{d(M_n x_n)}{dt} = L_{n+1}x_{n+1} - L_n x_n + Vy_{n-1} - Vy_n \quad (3.11)$$

ชั้นที่มีการป้อนสารผสมเข้าสู่หอกถั่ว (n = N_F)

$$\frac{dM_{NF}}{dt} = L_{NF+1} - L_{NF} + F \quad (3.12)$$

$$\frac{d(M_{NF}x_{NF})}{dt} = L_{NF+1}x_{NF+1} - L_{NF}x_{NF} + Vy_{NF-1} - Vy_{NF} + Fz \quad (3.13)$$

ชั้นแรกของหอกถั่ว (n = 1)

$$\frac{dM_1}{dt} = L_2 - L_1 \quad (3.14)$$

$$\frac{d(M_1x_1)}{dt} = L_2x_2 - L_1x_1 + Vy_B - Vy_1 \quad (3.15)$$

หม้อต้มข้าวและฐานของหอกถั่ว

$$\frac{dM_B}{dt} = L_1 - V - B \quad (3.16)$$

$$\frac{d(M_Bx_B)}{dt} = L_1x_1 + Vy_B - Bx_B \quad (3.17)$$

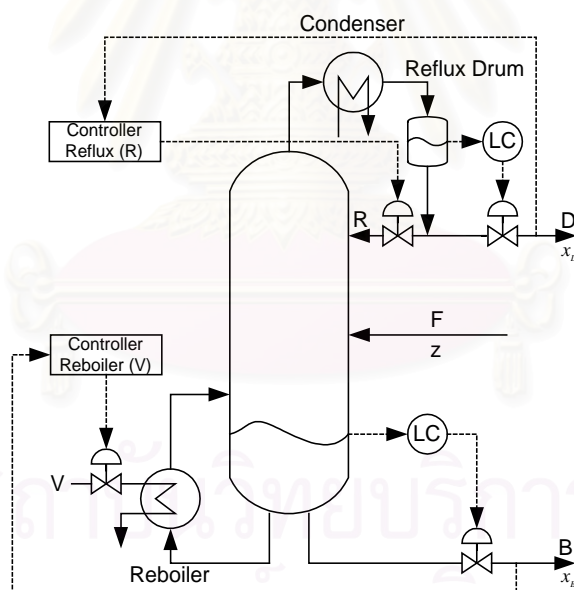
โดยที่ L_n คืออัตราการไหลของของเหลวในแต่ละชั้น

ในการจำลองระบบเราจะใช้แบบจำลองหอกกลั่นที่มีทั้งหมด 20 ชั้น โดยมีการป้อนสารผสมเข้ามาชั้นที่ 10 และกำหนดให้ของเหลวในเครื่องป้อนเวียนรอบจำนวน M_D และของเหลวที่ฐานหอกจำนวน M_B มีค่าคงที่ ข้อมูลต่างๆในสถานะอยู่ตัวดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลในสถานะอยู่ตัว

\bar{R}	126.78 ปอนด์-โมล/นาทึ
\bar{V}	181.99 ปอนด์-โมล/นาทึ
\bar{F}	100 ปอนด์-โมล/นาทึ
\bar{z}	0.55
\bar{x}_D	0.98
\bar{x}_B	0.02

3.2.2 โครงสร้างของระบบควบคุม



รูปที่ 3.42 โครงสร้างการควบคุมหอกกลั่นแบบ (L,V)

โครงสร้างของระบบควบคุมหอกกลั่นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป การเลือกโครงสร้างระบบควบคุมหอกกลั่นจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง อาทิเช่น สารผสมที่ต้องการนำมากลั่น ชนิดและลักษณะโครงสร้างของหอกกลั่น หรือการรบกวนระบบ เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้โครงสร้างแบบสมดุลพลังงาน (Energy Balance Structure) หรืออาจเรียกว่าโครงสร้างการควบคุมแบบ (L,V) [5] ดังรูปที่ 3.42 ลักษณะของโครงสร้างแบบนี้คือจะใช้อัตราการป้อนกลับสารที่ขอดี

หอดและอัตราการต้มซ้ำในการควบคุมความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์ที่ขุดหอดและฐานหอดตามลำดับ เหตุที่เลือกใช้โครงสร้างการควบคุมแบบ (L,V) เพราะสอดคล้องกับโครงสร้างระบบควบคุมที่ทำได้ของหอดกลั่นจริงในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม อีกทั้งโครงสร้างแบบนี้ยังมีข้อดีอีก [45] ได้แก่

- เข้าใจได้ง่าย สามารถสร้างได้ง่าย เพราะโครงสร้างไม่ซับซ้อน
- ระบบมีความไวต่อการรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสาร ไม่มากนักเมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบอื่นๆ

อย่างไรก็ตามโครงสร้างการควบคุมแบบ (L,V) ยังมีข้อจำกัดอยู่ ได้แก่

- มีการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุมค่อนข้างสูง
- ระบบมีความไวต่อการรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารค่อนข้างมาก

วัตถุประสงค์ของการควบคุมคือ ออกแบบระบบควบคุมหอดกลั่นแยกสารผสมสองชนิดให้สามารถควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ขุดหอดให้อยู่ที่ค่ากำหนดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอด

3.2.3 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการจำลองระบบ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ในการจำลองระบบ ดังนี้

- $e(kh) \in [-0.01, 0.01]$ และ $\Delta e(kh) \in [-0.5, 0.5]$
- $K_p \in [600, 2000]$ และ $K_I \in [200, 800]$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ใน GAs ดังนี้

- ความยาวของโครโมโซม

1. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณเข้า

- $r_{ei} \in [0.0025, 0.01]$, $i = 1, 2, \dots, 5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 5 ดังนั้นใช้ความยาว 10 บิต/พารามิเตอร์
- $r_{\Delta ei} \in [0.125, 0.5]$, $i = 1, 2, \dots, 5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นใช้ความยาว 12 บิต/พารามิเตอร์

2. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณออก

- $q_{K_p S}, q_{K_p B}, q_{K_I S}, q_{K_I B} \in [0.5, 1]$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นใช้ความยาว 6 บิต/พารามิเตอร์

3. พารามิเตอร์ในส่วนฐานกฎ

- $l_{K_p i}, l_{K_I i}$, $i = 1, 2, \dots, 25$ ใช้ความยาว 1 บิต/พารามิเตอร์

ดังนั้นความยาวของโครโมโซม 1 ตัว = $10*5+12*5+6*4+25+25 = 184$ บิต

- จำนวนประชากร

ในที่นี้ใช้จำนวนประชากร 21 ตัว

- จำนวนรุ่น

ในที่นี้ใช้จำนวนรุ่น 30 รุ่น เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหา

- ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน (p_c) และการกลายพันธุ์ (p_m)

เนื่องจากใช้จำนวนประชากรไม่เกิน 30 ตัว ดังนั้นจะเลือกใช้ $p_c = 0.9$, $p_m = 0.01$

นอกจากนี้ในการใช้ GAs จะทำในกรณีที่มีการประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบัน และเลือกฟังก์ชัน Fitness (F) สำหรับระบบหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดดังสมการ

$$F = \frac{1}{J} \quad (3.18)$$

โดยที่ J คือ ฟังก์ชันจุดประสงค์ตามสมการ (2.16)

ทำการศึกษาเปรียบเทียบใน 3 กรณี ดังนี้

กรณี	การควบคุมในวงรอบยอดหอ	การควบคุมในวงรอบฐานหอ
1	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุม PI
2	ใช้ตัวควบคุม PI	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด
3	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด

ในการศึกษานี้กำหนดให้มีการรบกวนระบบโดยเพิ่มการป้อนเข้าสารที่กลางหอที่เวลา 80 นาที จาก 100 ปอนด์-โมล/นาที เป็น 110 ปอนด์-โมล/นาที และที่เวลา 160 นาที ก็ลดการป้อนสารลงมาเหลือ 100 ปอนด์-โมล/นาที โดยทำการจำลองระบบแต่ละกรณีแล้วนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ตัวควบคุม PI ทั้ง 2 วงรอบ ซึ่งตัวควบคุม PI เป็นดังสมการ [46]

$$R = \bar{R} + K_D \left(e_D + \frac{1}{\tau_D} \int e_D dt \right) \quad (3.19)$$

$$V = \bar{V} - K_B(e_B + \frac{1}{\tau_B} \int e_B dt) \quad (3.20)$$

โดยที่ $K_D = 748.42$, $\tau_D = 1.36$ และ $K_B = 1014.66$, $\tau_B = 2.37$

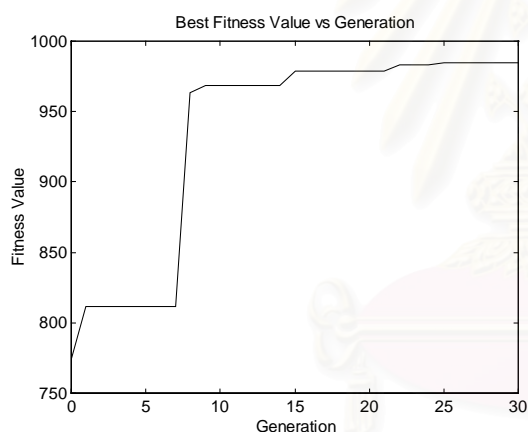
\bar{R} เป็นอัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอที่สถานะอยู่ตัว = 128.01 lb-mol/min

\bar{V} เป็นอัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอที่สถานะอยู่ตัว = 178.01 lb-mol/min

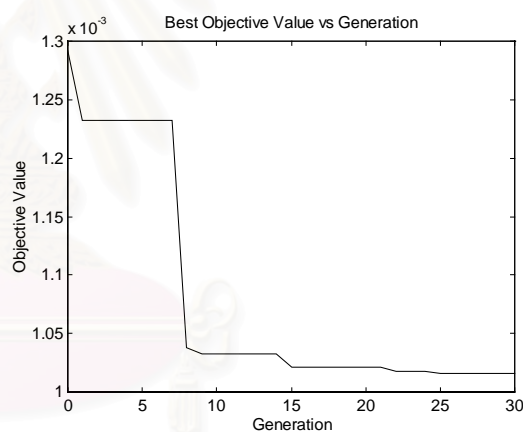
e_D, e_B คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอดหอและฐานหอตามลำดับ

กรณีที่ 1

เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอดหอ และใช้ตัวควบคุม PI ตามสมการ (3.20) ในการควบคุมวงรอบฐานหอ ผลการใช้ GAs เพื่อหาตัวควบคุมที่ยอดหอแสดงในรูปที่ 3.43-3.44



รูปที่ 3.43 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น
ในกรณีที่ 1 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

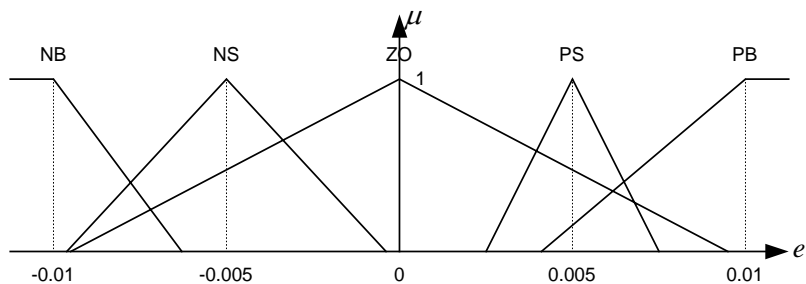


รูปที่ 3.44 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น
ในกรณีที่ 1 ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

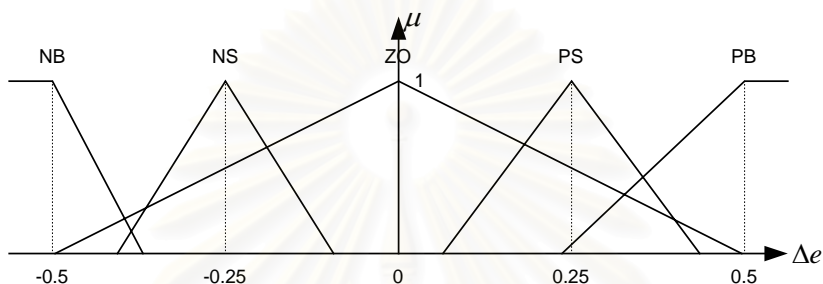
เนื่องจากการประกันฯ ดังนั้นค่า Fitness ที่ดีที่สุดจะอยู่ในรุ่นสุดท้าย เราจะนำค่านี้มาถอดรหัสเป็นค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับวงรอบยอดหอ ได้ดังรูปที่ 3.45-3.50

จากนั้นทำการจำลองระบบจะได้ผลดังรูปที่ 3.51-3.54 จากผลการจำลองระบบจะเห็นว่าที่วงรอบยอดหอ ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุม PI ในขณะที่วงรอบฐานหอ ตัวควบคุมทั้งสองแบบให้ผลการควบคุมที่ไม่แตกต่างกันนัก

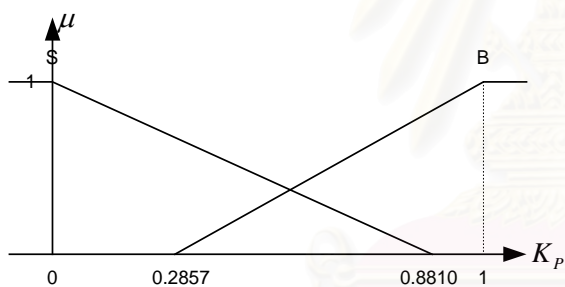
รูปที่ 3.55 และ 3.56 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i ของตัวควบคุมที่วงรอบยอดหอ ตามลำดับ



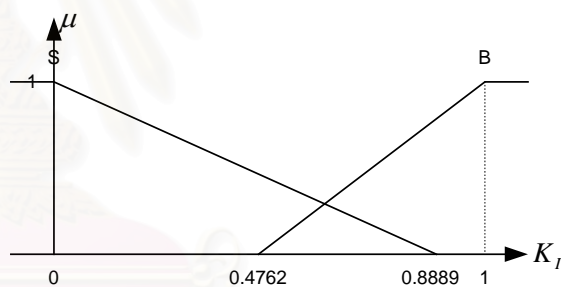
รูปที่ 3.45 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.46 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.47 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1



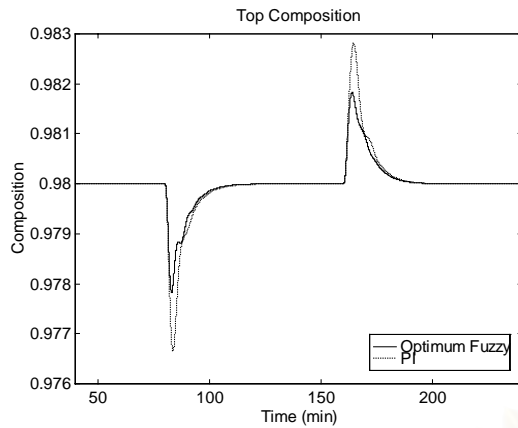
รูปที่ 3.48 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	S	B	B
	NS	B	B	S	B	B
	ZO	B	B	B	B	S
	PS	S	S	B	S	B
	PB	S	S	B	B	B

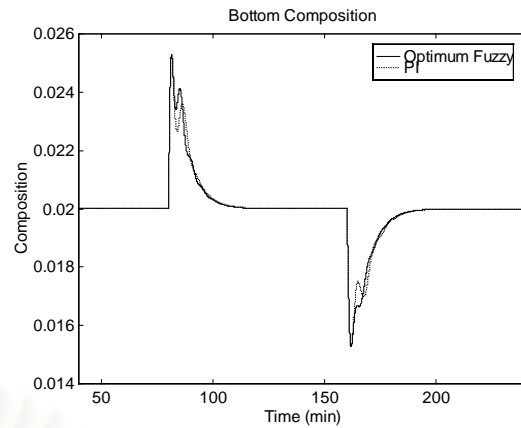
รูปที่ 3.49 ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	B	B	S	B
	NS	B	S	S	B	S
	ZO	B	S	B	S	S
	PS	S	B	S	S	S
	PB	B	B	B	S	B

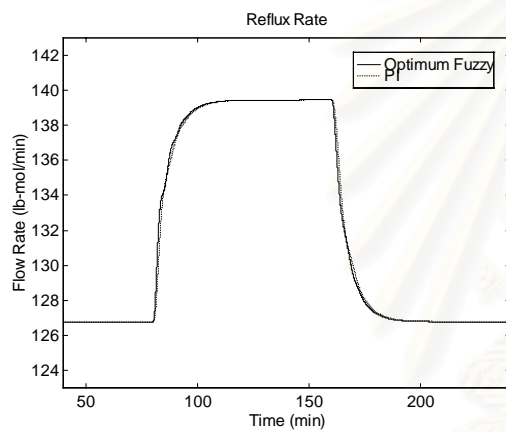
รูปที่ 3.50 ฐานกฎของ K_i สำหรับวงรอบขอดหอในกรณีที่ 1



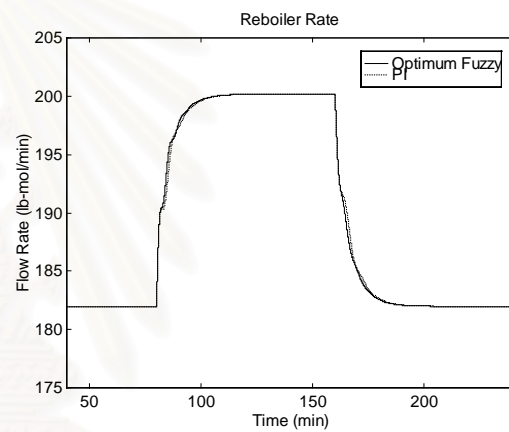
รูปที่ 3.51 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ
ในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.52 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอ
ในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.53 อัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอ
ในกรณีที่ 1



รูปที่ 3.54 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอ
ในกรณีที่ 1



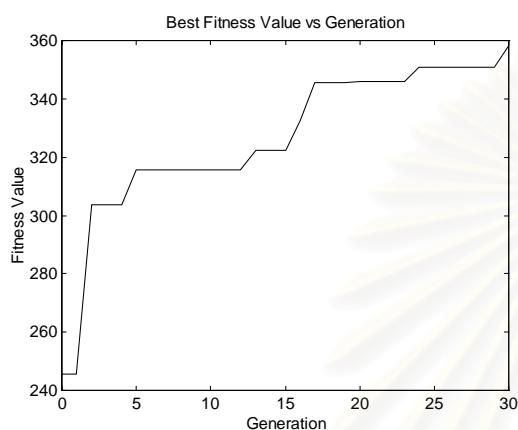
รูปที่ 3.55 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบยอดหอ
ในกรณีที่ 1



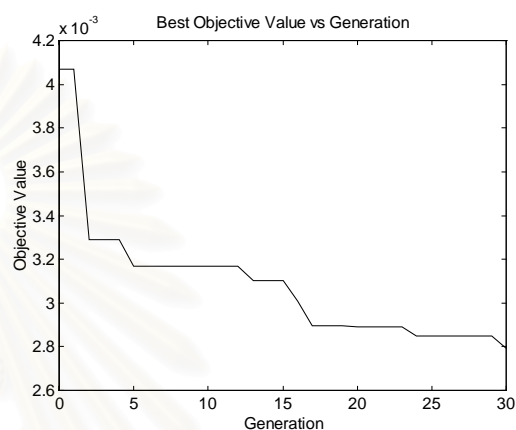
รูปที่ 3.56 ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบยอดหอ
ในกรณีที่ 1

กรณีที่ 2

เมื่อใช้ตัวควบคุม PI ตามสมการ (3.19) ในการควบคุมวงรอบยอหด และใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบฐานยอหด ผลการใช้ GAs เพื่อหาตัวควบคุมที่ฐานยอหดดังแสดงในรูปที่ 3.57 และ 3.58



รูปที่ 3.57 ค่า fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น
ในกรณีที่ 2 ของหอกลิ้นแอกสารผสมสองชนิด

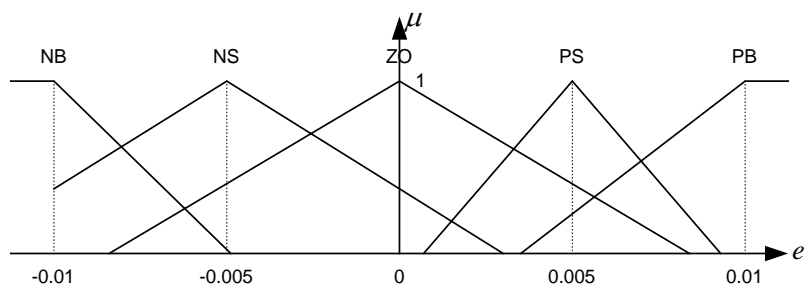


รูปที่ 3.58 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น
ในกรณีที่ 2 ของหอกลิ้นแอกสารผสมสองชนิด

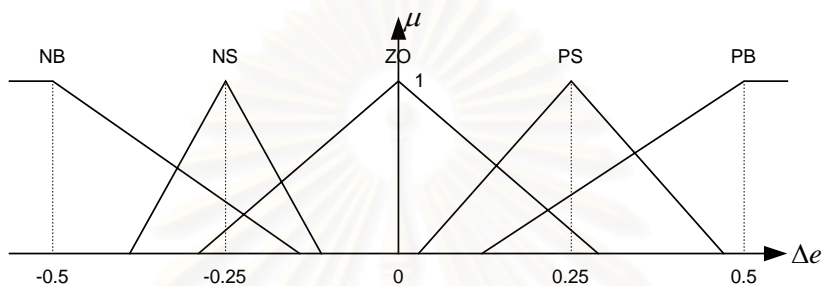
เนื่องจากการประกันๆ ดังนั้นค่า Fitness ที่ดีที่สุดจะอยู่ในรุ่นสุดท้าย เราจะนำค่านี้มาถอดรหัสเป็นค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับวงรอบฐานยอหดได้ดังรูปที่ 3.59-3.64

จากนั้นทำการจำลองระบบจะได้ผลดังรูปที่ 3.65-3.68 จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่าที่วงรอบฐานยอหด ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุม PI ในขณะที่วงรอบยอหด ตัวควบคุมทั้งสองแบบให้ผลการควบคุมที่ไม่แตกต่างกันนัก

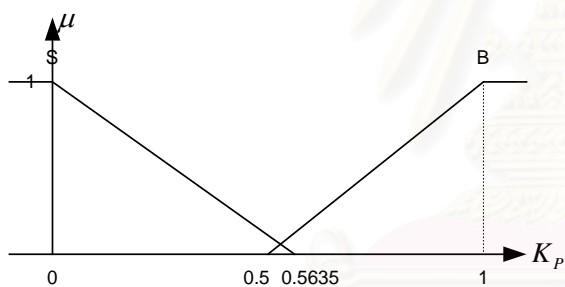
รูปที่ 3.69 และ 3.70 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i ของตัวควบคุมที่วงรอบฐานยอหด ตามลำดับ



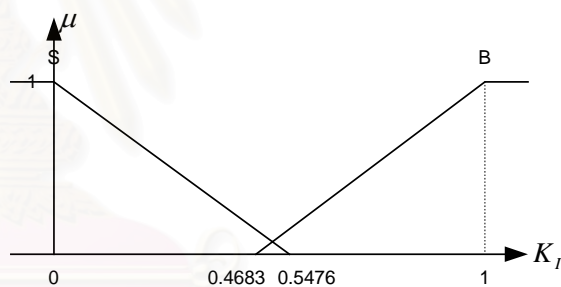
รูปที่ 3.59 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2



รูปที่ 3.60 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2



รูปที่ 3.61 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2



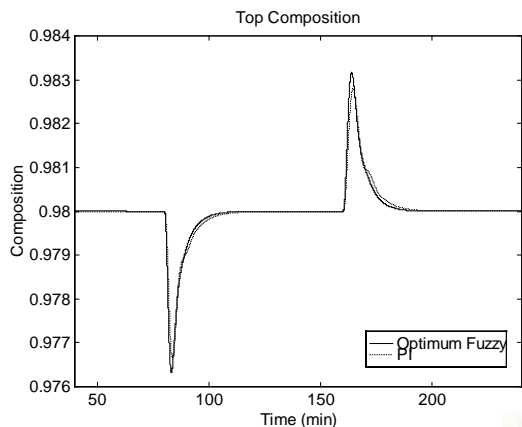
รูปที่ 3.62 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	S	B	S
	NS	B	B	B	B	B
	ZO	B	S	B	S	S
	PS	B	B	B	S	S
	PB	S	S	B	B	B

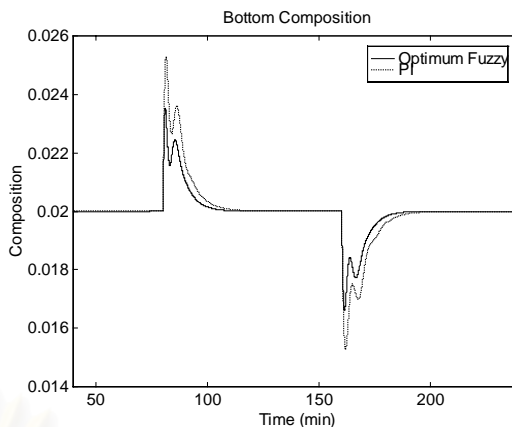
รูปที่ 3.63 ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	B	S	B	B
	NS	S	S	B	B	S
	ZO	B	B	B	B	B
	PS	S	S	B	S	B
	PB	S	S	B	B	B

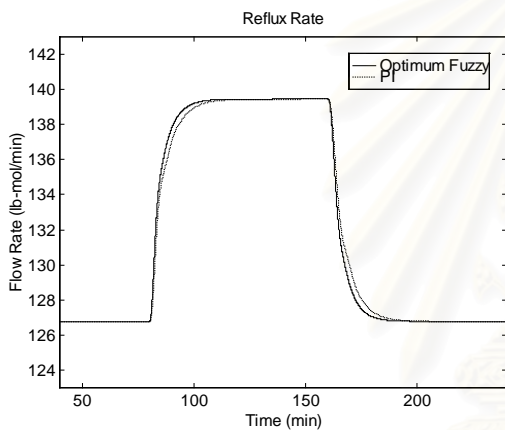
รูปที่ 3.64 ฐานกฎของ K_i สำหรับวงรอบฐานห่อในกรณีที่ 2



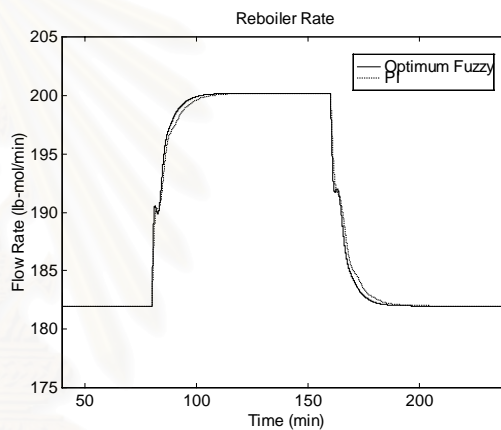
รูปที่ 3.65 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ
ในกรณีที่ 2



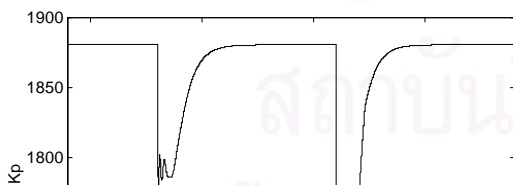
รูปที่ 3.66 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอ
ในกรณีที่ 2



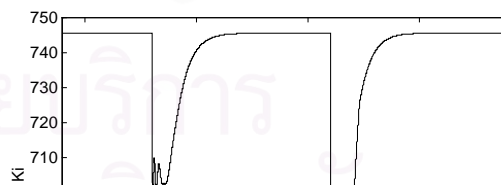
รูปที่ 3.67 อัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอ
ในกรณีที่ 2



รูปที่ 3.68 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอ
ในกรณีที่ 2



รูปที่ 3.69 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอ
ในกรณีที่ 2



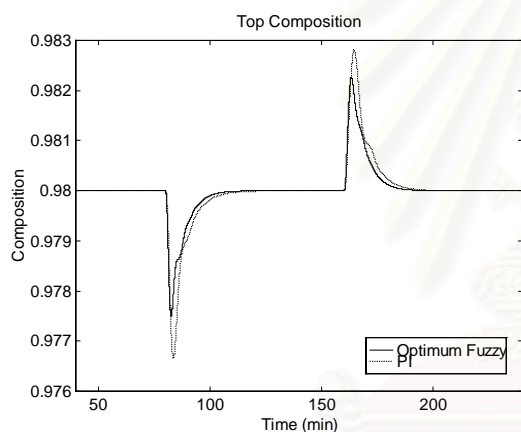
รูปที่ 3.70 ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบฐานหอ
ในกรณีที่ 2

กรณีศึกษาที่ 3

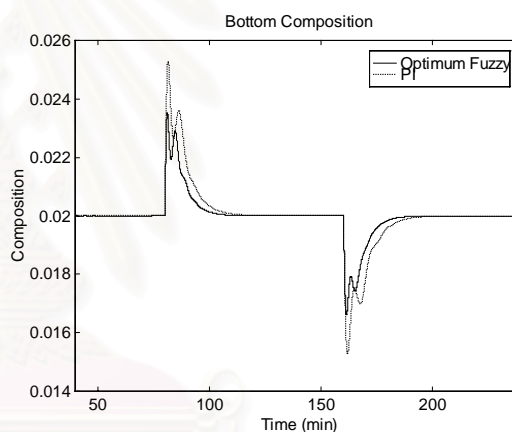
เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี่ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ โดยที่วงรอบยอดหอใช้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎด้งรูปที่ 3.45-3.50 และวงรอบฐานหอใช้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎด้งรูปที่ 3.59-3.64 จากนั้นทำการจำลองระบบจะด้ผลด้งรูปที่ 3.71-3.74

จากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว้ที่วงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี่ให้ผลการควบคุมที่ด้กว่าตัวควบคุม PI

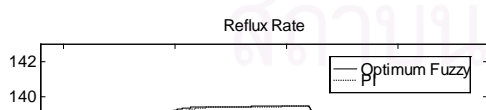
รูปที่ 3.75 และ 3.76 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_I ของตัวควบคุมที่วงรอบยอดหอ ตามลำดับ รูปที่ 3.77 และ 3.78 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_I ของตัวควบคุมที่วงรอบฐานหอ ตามลำดับ



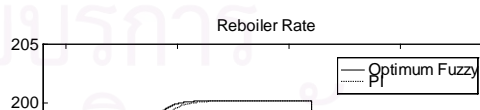
รูปที่ 3.71 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ
ในกรณีศึกษาที่ 3



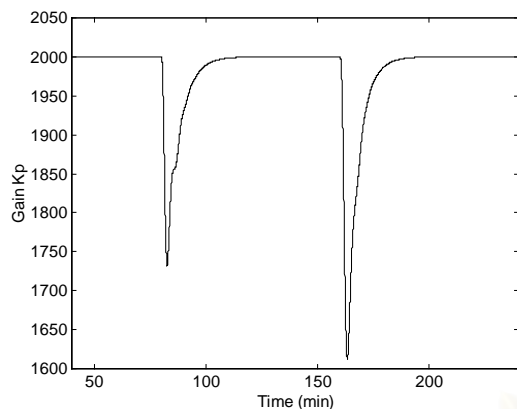
รูปที่ 3.72 ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอ
ในกรณีศึกษาที่ 3



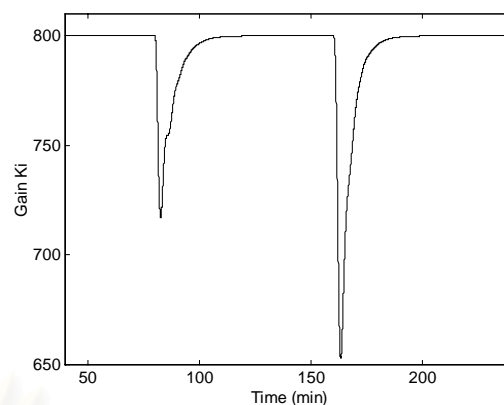
รูปที่ 3.73 อัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอ
ในกรณีศึกษาที่ 3



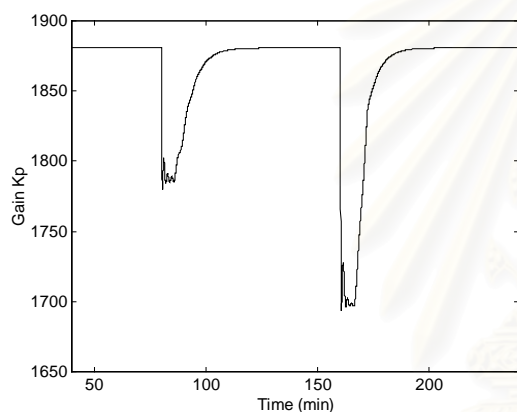
รูปที่ 3.74 อัตราการป้อนกลับไอที่ฐานหอ
ในกรณีศึกษาที่ 3



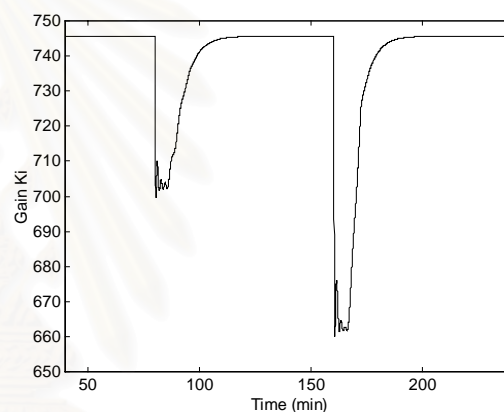
รูปที่ 3.75 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบขอดหอ
ในกรณีที่ 3



รูปที่ 3.76 ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบขอดหอ
ในกรณีที่ 3



รูปที่ 3.77 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอ
ในกรณีที่ 3



รูปที่ 3.78 ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบฐานหอ
ในกรณีที่ 3

3.2.4 สรุป

ในการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดโดยการจำลองระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอ จากผลการทดลองทั้ง 3 กรณีจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสามารถควบคุมความเข้มข้นสารผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอและฐานหอได้ และให้ผลการควบคุมดีกว่าตัวควบคุม PI นอกจากนี้การใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมหอกลิ้นทั้ง 2 วงรอบให้ผลการควบคุมดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมเพียงวงรอบเดียว

3.3 สรุป

ในบทนี้ได้บรรยายถึงการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมแบบกำกัับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด โดยการจำลองระบบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด ผลการออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ GAs พบว่าสามารถหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมได้ โดยที่ผลของการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับ GAs ไม่ได้ส่งผลต่อผลตอบของระบบเท่าไรนัก เมื่อนำไปจำลองระบบพบว่าตัวควบคุมที่กำกัับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดให้ผลตอบที่ดีพอสมควร โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ และสามารถควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่ขุดห่อได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางห่อ ดังนั้นจะนำตัวควบคุมที่กำกัับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดนี้ไปประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการกลั่นจริงของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

หอกลิ้นนับส่วนของเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมการทำงานของหอกลิ้นคือควบคุมคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ โดยดำเนินการอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยลักษณะสมบัติของหอกลิ้นที่เป็นระบบ MIMO มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีการกระทำระหว่างวงรอบการควบคุม ทำให้การควบคุมหอกลิ้นมีความซับซ้อน จากที่ได้บรรยายในบทที่แล้วระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด ให้ผลการควบคุมที่ดีกับแบบจำลองหอกลิ้น ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาการประยุกต์ใช้งานจริงกับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม โดยจะศึกษาการควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ขอดหอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอ

4.1 หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม [47]

หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมเป็นของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC ดังรูปที่ 4.1 และแสดงเป็นแผนภาพอย่างง่ายดังรูปที่ 4.2 อุปกรณ์ต่างๆของหอกลิ้นถูกติดตั้งบนโครงเหล็ก (หมายเลข 1) ซึ่งมีขาตั้งที่ปรับระดับได้ (หมายเลข 2) ประกอบด้วยตัวหอกลิ้นซึ่งทำจากแก้ว มีทั้งหมด 2 ส่วนคือ ส่วนบน (หมายเลข 3) และส่วนล่าง (หมายเลข 4) แต่ละส่วนมี 4 ชั้น ชั้นเป็นแบบแผ่นตะแกรง (Sieve Plate) แต่ละชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ตัวหอกทั้ง 2 ส่วนหุ้มฉนวนโดยรอบเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ระหว่างตัวหอส่วนบนและส่วนล่างเป็นส่วนการป้อนเข้าสารที่กลางหอ ซึ่งทั้งหมดต่อเชื่อมกันในแนวตั้งเพื่อให้ไอและของเหลวไหลสวนทางกันได้ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อื่นๆอีก ได้แก่ หม้อต้มซ้ำ (หมายเลข 13) ภาชนะบรรจุสารที่ใช้ป้อนเข้าหอขนาด 5 ลิตร จำนวน 2 ใบ (หมายเลข 5 และ 6) มอเตอร์สูบลำสารเข้าหอแบบ Peristaltic (หมายเลข 7) เครื่องควบแน่น (หมายเลข 8) ภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอและขอดหอ (หมายเลข 9 และ 10 ตามลำดับ) อุปกรณ์รินน้ำออก (Decanter) (หมายเลข 11) วาล์วป้อนสารกลับขอดหอ (หมายเลข 12) ภาชนะบรรจุสารช่วยในกรณีกลั่นแบบคงจุดเดือด (Azeotropic Dosing Vessel) (หมายเลข 24) เครื่องสูบลมสุญญากาศ (หมายเลข 20) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิต่างๆ

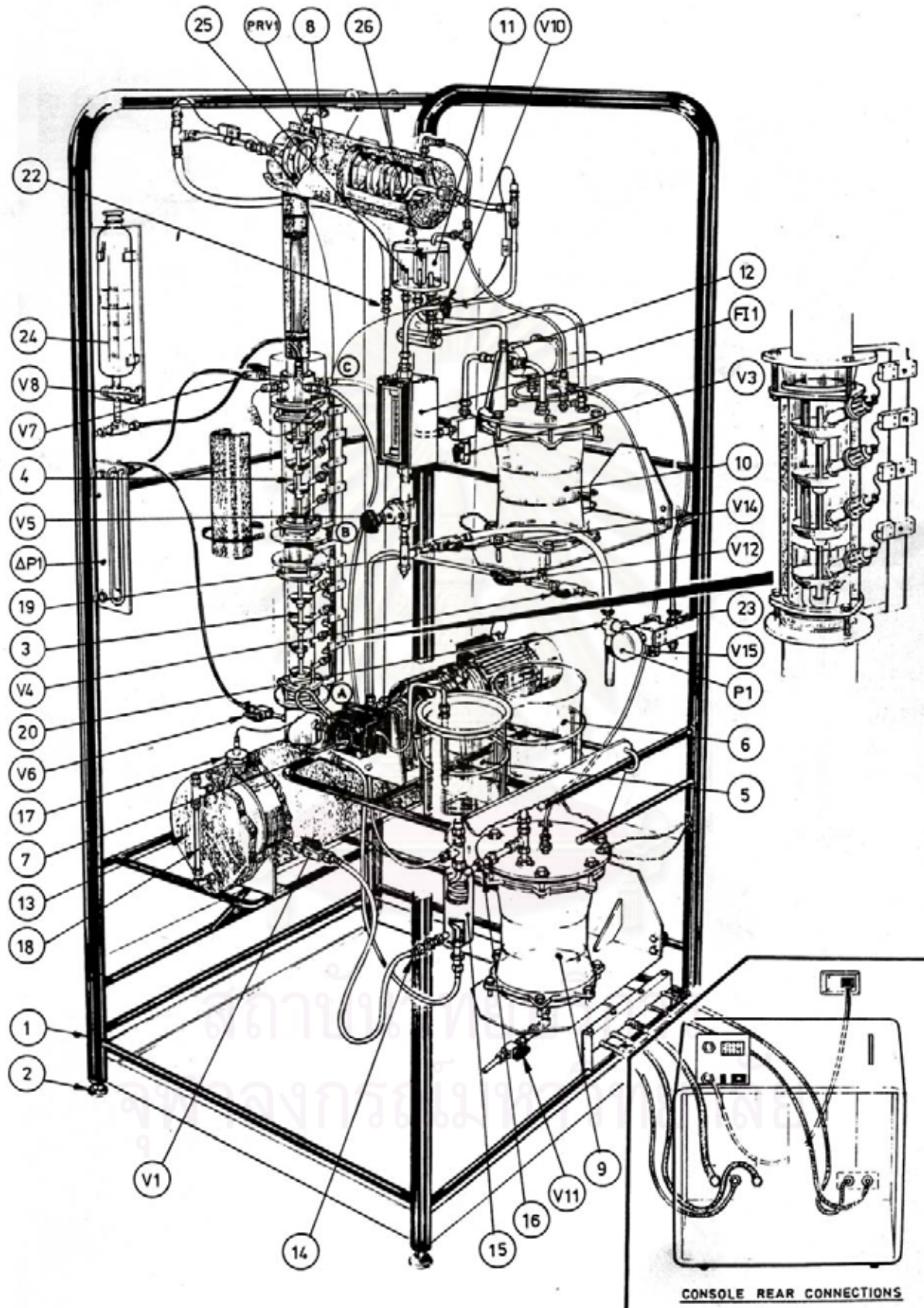
หม้อต้มซ้ำ (หมายเลข 13) ที่อยู่ที่ฐานหอทำจากเหล็กกล้ากันสนิมซึ่งเคลือบสารป้องกันความร้อนรั่วไหล ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับสารผสมหรือสารที่ต้องการกลั่นโดยใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-1.5 กิโลวัตต์ หม้อต้มซ้ำนี้สามารถใช้ในกระบวนการกลั่นแบบ Batch และแบบต่อเนื่อง ใน

กระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่อง จะเปิดวาล์ว V1 ทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอไหลดจากหม้อต้มซ้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หมายเลข 15) ไปยังภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอ (หมายเลข 9) การทำเช่นนี้จะเป็นการอุ่นสารที่ใช้ป้อนเข้าหอไปในตัวด้วย เนื่องจากสารที่ใช้ป้อนเข้าหอจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเช่นเดียวกันและได้รับการถ่ายเทความร้อนจากสารผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอที่ไหลจากหม้อต้มซ้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ และทำให้สารผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ที่ฐานหอเย็นลงด้วย สำหรับกระบวนการกลั่นแบบ Batch จะปิดวาล์ว V1 แล้วเติมสารผสมที่ต้องการกลั่นลงในหม้อต้มซ้ำก่อนเริ่มต้นกลั่น ซึ่งจะสามารถบรรจุสารผสมได้ประมาณ 10-12 ลิตร นอกจากนี้ภายในหม้อต้มซ้ำยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับของเหลว (หมายเลข 17) เพื่อป้องกันความเสียหายอันเกิดจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป หากมีการให้พลังงานความร้อนที่สูงในขณะที่มีระดับของเหลวภายในหม้อต้มซ้ำต่ำกว่าที่กำหนด เราสามารถสังเกตระดับของเหลวภายในหม้อต้มซ้ำได้จากหลอดแก้วที่อยู่ด้านหน้าหม้อต้มซ้ำ (หมายเลข 18)

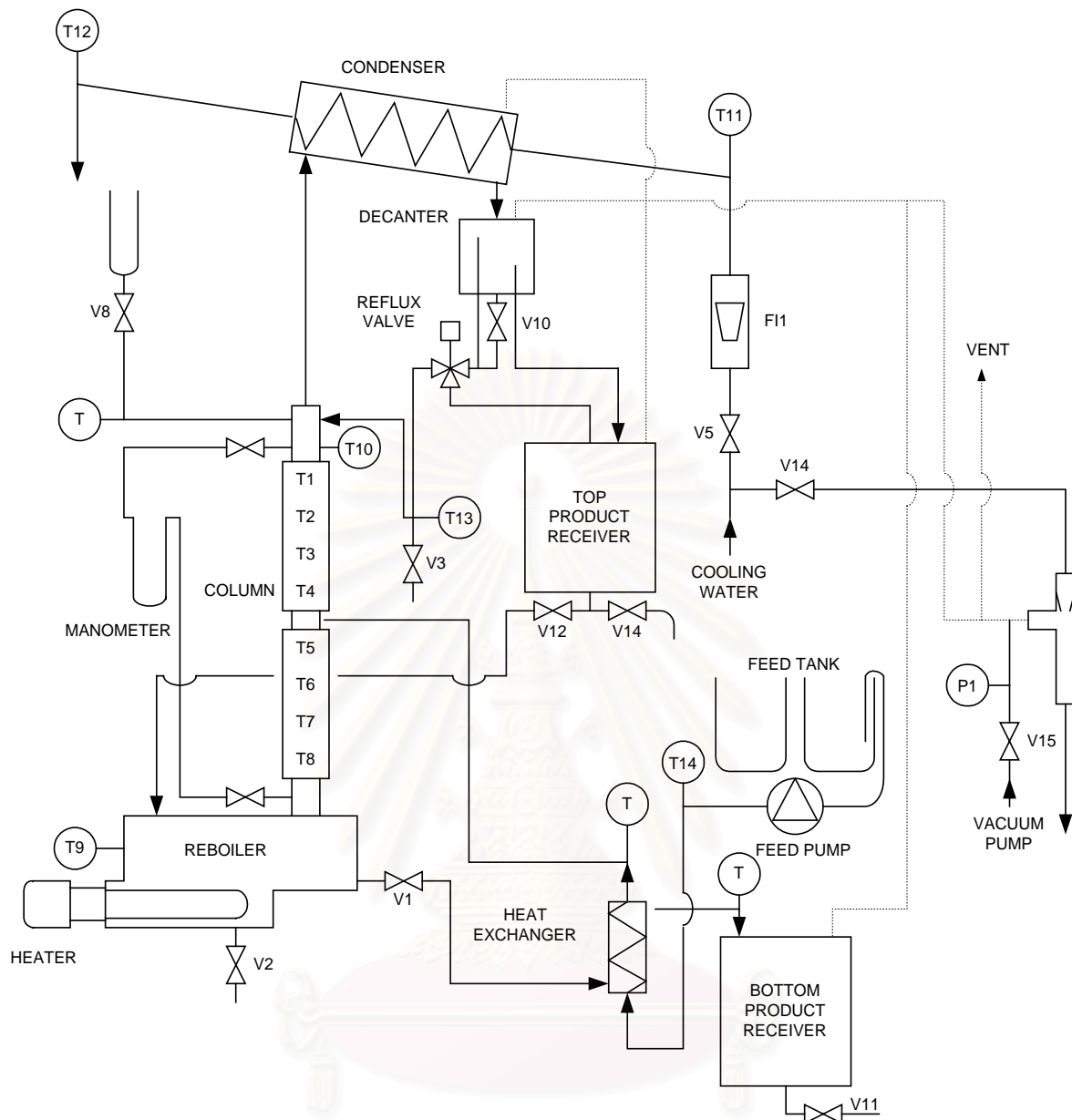
สารผสมที่อยู่ในภาชนะบรรจุสารที่จะใช้ป้อนเข้าหอจะถูกป้อนเข้าหอโดยมอเตอร์สูบลม (หมายเลข 7) โดยสามารถป้อนเข้าหอได้ทั้งฐานหอ กลางหอ และยอดหอที่จุดต่อเชื่อม A B และ C ตามลำดับ อัตราการป้อนสารเข้าหอสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-300 มิลลิลิตร/นาที สายที่ใช้ในการป้อนสารเข้าหอต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของสารผสมที่ทำกรกลั่น

ไอของสารที่ยอดหอจะผ่านไปยังเครื่องควบแน่น ภายในเครื่องควบแน่นจะมีน้ำหล่อเย็นไหลในท่อซึ่งขดเป็นเกลียว ด้านนอกจะมีฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน นอกจากนี้ตอนบนของเครื่องควบแน่นจะมีวาล์วลดความดัน (PRV1) เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบหากความดันภายในหอกลั่นมากเกินไปอันเนื่องมาจากการอุดตันทางเดินระบายอากาศหรือระบบน้ำหล่อเย็นไม่ทำงาน น้ำหล่อเย็นไหลเข้าเครื่องควบแน่นโดยผ่านมาตรวัดอัตราการไหลแบบลูกกลอย (Rotameter) (F11) เราสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นได้โดยวาล์ว V5 ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 0-4.4 ลิตร/นาที โดยปกติควรเปิดน้ำหล่อเย็นด้วยอัตรามากกว่า 3 ลิตร/นาที น้ำหล่อเย็นนี้ยังต่อเชื่อมกับหัวพ่น (Inlet Nozzle) (หมายเลข 19) และส่งไปยังเครื่องสูบลมสุญญากาศ (หมายเลข 20) เพื่อใช้ในกรณีการกลั่นแบบลดความดัน เราสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นไปยังเครื่องสูบลมสุญญากาศได้โดยวาล์ว V14 และในกรณีนี้เราใช้วาล์ว V15 ในการปรับระดับสุญญากาศตามที่ต้องการซึ่งดูได้จากมาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) (P1)

สารที่ได้จากการควบแน่นจะสะสมอยู่ในอุปกรณ์รับน้ำออก (หมายเลข 11) ซึ่งทำจากแก้ว ในการกลั่นแบบปกติจะเปิดวาล์ว V10 ทำให้สารในอุปกรณ์รับน้ำออกสามารถไหลออกผ่านอุปกรณ์แยกเฟสไปยังวาล์วควบคุมอัตราส่วนป้อนกลับ (หมายเลข 12) ซึ่งเป็นวาล์วโซลินอยด์ 3 ทาง การควบคุมทำโดยตั้งเวลาการสวิทช์เพื่อให้สารที่ได้จากการควบแน่นป้อนกลับไปยังยอดหอหรือออกไปสู่ภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ (หมายเลข 10) สารที่ถูกป้อนกลับไปยังยอดหอจะไหลผ่าน U-seal โดยที่มีวาล์ว V3 ใช้วัดอัตราการเดือด (Boiling-Up Rate) หรือใช้ระบายสารออกจาก U-seal สำหรับในกรณีการกลั่นแบบคงจุดเดือด จะปิดวาล์ว V10 สารในอุปกรณ์รับน้ำออกจะไหลผ่านได้เฉพาะท่อ Overflow (หมายเลข 25) และท่อ Underflow



รูปที่ 4.1 หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม
ของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC



รูปที่ 4.2 แผนภาพอย่างง่ายของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม
ของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC

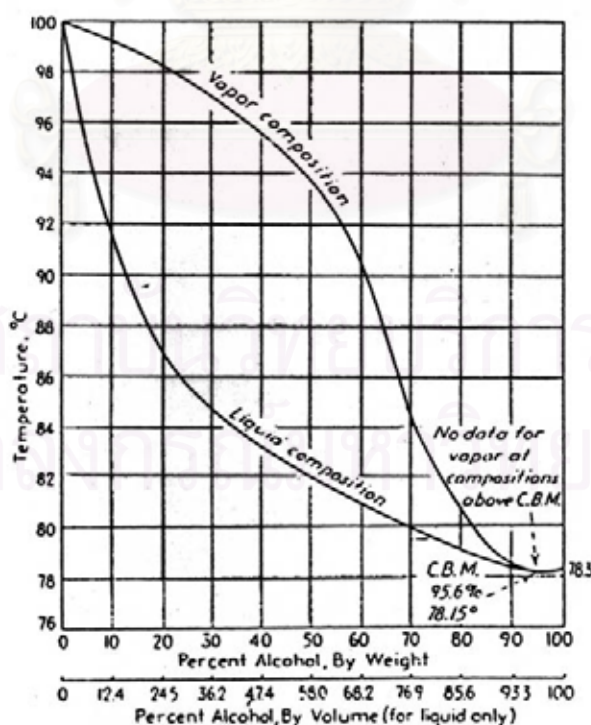
(หมายเลข 26) ซึ่งอยู่ภายในอุปกรณ์รีนน้ำออก นอกจากนี้สารในภาชนะบรรจุสารผลิตภัณฑ์ยอดหอก็สามารถนำกลับมาต้มซ้ำในหม้อต้มซ้ำ (หมายเลข 13) ใหม่ได้โดยการเปิดวาล์ว V12

การวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆภายในระบบทำได้โดยใช้คู่ควบคุมความร้อน (Thermocouple) ซึ่งติดตั้งไว้ด้วยกัน 14 ตำแหน่ง (T1-T14) ได้แก่ T1-T8 ติดตั้งภายในตัวหอกลั่นเพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลวในแต่ละชั้น ส่วน T9-T14 ติดตั้งที่หม้อต้มซ้ำ ทางเข้าและทางออกของเครื่องควบแน่น ตำแหน่งป้อนสารกลับยอดหอ และตำแหน่งป้อนสารเข้าหอ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอีก 3 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิได้ แต่ไม่มีคู่ควบคุมความร้อนติดตั้งอยู่ ถ้าต้องการวัดอุณหภูมิก็สามารถทำได้โดยถอดคู่ควบคุมความร้อนที่ตำแหน่งอื่นมาใส่ ณ

ตำแหน่งที่ต้องการวัด ส่วนในการวัดความดันตกคร่อมท่อกลั่น (Pressure Drop) สามารถวัดได้จากมาตรวัดความดันของไหลรูปตัว U (Manometer) (ΔP) โดยการเปิดวาล์ว V6 และ V7 ตามลำดับ เมื่ออ่านค่าเสร็จแล้วจึงปิดวาล์ว V6 และ V7 ตามลำดับ ลำดับการเปิดและปิดวาล์วทั้งสองเช่นนี้จะทำให้ไม่มีฟองอากาศจากภายในท่อกลั่นเข้ามายังมาตรวัดความดันของไหล การอ่านค่าจะได้ไม่ผิดพลาดมากนัก

ระบบควบคุมการทำงานของท่อกลั่นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมนี้เป็นระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถสั่งงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่อ่านค่าอุณหภูมิแล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งต่อไปยังโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าสัญญาณควบคุม จากนั้นอุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่แปลงค่าสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณแอนะล็อกแล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์การควบคุมสุดท้ายได้แก่ หม้อต้มซ้ำ วาล์วป้อนกลับสารยอดหอ และมอเตอร์สูบลมให้ทำตามคำสั่งนั้น

ในวิทยานิพนธ์นี้เราเลือกสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำเพื่อใช้ในการกลั่นแยก สาเหตุที่เลือกใช้เอทานอลเพราะสามารถหาได้ง่าย เป็นสารที่ไม่มีอันตรายมาก และสามารถนำมาทดลองกลั่นแยกได้โดยใช้ท่อกลั่นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมได้ ในการกำหนดจุดทำงานสำหรับการกลั่นแยกสารผสมเอทานอลกับน้ำนั้น สามารถทำได้โดยพิจารณาจากแผนภาพจุดเดือด (Boiling Point Diagram) ของสารผสมเอทานอลกับน้ำ ดังรูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดันบรรยากาศ (101 kPa) ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดจุดทำงานตามข้อมูลในตารางที่ 4.1

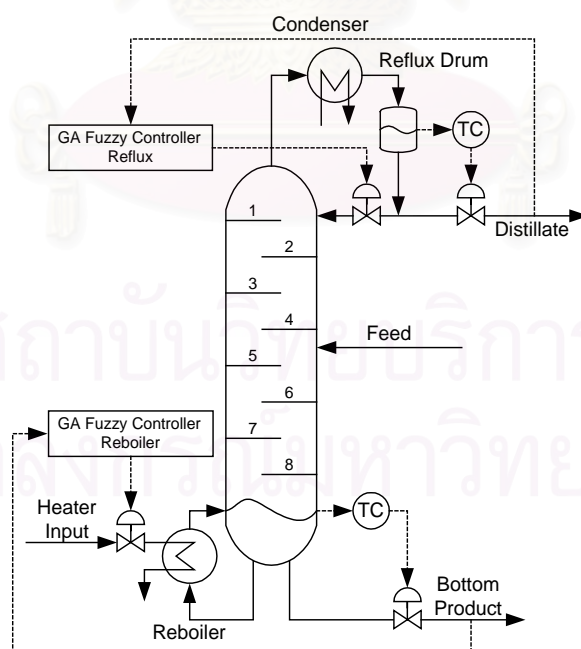


รูปที่ 4.3 แผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลกับน้ำที่ความดันบรรยากาศ

วัตถุประสงค์ในการควบคุมหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดนี้คือควบคุมความเข้มข้นของเอทานอลที่ ยอดหอให้อยู่ที่ 93% โดยปริมาตร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอ แต่การวัดความเข้มข้นของเอทานอลเพื่อใช้ในการป้อนกลับต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการวิเคราะห์ความเข้มข้น และต้องใช้ เวลาในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สะดวกในการควบคุม จากแผนภาพจุดเดือดของสารผสมเอทานอลและน้ำ (รูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของเอทานอลมีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของเอทานอลที่ความดันคงที่ ดังนั้นหากภายในหอกลั่นมีความดันคงที่แล้วการควบคุมอุณหภูมิของเอทานอลก็เป็น การควบคุมความเข้มข้นของเอทานอลโดยอ้อมด้วย การใช้อุณหภูมิของเอทานอลในการป้อนกลับเพื่อควบคุมความเข้มข้นของเอทานอลจึงเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดกว่ามาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้การ ควบคุมอุณหภูมิของเอทานอลเพื่อเป็นการควบคุมความเข้มข้นของเอทานอล โดยมีโครงสร้างของระบบ ควบคุมดังรูปที่ 4.4

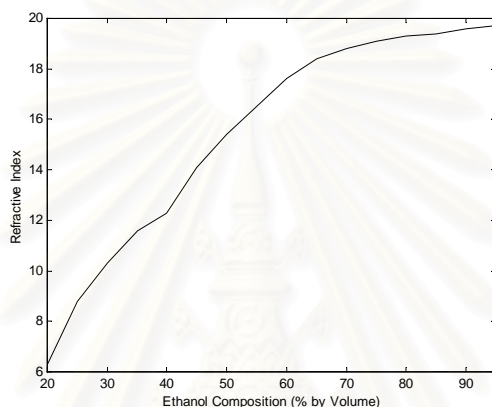
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจุดทำงานที่กำหนดขึ้น

	สารที่ชั้นยอดหอ	สารที่ป้อนเข้าหอ	สารที่ชั้นฐานหอ
ความเข้มข้นของเอทานอล (% โดยปริมาตร)	93	70	10
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	78.5	70	84
อัตราการไหล (มิลลิลิตร/นาที)	5	40	35



รูปที่ 4.4 โครงสร้างการควบคุมหอกลั่น

อย่างไรก็ตาม เราสามารถวัดความเข้มข้นของเอทานอลได้โดยใช้มาตรวัดดัชนีหักเห (Refractometer) ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าสารที่มีความเข้มข้นต่างกันจะมีดัชนีหักเหของแสงต่างกัน จากการทดลองเราสามารถหาลักษณะสมบัติของมาตรวัดดัชนีหักเหต่อความเข้มข้นของเอทานอลได้ดังรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าลักษณะสมบัติของมาตรวัดดัชนีหักเหนี้เป็นแบบไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตามมาตรวัดดัชนีหักเหนี้ไม่สามารถวัดค่าได้ละเอียดแม่นยำนัก แต่เราก็จำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของเอทานอลเพื่อใช้ในการปรับตั้งความเข้มข้นเริ่มต้นของสารผสมในหม้อต้มข้าวและความเข้มข้นของสารผสมที่ใช้ป้อนเข้าหอในการทดลองแต่ละการทดลอง และใช้วัดความเข้มข้นของเอทานอลที่กลั่นได้



รูปที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของมาตรวัดดัชนีหักเหต่อค่าความเข้มข้นของเอทานอล

4.2 ผลการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด และผลการควบคุมระบบ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ใช้ในการจำลองระบบ ดังนี้

- $e(kh) \in [-5,5]$ และ $\Delta e(kh) \in [-60,60]$
- $K_p \in [0,20]$ และ $K_I \in [0,4]$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ใน GAs ดังนี้

- ความยาวของโครโมโซม

1. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณเข้า

- $r_{ei} \in [1.25,5]$, $i = 1,2,\dots,5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ดังนั้นใช้ความยาว 12 บิต/พารามิเตอร์
- $r_{\Delta ei} \in [15,60]$, $i = 1,2,\dots,5$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ดังนั้นใช้ความยาว 9 บิต/พารามิเตอร์

2. พารามิเตอร์ในส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของสัญญาณออก

- $q_{K_p S}, q_{K_p B}, q_{K_i S}, q_{K_i B} \in [0.5, 1]$ ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นใช้ความยาว 6 บิต/พารามิเตอร์

3. พารามิเตอร์ในส่วนฐานกฎ

- $l_{K_p i}, l_{K_i i}, i = 1, 2, \dots, 25$ ใช้ความยาว 1 บิต/พารามิเตอร์

ดังนั้นความยาวของโครโมโซม 1 ตัว = $12 \cdot 5 + 9 \cdot 5 + 6 \cdot 4 + 25 + 25 = 179$ บิต

- จำนวนประชากร

ในที่นี้ใช้จำนวนประชากร 11 ตัว

- จำนวนรุ่น

ในที่นี้ใช้จำนวนรุ่น 15 รุ่น เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดค้นหา

- ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน (p_c) และการกลายพันธุ์ (p_m)

เนื่องจากใช้จำนวนประชากรไม่เกิน 30 ตัว ดังนั้นจะเลือกใช้ $p_c = 0.9$, $p_m = 0.01$

นอกจากนี้ในการใช้ GAs จะทำในกรณีที่มีการประกันว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นถัดไปจะไม่ต่ำกว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดในรุ่นปัจจุบัน และเลือกฟังก์ชัน Fitness (F) สำหรับระบบหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดดังสมการ

$$F = \left(\frac{100}{J} \right)^5 \quad (4.1)$$

โดยที่ J คือฟังก์ชันจุดประสงค์ตามสมการ (2.16)

กรณีศึกษา

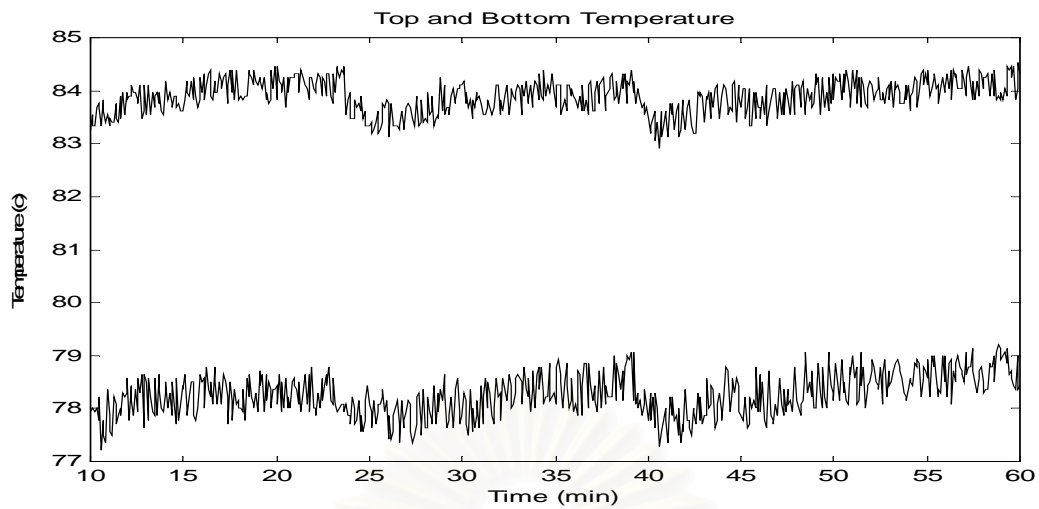
การทดลอง	การควบคุมในวงรอบยอดหอ	การควบคุมในวงรอบฐานหอ
1	ใช้ตัวควบคุม PI	ใช้ตัวควบคุม PI
2	ใช้ตัวควบคุมแบบก้ำกับลูแลด้วย ตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุม PI
3	ใช้ตัวควบคุม PI	ใช้ตัวควบคุมแบบก้ำกับลูแลด้วย ตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด
4	ใช้ตัวควบคุมแบบก้ำกับลูแลด้วย ตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุมแบบก้ำกับลูแลด้วย ตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด

ในการศึกษานี้กำหนดให้สารตั้งต้นในหม้อต้มซ้ำมีความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร (ดัชนีหักเหเท่ากับ 8.8 จากรูปที่ 4.4) สารที่ป้อนเข้ากลางหอยมีความเข้มข้น 70% โดยปริมาตร (ดัชนีหักเหเท่ากับ 18.8) อัตราการป้อนเข้าสารที่กลางหอยที่ภาวะปกติเป็น 40 มิลลิลิตร/นาทิจึงมีการรบกวนระบบโดยเพิ่มการป้อนเข้าสารที่กลางหอยที่เวลา 20 นาที เป็น 50 มิลลิลิตร/นาทิจึงที่เวลา 40 นาที ก็ลดการป้อนสารลงมาสู่ค่าปกติ และกำหนดให้ค่ากำหนดอุณหภูมิที่ชั้นยอดหอย (T1) คือ 78.5 องศาเซลเซียสค่ากำหนดอุณหภูมิที่ชั้นฐานหอย (T8) คือ 84 องศาเซลเซียส

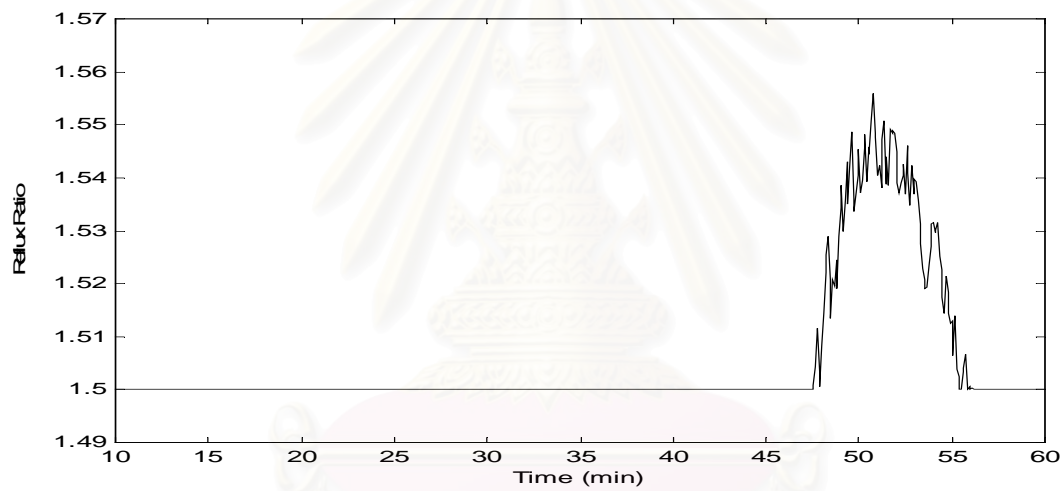
การทดลองที่ 1

การทดลองนี้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมวงรอบยอดหอยและฐานหอย โดยกำหนดพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ในวงรอบยอดหอยมีค่า $K_p = 2$ และ $K_i = 0.5$ พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ในวงรอบฐานหอยมีค่า $K_p = 2$ และ $K_i = 3.7$ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.8

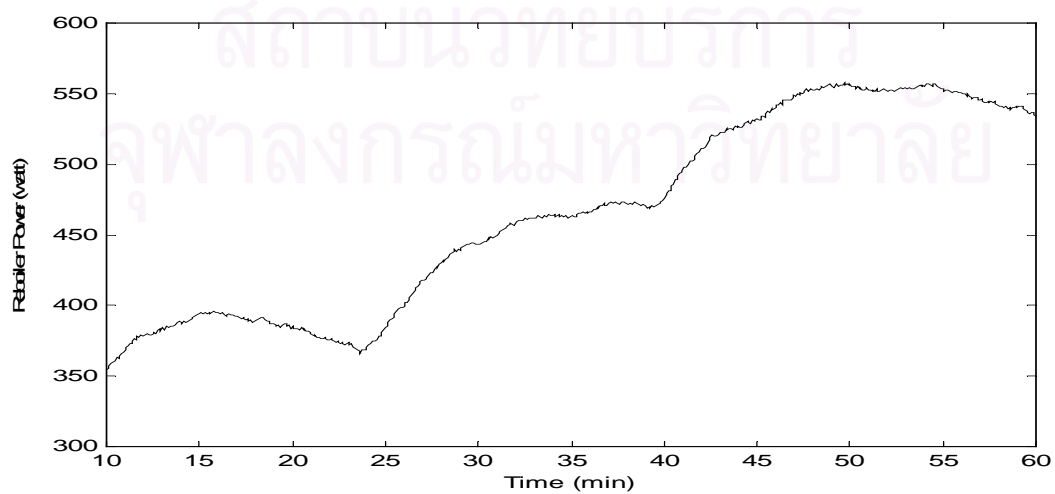
จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.6) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุม PI สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหอยและฐานหอยให้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำหนดได้ และเมื่อมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น ตัวควบคุม PI ก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหอยและที่ฐานหอยได้ดีพอสมควร โดยอุณหภูมิที่ยอดหอยและฐานหอยจะตกลงเล็กน้อย ณ เวลาที่มีการเพิ่มและลดการป้อนสารเข้าที่กลางหอย (จริงๆแล้วเมื่อมีการลดการป้อนสารเข้าที่กลางหอย อุณหภูมิควรจะเพิ่มขึ้นมากกว่าลดลง แต่สาเหตุที่อุณหภูมิตกลงเนื่องจากวาล์วลดความดันที่อยู่ตอนบนของเครื่องควบแน่นเปิดออก) จากนั้นอุณหภูมิที่ยอดหอยและฐานหอยจะกลับเข้าสู่ค่ากำหนด



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 1



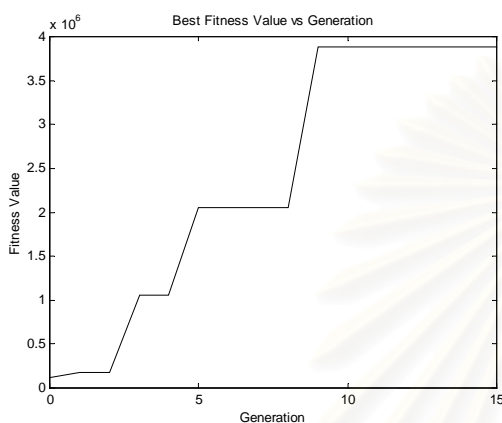
รูปที่ 4.7 อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 1



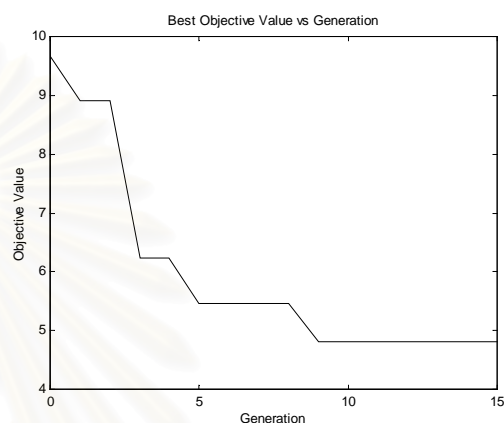
รูปที่ 4.8 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

การทดลองนี้ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแควด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอหด และใช้ตัวควบคุม PI ตามการทดลองที่ 1 ในการควบคุมวงรอบฐานหอ ผลการใช้ GAs เพื่อหาตัวควบคุมที่ยอดหดดังแสดงในรูปที่ 4.9-4.10



รูปที่ 4.9 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 2



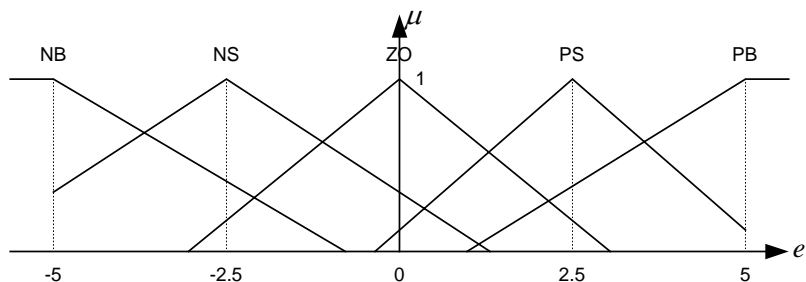
รูปที่ 4.10 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 2

จากรูปที่ 4.9 เนื่องจากการประกัณฯ ดังนั้นค่า Fitness ที่ดีที่สุดจะอยู่ในรุ่นสุดท้าย เราจะนำค่านี้มาถอดรหัสเป็นค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับวงรอบยอหดได้ดังรูปที่ 4.11-4.16 จากนั้นทำการควบคุม ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.17-4.19

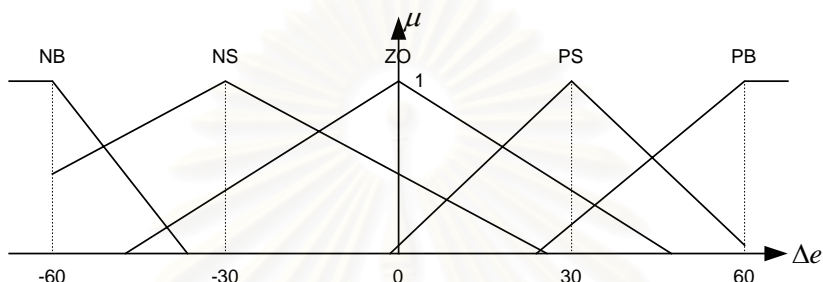
จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.17) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบกำกับลูแควด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหดได้เป็นที่น่าพอใจ ในขณะที่ตัวควบคุม PI ก็สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ฐานหอให้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำหนดได้ และเมื่อมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น ตัวควบคุมแบบกำกับลูแควด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหดได้ โดยไม่ค่อยเห็นผลการเปลี่ยนของอุณหภูมิ ณ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงการป้อนสารเข้าที่กลางหอ ในขณะที่ตัวควบคุม PI ก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ฐานหอได้ดีพอสมควร โดยอุณหภูมิที่ฐานหอจะลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ณ เวลาที่มีการเพิ่มและลดการป้อนสารเข้าที่กลางหอตามลำดับ และจากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ฐานหอลดลงเมื่อมีการเพิ่มการป้อนสารเข้าที่กลางหอ อุณหภูมิไม่ได้กลับเข้าสู่ค่ากำหนด

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.6) จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแควด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอหดให้ผลการควบคุมดีกว่าตัวควบคุม PI

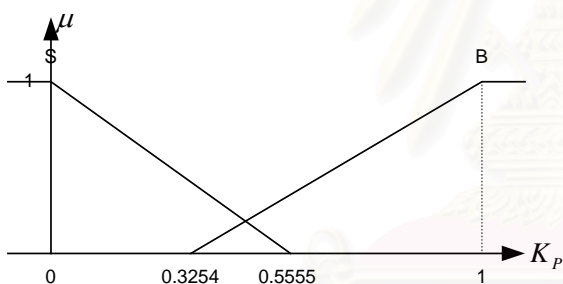
รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i ของตัวควบคุมที่วงรอบยอหดตามลำดับ



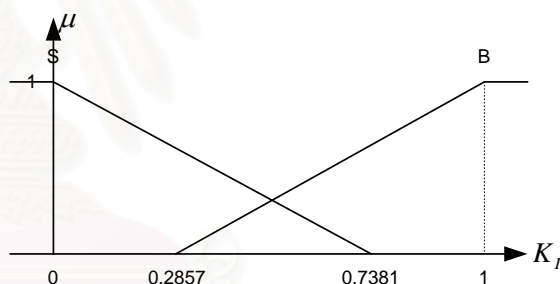
รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2



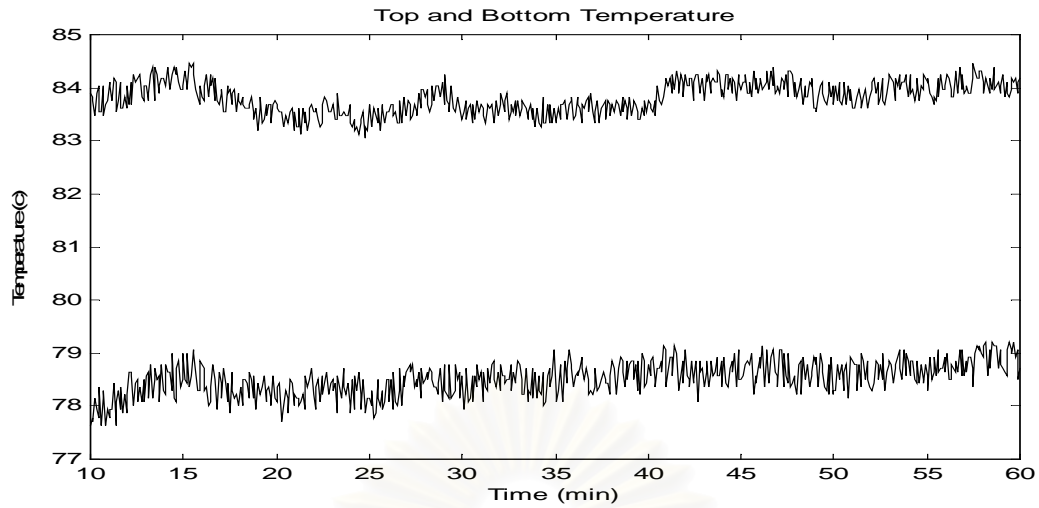
รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	B	S	B	S	B
	NS	B	S	B	B	B
	ZO	S	B	S	B	B
	PS	B	B	B	S	B
	PB	S	S	S	B	S

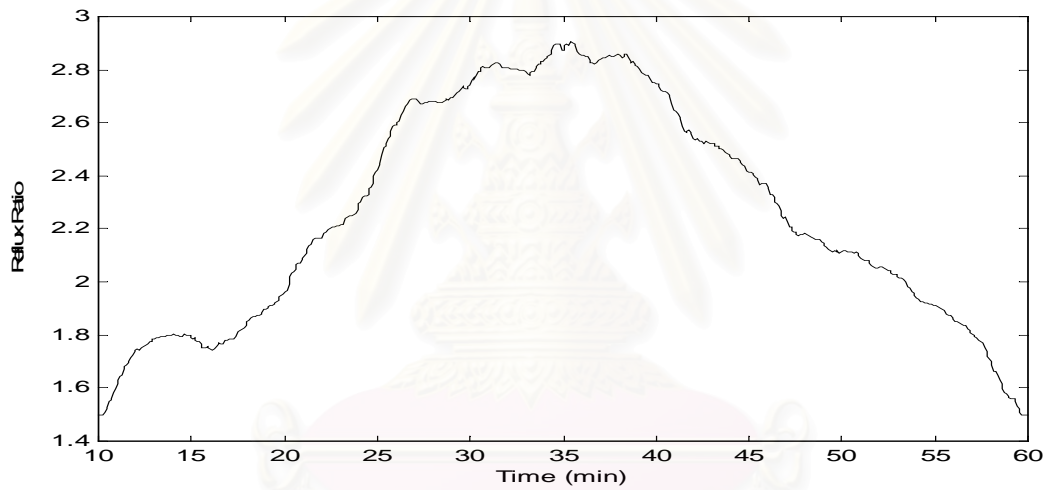
รูปที่ 4.15 ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	S	B	S	S
	NS	S	B	S	S	S
	ZO	S	S	S	B	S
	PS	B	S	S	S	S
	PB	S	B	B	B	B

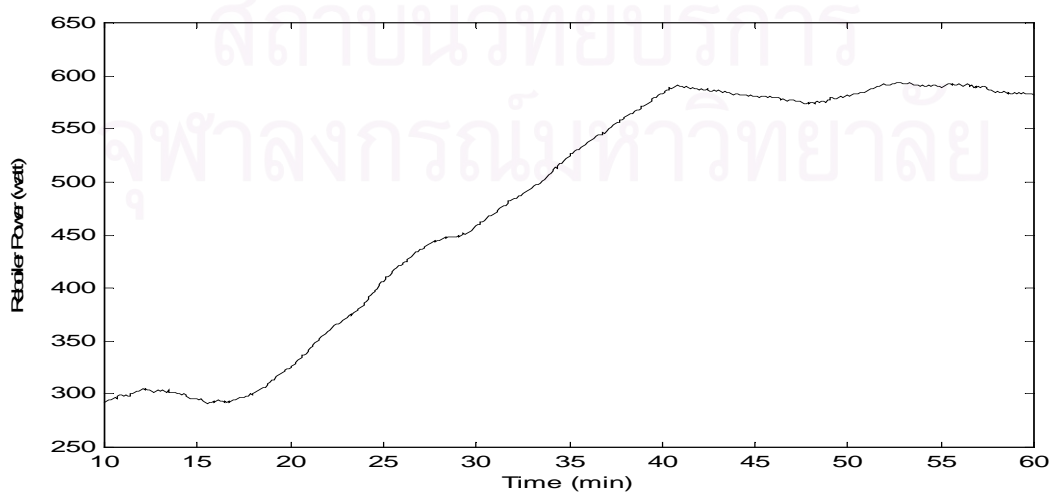
รูปที่ 4.16 ฐานกฎของ K_i สำหรับวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2



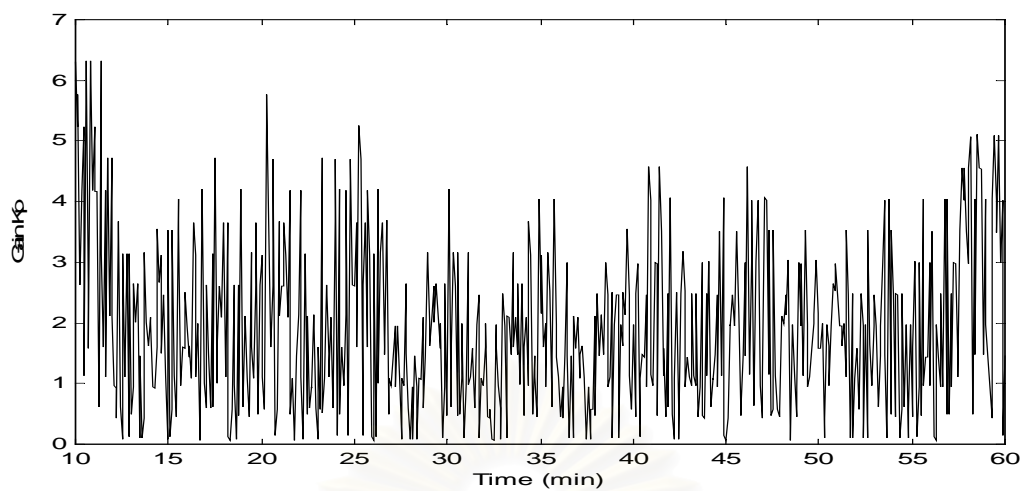
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 2



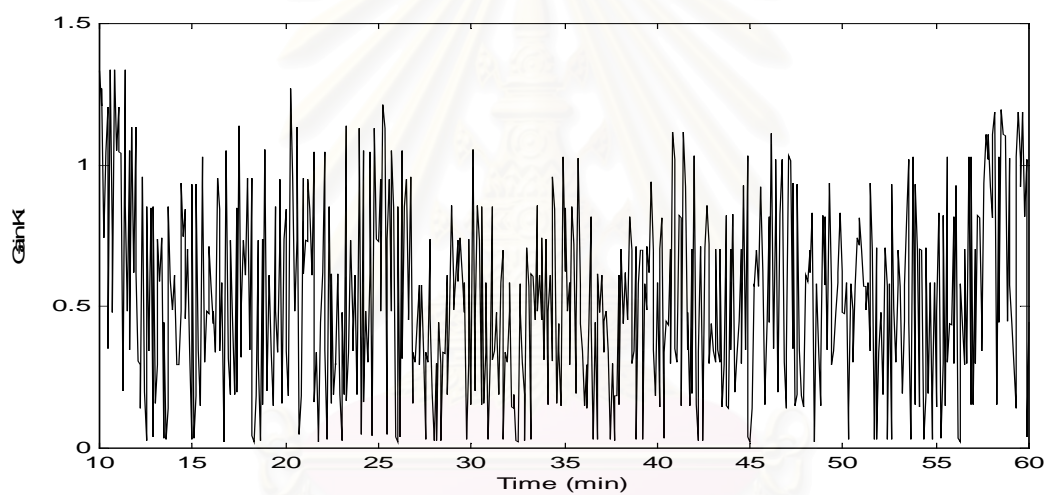
รูปที่ 4.18 อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.19 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2

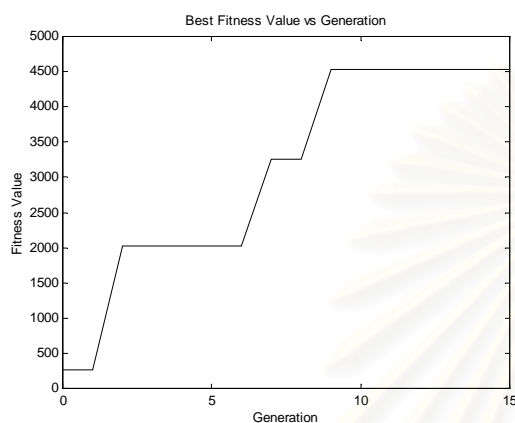


รูปที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ K , ของวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 2

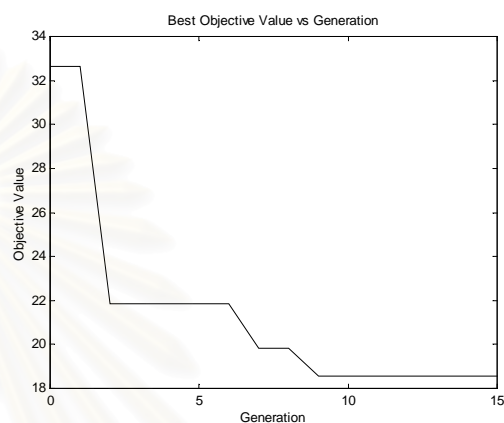
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 3

การทดลองนี้ใช้ตัวควบคุม PI ตามการทดลองที่ 1 ในการควบคุมวงรอบยอหด และใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบฐานห่อ ผลการใช้ GAs เพื่อหาตัวควบคุมพื้นฐานห่อดังแสดงในรูปที่ 4.22-4.23



รูปที่ 4.22 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 3



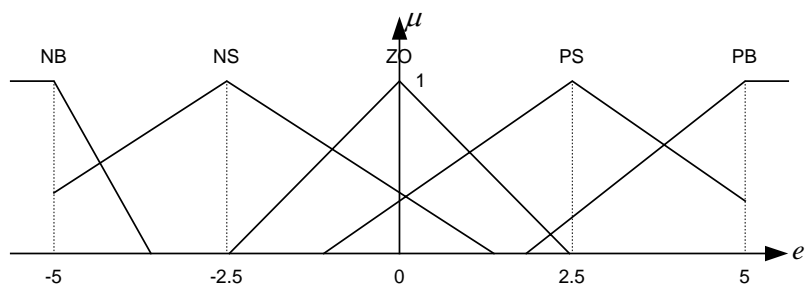
รูปที่ 4.23 ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นในการทดลองที่ 3

จากรูปที่ 4.22 เนื่องจากมีการประกันฯ ดังนั้นค่า Fitness ที่ดีที่สุดจะอยู่ในรุ่นสุดท้าย เราจะนำค่านี้มาถอดรหัสเป็นค่าฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎสำหรับวงรอบฐานห่อได้ดังรูปที่ 4.24-4.29 จากนั้นจึงควบคุม ผลการทดลองเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.30-4.32

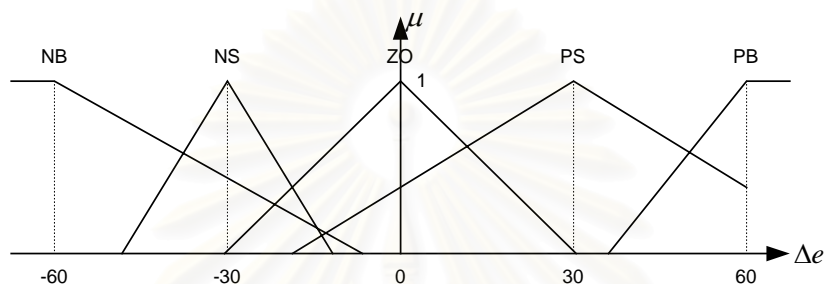
จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.30) จะเห็นได้ว่าตัวควบคุม PI สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอหดให้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำหนดได้ ในขณะที่ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ฐานห่อได้เป็นที่น่าพอใจ และเมื่อมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น ตัวควบคุม PI ก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอหดได้ดีพอสมควร โดยมีการแกว่งของอุณหภูมิเล็กน้อย ในขณะที่ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ฐานห่อได้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลการเปลี่ยนของอุณหภูมิ ณ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงการป้อนสารเข้าที่กลางห่อ

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.6) จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบฐานห่อให้ผลการควบคุมดีกว่าตัวควบคุม PI

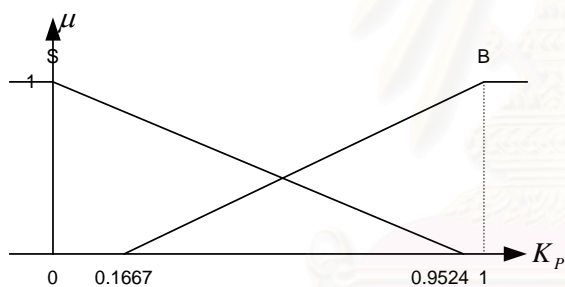
รูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i ของตัวควบคุมที่วงรอบฐานห่อ ตามลำดับ



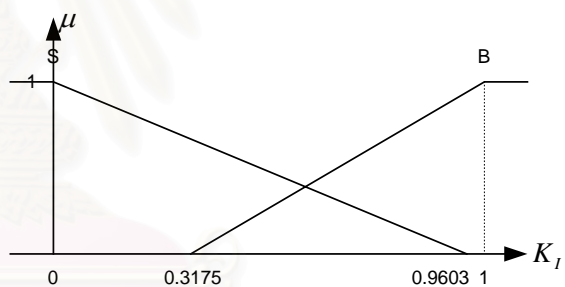
รูปที่ 4.24 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.25 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ $\Delta e(kh)$ สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.26 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_p สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3



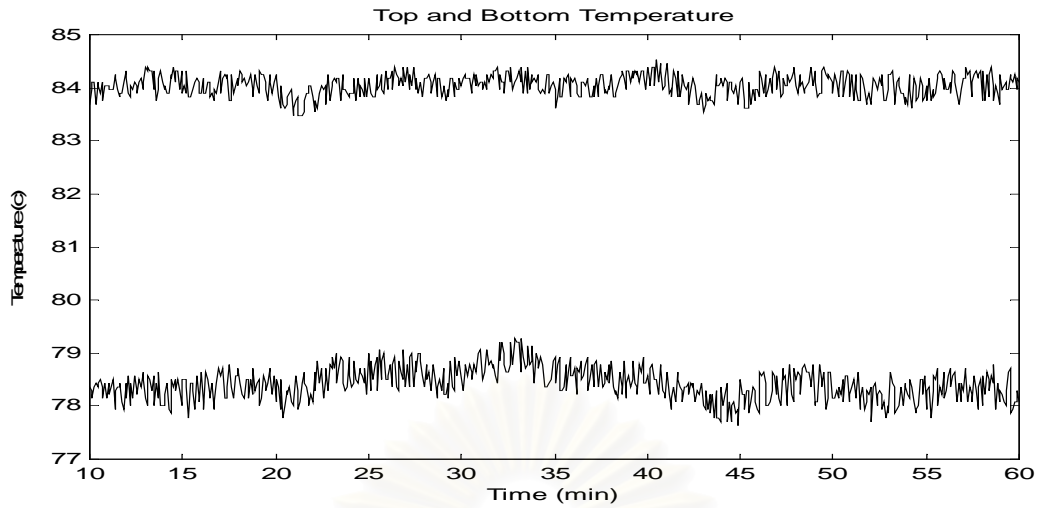
รูปที่ 4.27 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_i สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	B	S	B	S
	NS	S	B	B	S	B
	ZO	B	S	S	B	B
	PS	S	S	S	S	B
	PS	S	S	S	S	B
	PB	S	B	B	S	S

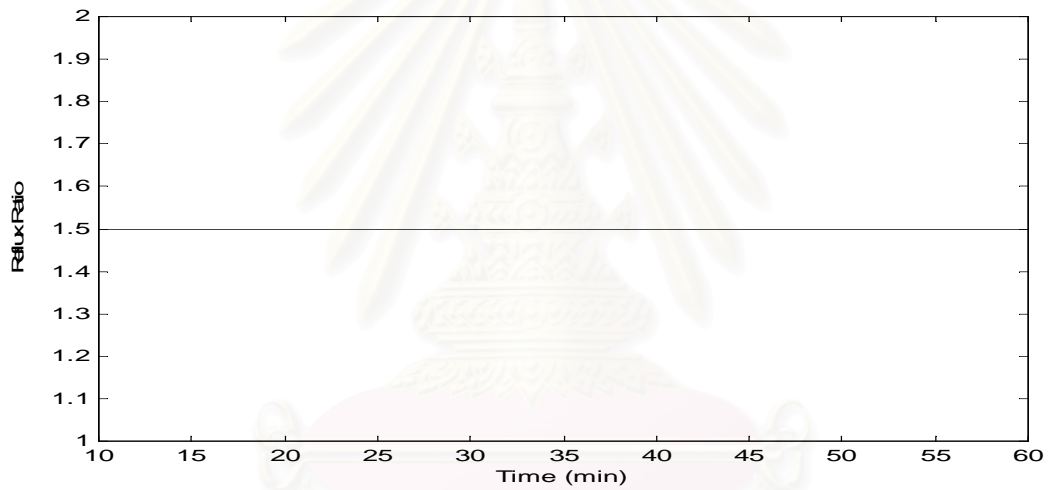
รูปที่ 4.28 ฐานกฎของ K_p สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3

		$\Delta e(kh)$				
		NB	NS	ZO	PS	PB
$\Delta e(kh)$	NB	S	S	S	B	S
	NS	S	B	B	S	S
	ZO	B	S	B	S	S
	PS	B	B	B	S	S
	PS	B	B	B	S	S
	PB	B	S	S	B	S

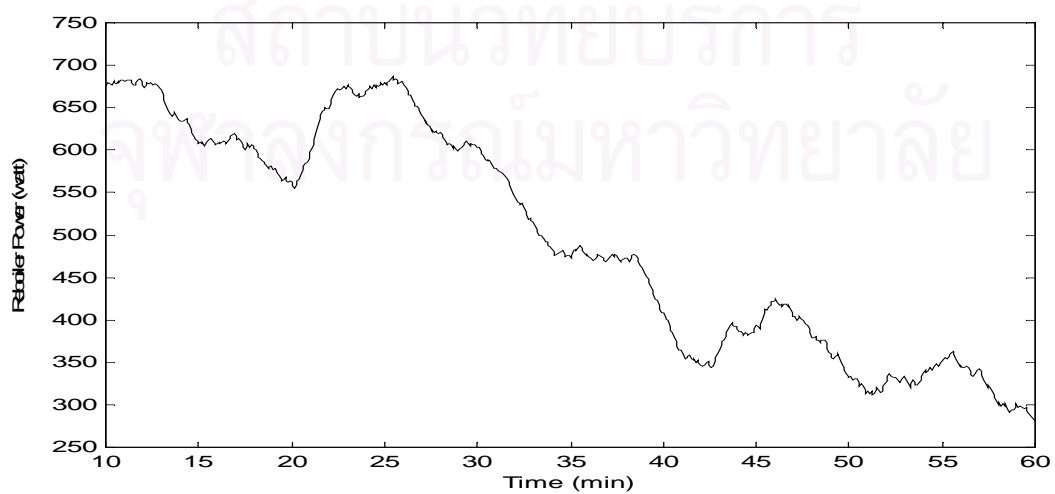
รูปที่ 4.29 ฐานกฎของ K_i สำหรับวงรอบฐานห่อในการทดลองที่ 3



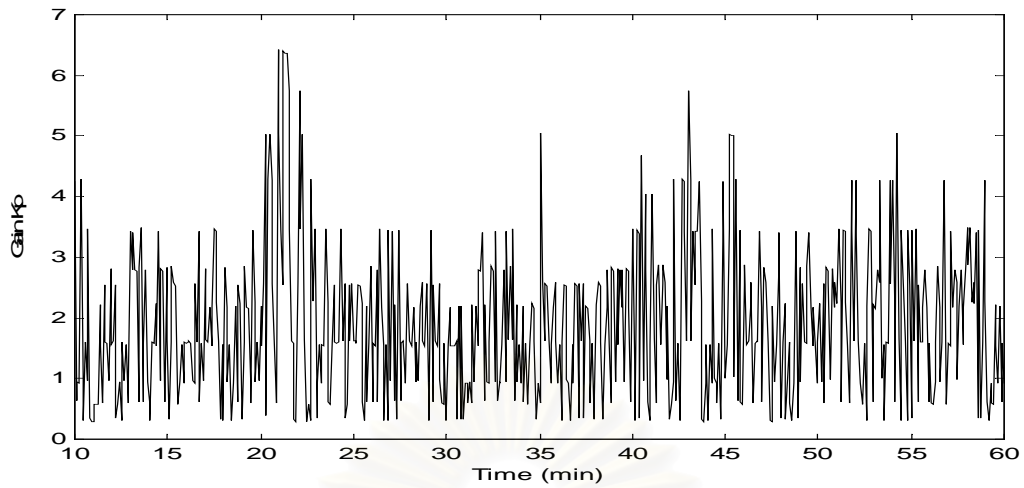
รูปที่ 4.30 อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 3



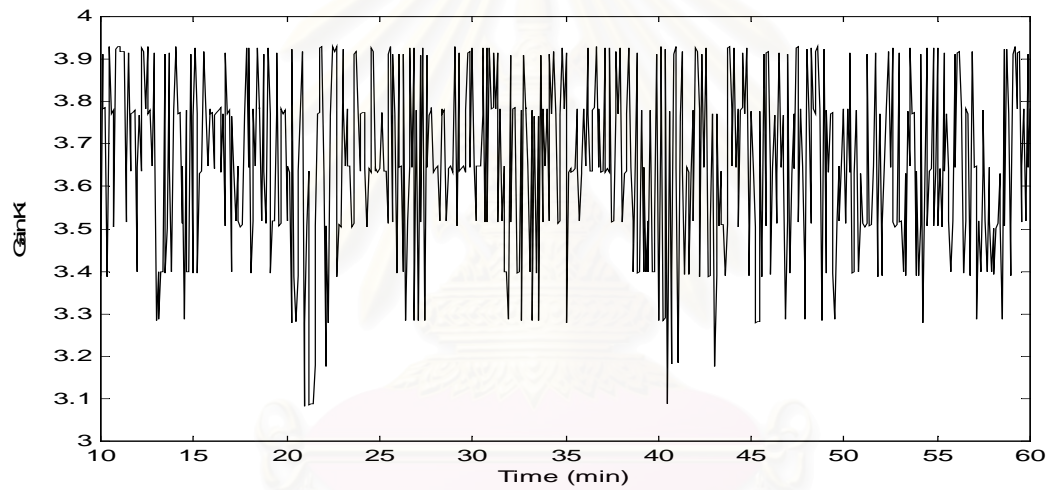
รูปที่ 4.31 อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.32 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.33 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.34 ค่าพารามิเตอร์ K , ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

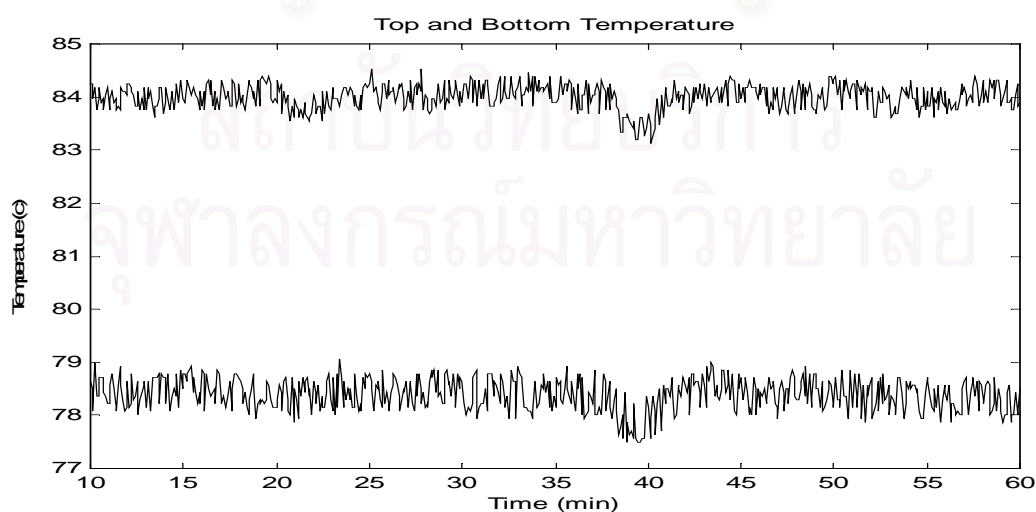
การทดลองที่ 4

การทดลองนี้ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอดหอและฐานหอ โดยที่วงรอบยอดหอใช้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎดังรูปที่ 4.11-4.16 และวงรอบฐานหอใช้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎดังรูปที่ 4.24-4.29 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.35-4.37

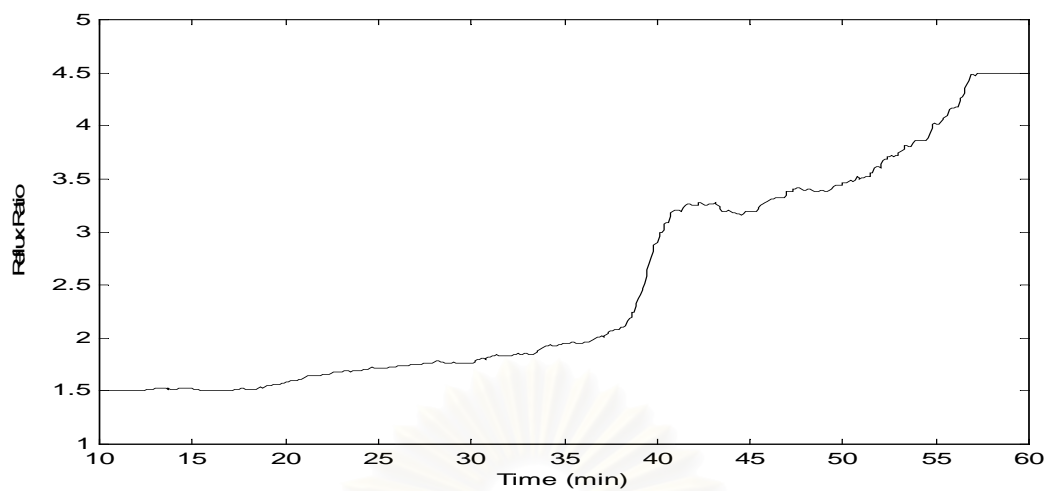
จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.35) จะเห็นว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหอและฐานหอได้เป็นที่น่าพอใจ และเมื่อมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหอได้ โดยไม่ค่อยเห็นผลการเปลี่ยนของอุณหภูมิ ณ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงการป้อนสารเข้าที่กลางหอ (แต่ ณ เวลาก่อนที่มีการลดการป้อนสารเข้าที่กลางหอ วัลวลความดันเกิดเปิดออก จึงทำให้อุณหภูมิที่ยอดหอและที่ฐานหอลดลง)

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.6) จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมวงรอบยอดหอและฐานหอให้ผลการควบคุมดีกว่าตัวควบคุม PI และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 2 และ 3 (รูปที่ 4.17 และ 4.30 ตามลำดับ) จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมทั้งสองวงรอบให้ผลการควบคุมดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมเพียงวงรอบเดียว โดยใช้พลังงานที่หม้อต้มซ้ำที่ต่ำกว่าเล็กน้อยด้วย

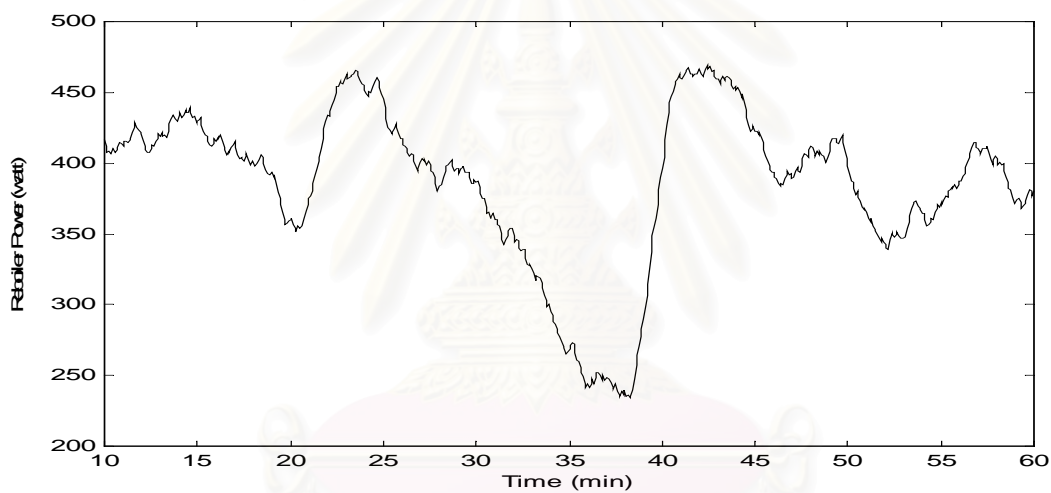
รูปที่ 4.38 และ 4.39 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_I ของตัวควบคุมที่วงรอบยอดหอ ตามลำดับ รูปที่ 4.40 และ 4.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_I ของตัวควบคุมที่วงรอบฐานหอ ตามลำดับ



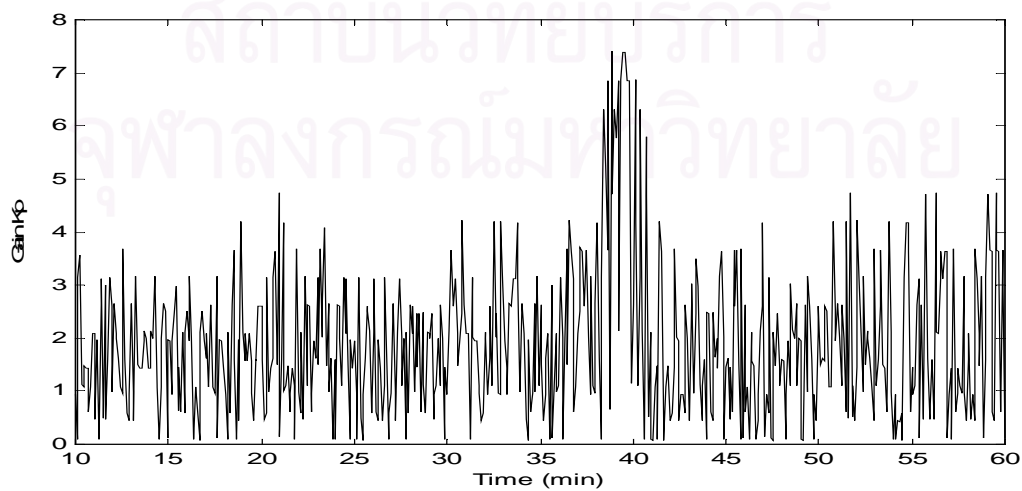
รูปที่ 4.35 อุณหภูมิที่ชั้นยอดหอ (T1) และชั้นฐานหอ (T8) ในการทดลองที่ 4



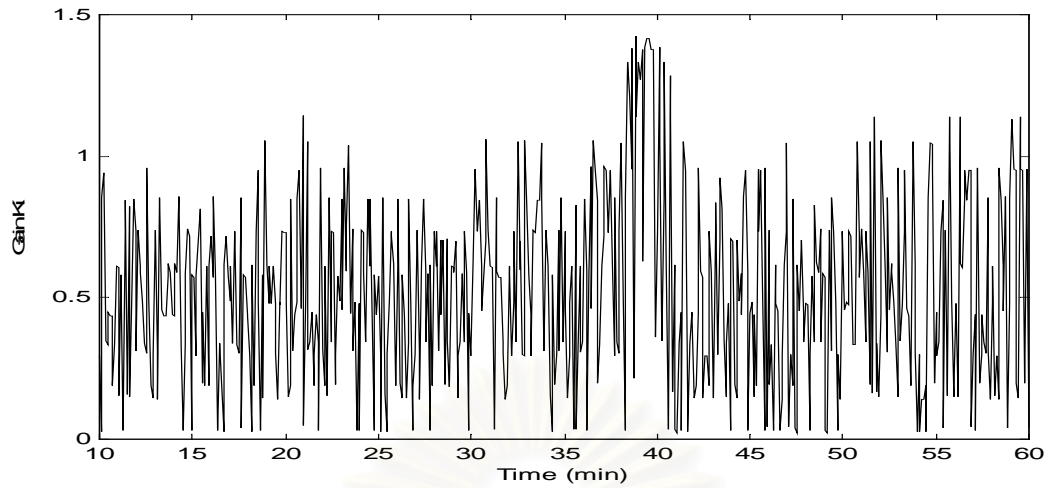
รูปที่ 4.36 อัตราส่วนป้อนกลับสารที่ยอดหอในการทดลองที่ 4



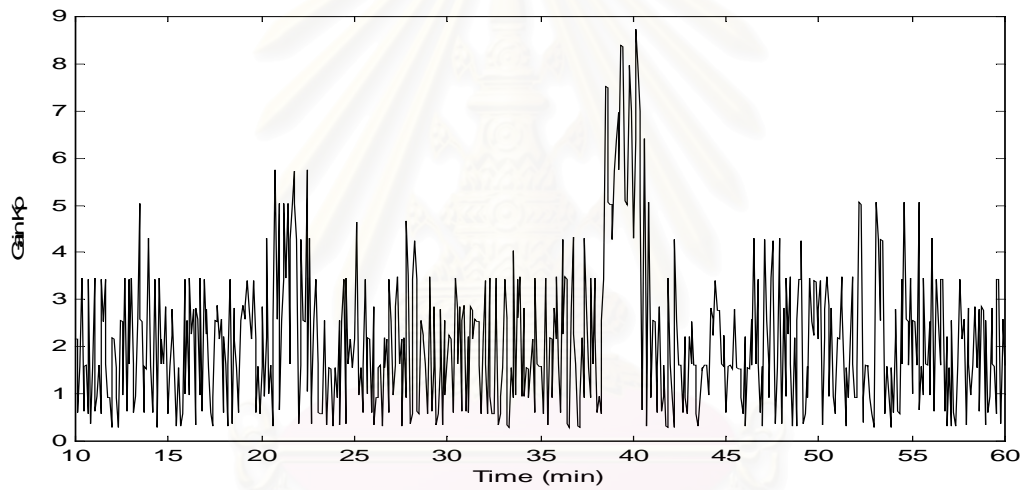
รูปที่ 4.37 พลังงานที่หม้อต้มซ้ำในการทดลองที่ 4



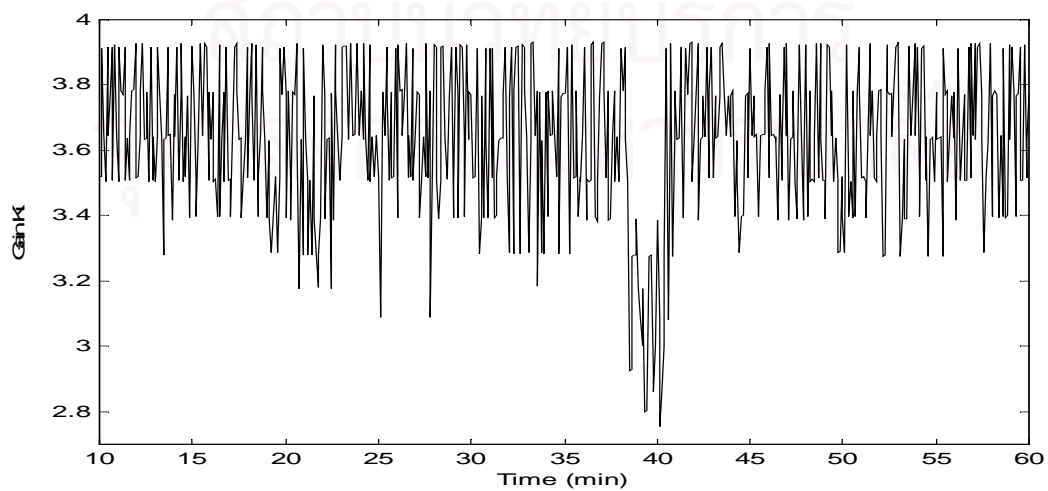
รูปที่ 4.38 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบยอดหอในการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.39 ค่าพารามิเตอร์ K_i ของวงรอบขอดหอในการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.40 ค่าพารามิเตอร์ K_p ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.41 ค่าพารามิเตอร์ K_d ของวงรอบฐานหอในการทดลองที่ 4

4.3 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ผลการออกแบบโดยใช้ GAs พบว่าสามารถหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมที่ยอดหอและฐานหอได้ เมื่อได้ตัวควบคุมแล้วก็นำไปทดลองควบคุมระบบ ผลการทดลองทั้ง 4 กรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสามารถควบคุมอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอและฐานหอได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอ และให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมอุณหภูมิของทั้งสองวงรอบ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ของทั้งสองวงรอบแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดที่สภาวะอยู่ตัว นอกจากนี้การใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมอุณหภูมิทั้งสองวงรอบจะให้ผลการควบคุมดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดเพียงวงรอบเดียว ขณะที่ใช้พลังงานที่หม้อต้มซ้ำต่ำกว่าอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยใช้ตัวควบคุม PI เป็นตัวควบคุมหลักทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ของหอกลิ้นโดยตรง และใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI อีกที อย่างไรก็ตาม การหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับหอกลิ้นต้องอาศัยเวลาและความชำนาญ ดังนั้นจึงนำ GAs มาเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับหอกลิ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า GAs สามารถหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมได้ ซึ่งทำให้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสามารถควบคุมอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอกและฐานหอกได้เป็นที่น่าพอใจเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอก และให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมอุณหภูมิของทั้งสองวงรอบ อีกทั้งการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมอุณหภูมิทั้งสองวงรอบก็จะให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดเพียงวงรอบเดียว

ตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดได้รวมข้อดีของตัวควบคุม PI มาใช้ นั่นคือมีโครงสร้างตัวควบคุมที่ง่ายต่อการเข้าใจ และสามารถชดเชยข้อเสียของตัวควบคุม PI ก็ไม่ต้องปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ด้วยตัวเอง เพราะใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นตัวกำกับลูแด้การปรับจูน อีกทั้งการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI ยังเป็นแบบ On-Line ทำให้การสร้างสัญญาณควบคุมมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวควบคุม PI เช่น ใช้สัญญาณควบคุมเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อมีความจำเป็นเท่านั้น นอกจากนี้การออกแบบตัวควบคุมแบบกำกับลูแด้ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดไม่จำเป็นต้องทราบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอีกด้วย

ในส่วนของการใช้ GAs เพื่อหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุดนั้นมีข้อดีคือเราไม่ต้องลองผิดลองถูกเพื่อปรับจูนรูปร่างฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาเพื่อปรับจูนเอง อีกทั้งผู้ที่ใช้วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องอาศัยความชำนาญหรือประสบการณ์เกี่ยวกับระบบที่ต้องการควบคุมมากนัก แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจไม่เหมาะสมกับระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่นาน เพราะเวลาที่ใช้ในการหาค่า Fitness ของโครโมโซมแต่ละตัวจะเท่ากับเวลาที่ผลตอบของระบบเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการรบกวน

ระบบจนกระทั่งผลตอบของระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัว ซึ่งในการทำ GAs แต่ละครั้งจะมีจำนวนรุ่นหลายรุ่น และแต่ละรุ่นก็ยังมีโครโมโซมหลายตัว ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการค้นหาอาจนำเทคนิคอื่นๆมาประยุกต์ใช้กับ ตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีเพื่อหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม เช่น โครงข่ายระบบประสาท [22,23] หรือ Simulated Annealing (SA) [27-30] เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Wassick, J. M.; and Tummala, R. L. Multivariable internal model control for a full-scale industrial distillation column. IEEE Control Systems Magazine Vol. 9 No. 1 (January 1989): 91-96.
- [2] Machacek, J.; and Kotyk, J. Adaptive decoupling control of distillation column. Proc. of the Third IEEE Conf. Control Applications Vol. 1 (1994): 263-268.
- [3] Zhou, C.; Whiteley, J. R.; Misawa, E. A.; and Gasem, K. A. M. Application of enhanced LQG/LTR for distillation control. IEEE Control Systems Magazine Vol. 15 4 (August 1995): 56-63.
- [4] Wood, R. K.; and Berry, M. W. Terminal composition control of a binary distillation column. Chem. Eng. Sci Vol. 28 (September 1973): 1707-1717.
- [5] Haggblom, K. E.; and Waller, K. V. Control structures, consistency, and transformations. In W. L. Luyben (ed.), Practical distillation control, pp. 192-197. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [6] Hokanson, D. A.; and Gerstle, J. G. Dynamic matrix control multivariable controller. In W. L. Luyben (ed.), Practical distillation control, pp. 253. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [7] Zadeh, L. A. Fuzzy sets. Information and Control Vol. 8 (1965): 338-353.
- [8] Mamdani, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proc. IEE Vol. 121 No. 12 (1974): 1585-1588.
- [9] Holmblad, L. P.; and Ostergard, J. J. Fuzzy logic control: Operator experience applied in automatic process control. FLS Review, Vol. 45. Copenhagen: Smidth F.L., 1981.
- [10] Cartwright, P.; and Thomson, M. Knowledge based control of a binary distillation column. IEE Colloquium on Knowledge Based Control: Principles and Applications (1991)
- [11] Klett, G. Application of fuzzy control in chemical distillation processes. Second IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems Vol. 1 (1993): 375-377.
- [12] Santhanam, S.; and Langari, R. Supervisory fuzzy adaptive control of a binary distillation column. Proc. of the Third IEEE Conf. Fuzzy Systems Vol. 2 (1994): 1063-1068.
- [13] Yamazaki, T. An application of fuzzy modeling to distillation control. Proc. of the Fifth IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems Vol. 1 (1996): 654-659.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [14] Wang, X.; Luo, R.; and Shao, H. Designing a soft sensor for a distillation column with the fuzzy distributed radial basis function neural network. Proc. of the 35th IEEE Conf. Decision and Control Vol. 2 (December 1996): 1714-1719.
- [15] Margaglio, E.; Lamanna, R.; and Glorennec, P.-Y. Control of a distillation column using fuzzy inference systems. Proc. of the Sixth IEEE Int. IEEE Conf. Fuzzy Systems Vol. 2 (1997): 995-999.
- [16] Luyben, W. L. Simple method for tuning SISO controllers in multivariable systems. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 25 (1986): 654-660.
- [17] He, J. B.; Wang, Q. G.; and Lee, T. H. PI/PID controller tuning via LQR approach. Proc. of the 37th IEEE Conf. Decision and Control Vol. 1 (1998): 1177-1182.
- [18] Ho, W. K.; Hang, C. C.; and Cao, L. S. Tuning of PID controllers based on gain and phase margin. Automatica Vol. 31 No. 3 (1995): 497-502.
- [19] Zhao, Z.-Y.; Tomizuka, M.; and Isaka, S. Fuzzy gain scheduling of PID controllers. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics Vol. 23 No. 5 (September-October 1993): 1392-1398.
- [20] Ziegler, J. G.; and Nichols, N. B. Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME 65 (1942)
- [21] Kitamori, T. A method of control system design based upon partial knowledge about controlled processes. Trans. SICE Japan Vol. 15 (1979): 549-555.
- [22] Jang, R. J.-S. Fuzzy controller design without domain experts. IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems (1992): 289-296.
- [23] Jang, R. J.-S. Self-learning fuzzy controllers based on temporal back propagation. IEEE Trans. Neural Networks Vol. 3 No. 5 (September 1992): 714-723.
- [24] Hirota, K.; and Yoshinari, Y. Identification of fuzzy control rules based on fuzzy clustering method. 5th Fuzzy System Symposium (June 1989): 253-258.
- [25] Cho, Y.; Lee, K.; Yoo J.; and Park, M. Autogeneration of fuzzy rules and membership functions for fuzzy modeling using rough set theory. IEE Proc. Control Theory Applications Vol. 145 No. 5 (September 1998): 437-442.
- [26] Araki, S.; Nomura, H.; Hayashi, I.; and Wakami, N. Self-generating method of fuzzy inference rules. Int. Fuzzy Engineering Symposium (1992): 1047-1058.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [27] Chen, Y.-L.; and Liu, C.-C. Interactive fuzzy satisfying method for optimal multi-objective VAR planning in power systems. IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution Vol. 141 No. 6 (November 1994): 554-560.
- [28] Huyghe, E.; and Hamam, Y. Simulated annealing for fuzzy controller optimization: Principles and applications. IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics Vol. 5 (1995): 4509-4514.
- [29] Renyuan, T.; Jianzhong, S.; and Yan, L. Optimization of electromagnetic devices by using intelligent simulated annealing algorithm. IEEE Trans. Magnetics Vol. 34 No. 5 1 (September 1998): 2992-2995.
- [30] Nakamura, E.; and Kehtarnavaz, N. Optimization of fuzzy membership function parameters. IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics Vol. 1 (1995): 1-6.
- [31] Wang, P.; and Kwok, D. P. Optimal fuzzy PID control based on genetic algorithm. Proc. of the 1992 IEEE Conf. Industrial Electronics, Control, Instrumentation and Automation Vol. 2 (1992): 977-981.
- [32] Lee, M. A. and Takagi, H. Integrating design stages of fuzzy systems using genetic algorithms. Second IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems Vol. 1 (1993): 612-617.
- [33] Eksin, I. and Erol, O. K. Design of optimum fuzzy controller using genetic algorithms. IEEE Conf. Electrotechnical, MELECON '96., 8th Mediterranean Vol. 1 (1996): 186-190.
- [34] Tang, K. S.; Man, K. F.; Liu, Z. F.; and Kwong, S. Minimal fuzzy memberships and rules using hierarchical genetic algorithms. IEEE Trans Industrial Electronics Vol. 45 No. 1 (February 1998): 162-169.
- [35] Holland, J. H. Adaption in natural and artificial systems. Cambridge, MA: MIT Press, 1975.
- [36] Takagi, T. and Sugeno, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Trans. SMC-15-1 (1985): 116-132.
- [37] Glankwamdee, S.; Tarathammatikorn, K.; and Chatthana-anan, T. Fuzzy supervisory control system of a binary distillation column. Proceedings of The IEEE Region 10 Conference (TENCON) Vol. 2 (September 1999): 1055-1058.
- [38] Astrom, K J.; and Wittenmark, B. Computer-controlled systems: Theory and design. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997, pp. 306-309.
- [39] Man, K. F.; Tang, K. S.; and Kwong, S. Genetic algorithms: Concepts and design. London: Springer-Verlag London Limited, 1999.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [40] Goldberg, D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- [41] Handbook of genetic algorithms. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [42] Dejong, K. A.; and Spears, W. M. An analysis of the interacting roles of population size and crossover in genetic algorithms. Proc. first workshop parallel problem solving from nature, pp. 38-47. Berlin: Springer Verlag, 1990.
- [43] Grefenstette, J. J. Optimization of control parameters for genetic algorithms. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics Vol. SMC-16 (January-February 1986): 122-128.
- [44] Luyben, W. L. Process modeling simulation and control for chemical engineering. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1990, pp. 64-132.
- [45] Skogestad, S. Modeling and control of distillation columns as a 5x5 system. European symp. on computer application in the chemical industry, Erlangen, 1989.
- [46] Glankwamdee, G.; and Chatthana-anan, T. Optimum decentralized PI controllers of a binary distillation column. 22nd Electrical Engineering Conference (EECON-22) (December 1999): 576-580.
- [47] Instruction manual, Continuous distillation column UOP3CC. Armfield, Issue 6, February 1996.
- [48] Man, K. F.; Tang, K. S.; and Kwong, S. Genetic algorithms: Concepts and applications. IEEE Trans. Industrial Electronics Vol. 43 No. 5 (October 1996): 519-534.
- [49] Michalewicz, Z. Genetic algorithms + data structures = evolution program. 3rd rev. and extended ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996.
- [50] Janikow, C. Z.; and Michalewicz, Z. An experimental comparison of binary and floating point representation in genetic algorithms. Proc. 4th Int. Conf. Genetic Algorithms (July 1991): 31-36.
- [51] Wright, A. H. Genetic algorithms for real parameter optimization. In J. E. Rawlins (ed.), Foundations of genetic algorithms, pp. 205-218. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1991.
- [52] Real-coded genetic algorithms, virtual alphabets and block. Univ. Illinois, Tech. Rep. 90001, September 1990.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม

วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GAs) [39,40,48,49] เป็นวิธีขั้นตอนการค้นหาที่มีรากฐานมาจากกลไกการคัดเลือกและกระบวนการทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ กระบวนการค้นหานี้มีความคล้ายคลึงกับการวิวัฒนาการทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตในทางชีววิทยาที่ว่าเผ่าพันธุ์ที่แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดสูงกว่าและให้กำเนิดเผ่าพันธุ์ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นเรื่อยๆ GAs ก็เช่นเดียวกันจะเลียนแบบการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยสมมติว่าคำตอบของปัญหาสามารถเข้ารหัสเป็นชุดอักขระซึ่งจะเรียกว่าโครโมโซม โครโมโซมที่มีค่า Fitness มากกว่าจะมีแนวโน้มการอยู่รอดสูงกว่าและจะให้กำเนิดโครโมโซมรุ่นต่อไปที่มีคุณภาพที่ดีกว่า นั่นหมายความว่าคำตอบของปัญหาก็จะดีขึ้นเรื่อยๆ จนใกล้เคียงกับผลเฉลยจริง

Holland [35] ได้นำเสนอหลักการเบื้องต้นของ GAs และบุกเบิกงานด้านนี้มาประยุกต์ใช้กับงานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในปี ค.ศ. 1970 จนกระทั่งปัจจุบัน GAs ได้รับความนิยมสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความง่ายแต่ให้ประสิทธิภาพที่ดี อีกทั้งคอมพิวเตอร์มีสมรรถนะสูงขึ้นในขณะที่ตัวเครื่องมีขนาดเล็กลงและราคาก็ต่ำลงด้วย นอกจากนี้ GAs ยังเป็นกระบวนการที่ไม่ได้ใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ใดๆ เช่น วิธี Gradient [26] เพราะการค้นหาจุดเหมาะสมได้จากการวิวัฒนาการจากรุ่นหนึ่งสู่อีกรุ่นหนึ่ง

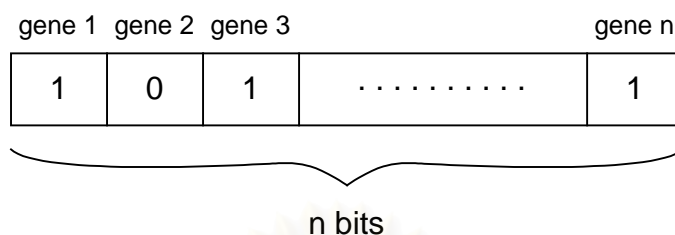
โดยทั่วไป GAs ประกอบด้วยการดำเนินการหลัก 3 กระบวนการด้วยกันคือ การสืบพันธุ์ การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน และการกลายพันธุ์ แต่ในการแก้ปัญหาโดยใช้ GAs จำเป็นที่จะต้องมีการเข้ารหัสเสียก่อนแล้วจึงค่อยทำการดำเนินการทั้งสาม ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก.1 รูปแบบของการแสดงโครโมโซม

คำตอบของปัญหาหรือที่เรียกว่าประชากร แต่ละตัวจะถูกเข้ารหัสเป็นชุดอักขระซึ่งเรียกว่าโครโมโซม โดยที่แต่ละโครโมโซมประกอบไปด้วยเซตของพารามิเตอร์ซึ่งเรียกว่ายีน ดังรูปที่ ก.1 โดยทั่วไปในการเข้ารหัสที่นิยมใช้ใน GAs คือการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง [35] เพราะง่ายและตรวจสอบได้ นอกจากนี้ยังสามารถเข้ารหัสโดยใช้เลขฐานอื่นๆ ได้ เช่น เลขฐานสิบ หรือจำนวนจริง [50,51] ซึ่งก็สามารถหาผลลัพธ์ได้ในหลายๆปัญหา แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีการเข้ารหัสด้วยเลขจำนวนจริงอาจทำให้ GAs ไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ [52]

การเลือกความยาวของแต่ละโครโมโซมอาจขึ้นอยู่กับขอบเขตของคำตอบแต่ละตัวเป็นเท่าใดหรือขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยถ้าโครโมโซมมีความยาวมาก (มีจำนวนยีนหลายยีน) จะให้ความละเอียดสูง เช่นเดียวกับในกรณีของการเลือกจำนวนโครโมโซม การใช้โครโมโซม

เป็นจำนวนมากจะทำให้คำตอบสามารถเข้าสู่ผลเฉลยได้ภายในไม่กี่รุ่น แต่ว่าในการกำเนิดแต่ละรุ่นจะใช้เวลานาน



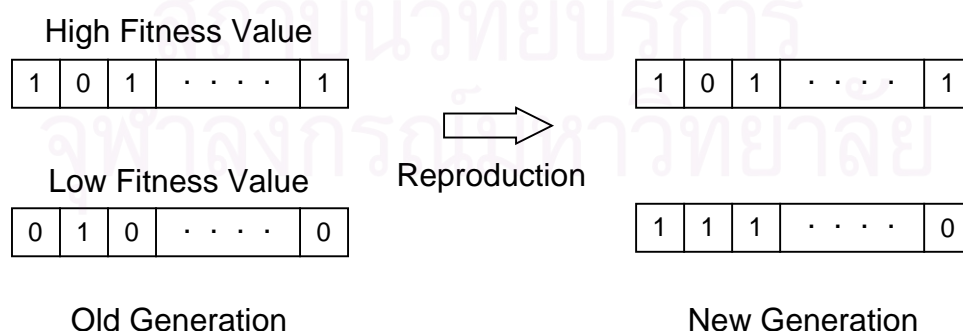
รูปที่ ก.1 รูปแบบโครโมโซมโดยใช้การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง

โดยลำพังตัวโครโมโซมเองจะไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เราพยายามแก้แต่อย่างใด ต้องมีการถอดรหัสโครโมโซมออกมาเสียก่อน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการค้นหาจะกระทำบนโครโมโซมที่เข้ารหัสนี้มากกว่าที่จะทำบนค่าจริง ยกเว้นในกรณีที่เข้ารหัสแบบเลขจำนวนจริง

เมื่อถอดรหัสโครโมโซมออกมาเป็นค่าของคำตอบในขอบเขตที่พิจารณาจะทำให้ทราบถึงค่า Fitness ซึ่งมีค่าเป็นบวกเสมอ ค่า Fitness จะเป็นตัวสะท้อนถึงระดับความสามารถในการดำรงเผ่าพันธุ์ของโครโมโซมแต่ละตัวซึ่งจะนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่อไป และค่า Fitness นี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าจุดประสงค์ซึ่งได้จากการถอดรหัสโครโมโซมออกมาเป็นค่าของคำตอบ แล้วนำไปผ่านฟังก์ชันจุดประสงค์หลังจากที่ทำการเข้ารหัสแล้ว ก็จะทำการดำเนินการทางพันธุกรรมทั้งสามต่อไป

ก.2 การดำเนินการทางพันธุกรรม

ก.2.1 การสืบพันธุ์

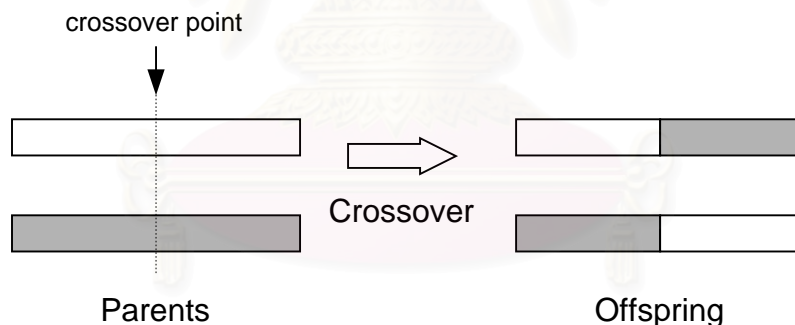


รูปที่ ก.2 การสืบพันธุ์

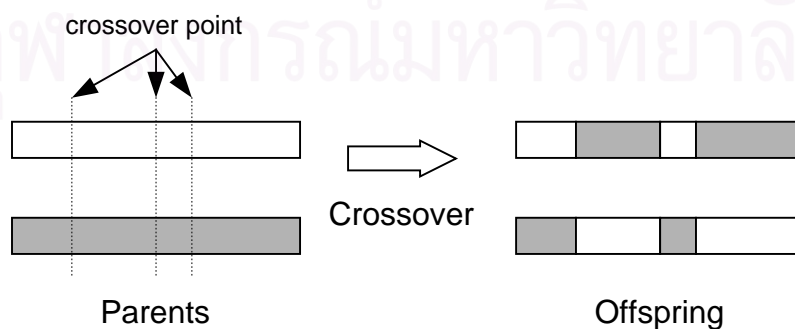
การสืบพันธุ์เป็นกระบวนการที่โครโมโซมที่มีค่า Fitness มากกว่ามีแนวโน้มหรือความน่าจะเป็นสูงกว่าที่จะถูกคัดเลือกเป็นพ่อแม่ (Parents) และให้กำเนิดรุ่นต่อไปเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยของค่า Fitness โดยรวมของรุ่นถัดไปมีค่าสูงขึ้น ดังรูปที่ ก.2 วิธีการที่ใช้ในการคัดเลือกในทางปฏิบัติอาจจะใช้วิธีที่เรียกว่าการเลือกโดยใช้วงล้อรูเล็ตต์ [39-41] โดยที่ในแต่ละช่อง (Slot) จะมีการถ่วงน้ำหนักเป็นสัดส่วนกับค่า Fitness ของแต่ละโครโมโซม

ก.2.2 การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีน

การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนเป็นกระบวนการที่โครโมโซม 2 ตัวถูกสุ่มเลือกจากโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกคัดเลือกในกระบวนการสืบพันธุ์ มาทำการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนซึ่งกันและกัน ณ ตำแหน่งที่ถูกสุ่มเลือก ซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบจุดเดียว ดังรูปที่ ก.3 แต่อย่างไรก็ตามการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบจุดเดียวยังมีปัญหาดังที่บางรูปแบบของโครโมโซมไม่สามารถเกิดขึ้นได้ [49] ดังนั้นจึงมีแนวทางในการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบหลายจุด (Multi-Point Crossover) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า ดังรูปที่ ก.4 กระบวนการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนนี้จะเกิดขึ้นด้วยค่าความน่าจะเป็น p_c ซึ่งโดยปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-1.0 [39]



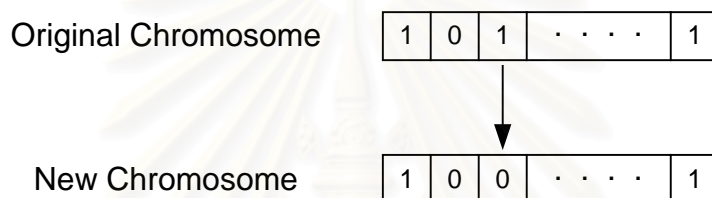
รูปที่ ก.3 การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบจุดเดียว



รูปที่ ก.4 การแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนแบบหลายจุด (ในรูปแบบเป็นแบบ 3 จุด)

ก.2.3 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนค่าเงินใดๆในโครโมโซมหนึ่งๆไปเป็นค่าใหม่ ณ ตำแหน่งที่ถูกสุ่มเลือก เช่น ในกรณีการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง เงินจะเปลี่ยนสถานะจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 เป็นต้น ดังรูปที่ ก.5 ขั้นตอนนี้จะทำให้กระบวนการค้นหาไม่ลู่เข้าไปติดอยู่ที่จุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Optima) เพราะเมื่อเกิดการกลายพันธุ์จะทำให้คำตอบเกิดการกระโดดไปยังขอบเขตการค้นหาอื่น ทำให้ได้คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม แต่ในบางครั้งการกลายพันธุ์อาจจะเป็นการทำลายโอกาสที่จะพบจุดเหมาะสม เช่น ในกรณีที่คำตอบกำลังลู่เข้าสู่ค่าเหมาะสมรวมแต่เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้คำตอบกระโดดไปยังค่าอื่น ดังนั้นกระบวนการนี้ควรจะเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น p_m ต่ำๆ ซึ่งโดยปกติมีค่าน้อยกว่า 0.1 [39]



รูปที่ ก.5 การกลายพันธุ์

หลังจากผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมทั้งสาม กล่าวคือได้กำเนิดโครโมโซมรุ่นต่อไปออกมาแล้ว ก็จะนำมาผ่านกระบวนการทั้งสามนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบางอย่างที่กำหนด เช่น สร้างจำนวนรุ่นได้ครบตามจำนวนที่ได้กำหนดหรือส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยของประชากรไม่เกินขอบเขตที่กำหนด เป็นต้น

ประวัติผู้เขียน

นายธีรวุฒิ นัทรชนอนันต์ เกิดวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของนาย กิตติชัยและนางวลัยพร นัทรชนอนันต์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541 โดยได้รับทุนอุดหนุนการ ศึกษาจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่คือ

1. สวลัย กลั่นความดี และ ธีรวุฒิ นัทรชนอนันต์, "ตัวควบคุมพีไอแบบแยกศูนย์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22, หน้า 576-580, ธันวาคม 2542.
2. Glankwamdee, S.; Tarathammatikorn, K.; and Chatthana-anan, T. "*Fuzzy Supervisory Control System of a Binary Distillation Column*", Proceeding of The IEEE Region 10 Conference (TENCON'99), Vol. 2, pp. 1055-1058, Cheju, Korea, Sep. 1999.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย