

ตัวควบคุมไฟโอบแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลับแยกสารผสมสองชนิด
โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น



นายเกียรติขจร วรปรัชญา

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

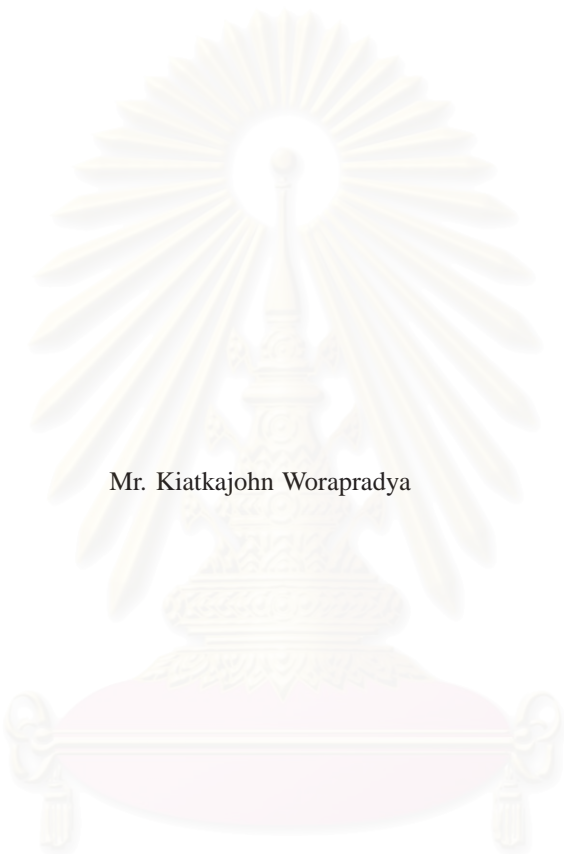
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4609-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN OPTIMUM FUZZY SUPERVISORY PI CONTROLLER OF A BINARY DISTILLATION COLUMN
USING HIERARCHICAL GENETIC ALGORITHMS



Mr. Kiatkajohn Worapradya

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 2003

ISBN 974-17-4609-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลับแยกสาร
ผสมสองชนิดโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น

โดย นายเกียรติขจร วรปรัชญา

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย ประดิษฐ์านนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม วาณิชเสนี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย ประดิษฐ์านนท์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกียรติขจร วรปรัชญา: ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลั่น แยกสารผสมสองชนิดโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น (AN OPTIMUM FUZZY SUPERVISORY PI CONTROLLER OF A BINARY DISTILLATION COLUMN USING HIERARCHICAL GENETIC ALGORITHMS), อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สุวัลย์ ประดิษฐ์ฐานนท์, 63 หน้า, ISBN 974-17-4609-1

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ การออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด ตัวควบคุมชนิดนี้ประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกคือ ตัวควบคุมหลักทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการโดยตรง ซึ่งใช้ตัวควบคุมพีไอ ส่วนที่สองเป็นตัวกำกับดูแลหรือตัวควบคุมรองทำหน้าที่ควบคุมตัวควบคุมหลัก ซึ่งใช้ระบบฟัซซีในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ ในการหาตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดนั้น ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาค่าเหมาะสมวิธีหนึ่ง หาจำนวนและรูปร่างของฟังก์ชันภาวะสมาชิก พร้อมด้วยฐานกฎฟัซซีที่เหมาะสม และเพื่อพิสูจน์ประสิทธิภาพของตัวควบคุมนี้ ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดซึ่งเป็นระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง และเป็นระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก ในการควบคุมได้กระทำทั้งการจำลองระบบ และการควบคุมจริงกับหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ซึ่งผลการควบคุมทั้งสองแบบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมที่ออกแบบขึ้น สามารถควบคุมคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ และสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ ให้มีความบริสุทธิ์เป็นไปตามที่กำหนดไว้ได้ เมื่ออัตราป้อนสารเข้ากลางหอเปลี่ยนแปลง ซึ่งถือเป็นการรบกวนระบบ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

##4470231621: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: PI CONTROLLER/ FUZZY SYSTEM/ FUZZY SUPERVISORY SYSTEM/ HIERARCHICAL GENETIC ALGORITHMS/ BINARY DISTILLATION COLUMN

KIATKAJOHN WORAPRADYA: AN OPTIMUM FUZZY SUPERVISORY PI CONTROLLER OF A BINARY DISTILLATION COLUMN USING HIERARCHICAL GENETIC ALGORITHMS, THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SUVALAI PRATISHTHANANDA, Ph.D., 63 pp., ISBN 974-17-4609-1

An optimum fuzzy supervisory PI controller using hierarchical genetic algorithms is developed for controlling the top and bottom product quality of a nonlinear, multi-input multi-output binary distillation column when the disturbance enters the column in the form of the changes in feed flow rate. Two conventional PI controllers, one for the bottom product composition and another for the top product composition, are used together in the control scheme. Hierarchical genetic algorithms are used to derive the optimal number and shape of membership function and fuzzy rules of a fuzzy system that adapts the parameters of the PI controllers. The simulation and real-time implementation results show the effectiveness of the proposed method.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department
Field of study
Academic year

Student's signature
Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. สุวัลย์ ประดิษฐานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้โอกาส คำแนะนำ กำลังใจ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัย อีกทั้งยังได้ให้คำแนะนำอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานในอนาคต ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม วาณิชเสณี ประธานกรรมการ รวมทั้งกรรมการอีกท่านคือ อาจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และสละเวลาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุม ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม โดยเฉพาะ นายวศัญญุ คล้ายสงคราม นางสาวอุบลวรรณ ตันตินุชวงศ์ นางสาวจิตโกมุท สงศิริ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อนร่วมกลุ่ม 3 ก. กรรณวัฒน์ สมสังข์ และ กิตติชัย รุจิราพันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ช่วยคิดแก้ปัญหา และให้กำลังใจเพื่อให้ทำงานสำเร็จลุล่วงขอบคุณจริงๆ

ขอขอบคุณ นายอนุวัฒน์ ขจรชัยฤทธิ และนางสาวธรรมดา พงษ์สุวรรณ เพื่อนรักที่ช่วยเหลือและฟังพาได้ทุกอย่าง ตลอดจนเป็นกำลังใจและอยู่ข้างกันตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่น้องทุกๆ คนซึ่งให้กำลังใจและสนับสนุนกำลังทรัพย์แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	7
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	7
1.4 โครงสร้างวิทยานิพนธ์	7
2 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น.....	9
2.1 รูปแบบโครโมโซมแบบลำดับชั้น	9
2.2 การดำเนินการทางพันธุกรรม	10
2.3 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นสำหรับตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี ที่เหมาะสมที่สุด.....	10
2.3.1 การเข้ารหัสพันธุกรรมแบบลำดับชั้นสำหรับระบบฟัซซี	11
2.3.2 การกำหนดขนาดประชากร	13
2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรมสำหรับโครโมโซมภาวะสมาชิกและโครโมโซมฐานกฎ ..	14
2.4 การจำลองระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	16
2.4.1 ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและแบบจำลอง.....	16
2.4.2 การจำลองระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	17
2.4.3 ผลการจำลองระบบ	18
2.5 สรุป	23
3 ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด.....	24
3.1 การจำลองระบบควบคุมหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	24
3.1.1 โครงสร้างของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	24
3.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด.....	26

3.1.3	การจำลองระบบควบคุมหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	28
3.1.4	ผลการจำลองระบบ	29
3.1.5	สรุปผลการจำลองระบบ	37
3.2	การควบคุมหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม	37
3.2.1	โครงสร้างหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC	37
3.2.2	ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC	39
3.3	สรุป	51
4	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	52
4.1	บทสรุป	52
4.2	ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้	53
	รายการอ้างอิง	54
	ภาคผนวก	57
ก	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม	58
ก.1	การดำเนินการทางพันธุกรรม	58
ก.2	การเข้ารหัส (Coding)	59
ก.3	การคัดเลือกพันธุ์ (Selection)	60
ก.4	การถ่ายทอดพันธุ์ (Crossover)	60
ก.5	การกลายพันธุ์ (Mutation)	61
ก.6	ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function)	62
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	63

สารบัญตาราง

2.1	(a) ตารางกฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e , Δe และ K_P (b) ตารางกฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e , Δe และ K_I	12
2.2	ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	17
2.3	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณี J_1	19
2.4	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณี J_2	20
3.1	จุดทำงานของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	27
3.2	กรณีต่างๆ ในการหาค่าเหมาะสม	28
3.3	ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	29
3.4	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณีที่ 1	30
3.5	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณีที่ 2	33
3.6	จุดทำงานที่กำหนดขึ้น	39
3.7	ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC	40
3.8	ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่ได้จากวิธี Ziegler-Nichols	41
3.9	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : การทดลองที่ 1	43
3.10	(a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : การทดลองที่ 2	46

สารบัญภาพ

2.1	รูปแบบทั่วไปของโครโมโซมแบบลำดับชั้น	9
2.2	ลักษณะที่แสดงออกของโครโมโซมที่ต่างกัน	10
2.3	ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น	11
2.4	โครงสร้างโครโมโซมแบบลำดับชั้นของฟังก์ชันภาวะสมาชิก	12
2.5	ลำดับขั้นตอนของการดำเนินการทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น	15
2.6	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	16
2.7	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า e : กรณี J_1	19
2.8	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า Δe : กรณี J_1	19
2.9	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_I : กรณี J_1	19
2.10	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า e : กรณี J_2	20
2.11	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า Δe : กรณี J_2	20
2.12	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_I : กรณี J_2	20
2.13	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของทั้งสองกรณี	20
2.14	ผลตอบทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund	21
2.15	สัญญาณควบคุมทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund	21
2.16	ผลตอบทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ	22
2.17	สัญญาณควบคุมทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ	22
3.1	โครงสร้างของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด	25
3.2	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: กรณีที่ 1	29
3.3	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า e : กรณีที่ 1	30
3.4	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซีขาเข้า Δe : กรณีที่ 1	30
3.5	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตพีซีซี K_I : กรณีที่ 1	30
3.6	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอคและฐานหอค: กรณีที่ 1	31
3.7	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอคและฐานหอค: กรณีที่ 1	31
3.8	อัตราขยาย K_P และ K_I : กรณีที่ 1	32

3.9	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: กรณีที่ 1	32
3.10	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : กรณีที่ 2	33
3.11	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : กรณีที่ 2	33
3.12	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_I : กรณีที่ 2	33
3.13	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กรณีที่ 2	34
3.14	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กรณีที่ 2	34
3.15	อัตราขยาย K_P และ K_I : กรณีที่ 2	35
3.16	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กรณีที่ 3	35
3.17	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กรณีที่ 3	36
3.18	อัตราขยาย K_P และ K_I วงรอบยอดหอด: กรณีที่ 3	36
3.19	อัตราขยาย K_P และ K_I วงรอบฐานหอด: กรณีที่ 3	36
3.20	แผนภาพโครงสร้างหอดกลั่นแยกสารผสมสองชนิดรุ่น UOP3CC	38
3.21	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols	41
3.22	สัญญาณควบคุมวงรอบยอดหอดและฐานหอด: กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols	42
3.23	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: การทดลองที่ 1	42
3.24	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : การทดลองที่ 1	43
3.25	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : การทดลองที่ 1	43
3.26	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I : การทดลองที่ 1	43
3.27	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 1	44
3.28	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 1	44
3.29	อัตราขยาย K_P และ K_I : การทดลองที่ 1	45
3.30	ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: การทดลองที่ 2	45
3.31	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : การทดลองที่ 2	46
3.32	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : การทดลองที่ 2	46
3.33	(a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I : การทดลองที่ 2	46
3.34	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 2	47
3.35	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 2	47
3.36	อัตราขยาย K_P และ K_I : การทดลองที่ 2	48
3.37	ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 3	49
3.38	สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอด (T1) และฐานหอด (T8): การทดลองที่ 3	49
3.39	อัตราขยาย K_P และ K_I ของวงรอบยอดหอด: การทดลองที่ 3	50
3.40	อัตราขยาย K_P และ K_I ของวงรอบฐานหอด: การทดลองที่ 3	50

ก.1	แผนภาพวัฏจักรการทำงานของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม	59
ก.2	การเข้ารหัสด้วยเลขฐานสองของตัวแปร 3 ตัว	59
ก.3	การเลือกตามวงล้อรูเล็ต	60
ก.4	การถ่ายทอดพันธุ์แบบจุดเดียว	61
ก.5	การถ่ายทอดพันธุ์แบบหลายจุด	61
ก.6	การกลายพันธุ์ในตำแหน่งที่สาม	61



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกสารผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียมอย่างหนึ่ง เนื่องจากจากหอกกลั่นเป็นองค์ประกอบหลักในโรงงานเคมีและโรงกลั่นน้ำมัน อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินการในการกลั่นก็มีมูลค่าสูง ดังนั้นระบบควบคุมการกลั่นหรือการทำงานของหอกกลั่นจึงจำเป็นต้องมีประสิทธิภาพ และมีความเชื่อถือได้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงในการกลั่น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

ด้วยลักษณะสมบัติของหอกกลั่นที่เป็นระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก (Multi-Input-Multi-Output: MIMO) มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีการกระทำระหว่างวงรอบควบคุม (Interaction) มีการรบกวนระบบ ทำให้การควบคุมการทำงานหอกกลั่นมีความสลับซับซ้อน จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจและท้าทายมากอย่างหนึ่ง ส่วนตัวควบคุมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปคือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional-Integral: PI) และพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative: PID) เนื่องจากมีโครงสร้างตัวควบคุมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ปฏิบัติการ และให้ผลการควบคุมที่ยอมรับได้ แต่ก็มีข้อจำกัดในแง่ที่ต้องอาศัยประสบการณ์ความชำนาญของผู้ปฏิบัติการในการปรับจูนพารามิเตอร์ โดยเฉพาะในระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก

จากปัญหาดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดในการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอที่กำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติการในการปรับจูนตัวควบคุม โดยตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถผนวกความชำนาญและการใช้เหตุผลของผู้ปฏิบัติการเข้ากับระบบควบคุมได้ โดยอาศัยการอ้างเหตุผลแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีในการสร้างสัญญาณออกจากสัญญาณเข้าต่างๆ ด้วยมุ่งหวังให้กลไกการสร้างสัญญาณออกเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ อีกทั้งยังมีข้อดีตรงที่ไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ถูกต้องแม่นยำนัก แต่อย่างไรก็ตามการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมต่อกระบวนการหนึ่งๆ ยังไม่มีวิธีที่แน่นอนในการกำหนด จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และทักษะของผู้ปฏิบัติการ ในการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ ซึ่งเป็นไปในลักษณะลองผิดลองถูก (Trial-and-Error) จนกระทั่งได้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ เพื่อกำจัดปัญหาดังกล่าว Harmifar และ McCormick [12] ได้แนะนำวิธีการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม ซึ่งขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีข้อดีเหนือกว่าวิธีอื่นๆ เช่น ไม่ต้องอาศัยข้อมูลเชิงอนุพันธ์ เป็นการค้นหาแบบขนาน ได้คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม สามารถแก้ปัญหาที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์หลายฟังก์ชันได้ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีข้อด้อย เนื่องจากหากโครโมโซมมีความยาวมากหรือมีจำนวนประชากรมาก ทำให้ใช้เวลาในการค้นหานาน อีกทั้งฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่ทำให้เกณฑ์สมรรถนะมีค่าเหมาะสมยังไม่ใช้เซตฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่มีจำนวนน้อยที่สุด จากเหตุผลดังกล่าว Man Tang และ

Kwong [1] ได้แนะนำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical Genetic Algorithms: HGA) ซึ่งมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางโทพอโลยีของระบบซึ่งมีข้อดีดังนี้

- สามารถให้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ ที่เหมาะสมและมีจำนวนน้อยที่สุด
- มีโครงสร้างแบบยืดหยุ่น กล่าวคือ ไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างตายตัวหรือกำหนดไว้ก่อน
- มีขั้นตอนที่ง่ายและค่าบำรุงรักษามีราคาถูก

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น การควบคุมการทำงานของหอกลับด้วยตัวควบคุมพีไอ ที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด จึงน่าสนใจและทำการศึกษาในรายละเอียด ให้มากยิ่งขึ้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้วว่า ตัวควบคุมพีไอและพีไอดีซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม มีข้อจำกัดในแง่ที่ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานในการปรับจูนพารามิเตอร์ การใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่มีข้อดีตรงที่ไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องแม่นยำนักแต่อาศัยฐานความรู้และข้อมูลของระบบซึ่งได้จากการทดสอบ และเก็บข้อมูลจากระบบหรือจากความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติการมาออกแบบระบบควบคุม โดยมิงงานวิจัยหลายบทความ เสนอวิธีการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เช่น

- Z. Y. Zhao, S. Isaka และ M. Tomizuka [4] เสนอการพัฒนาการกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซี ซึ่งใช้ค่าผิดพลาด (Error) และอัตราค่าผิดพลาด (Rate of error) เป็นสัญญาณขาเข้าและอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดีเป็นสัญญาณขาออก ของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี ตามลำดับ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมชนิดนี้ สามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการปรับจูนพารามิเตอร์ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols และวิธีของ Kitamori
- D. Pruessmann, B. Krause และ C. V. Altrock [5] ได้ประยุกต์ใช้งานการควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีกับโรงจักรถ่านหิน ซึ่งใช้ในการรักษาค่าพารามิเตอร์ของระบบให้อยู่ในย่านเหมาะสม ในขณะที่คุณภาพถ่านหินมีการเปลี่ยนแปลง จากการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงนี้ ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบให้อยู่ในย่านเหมาะสม ซึ่งให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมด้วยผู้ปฏิบัติงาน
- P. P. Bonissone, V. Badami, K. H. Chaing, P. S. Khedkar, K. W. Marcelle และ M. J. Schutten [6] ได้ประยุกต์ใช้งานการควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีกับการควบคุมเครื่องยนต์กังหันแก๊ส (Recuperative turboshaft engine control) และการเดินเครื่องของกังหันไอน้ำ (Steam turbine startup) สำหรับการควบคุมเครื่องยนต์กังหันแก๊สประกอบด้วยตัวควบคุม 2 ระดับคือ ตัวควบคุมระดับล่างซึ่งคือตัวควบคุมพีไอ ซึ่งควบคุมการไหลของเชื้อ

เพลิง (Fuel flow) และพื้นที่ของหัวฉีด (Nozzle area) และตัวควบคุมระดับบวมซึ่งคือตัวเลือกโหมด (Mode selector) ซึ่งทำหน้าที่เลือกใช้ตัวควบคุมระดับล่างตามโหมดการทำงานอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งต่อมาได้ใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีในการควบคุม 2 กรณี กรณีแรกใช้กำกับดูแลในการเลือกตัวควบคุมระดับล่างแทนตัวเลือกโหมด และอีกกรณีคือทั้งทำหน้าที่กำกับดูแลแทนตัวเลือกโหมดและใช้แทนตัวควบคุมระดับล่างด้วย จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวกำกับดูแลฟัซซีในทั้งสองกรณีทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยลงและมีสมรรถนะดีขึ้นในกรณีที่สอง สำหรับการเดินเครื่องของกังหันไอน้ำนั้น ใช้หน่วยกำกับดูแลฟัซซีกำกับดูแลแทนผู้ปฏิบัติงาน โดยรับสัญญาณขาออกจากตัวควบคุมพีไอที่ใช้ในการรักษาระดับ อุณหภูมิ ความเร็ว ความเครียดและวาล์วระบายน้ำของระบบควบแน่นของกังหันไอน้ำ มาทำการถ่วงน้ำหนักในแต่ละสัญญาณแล้วกำหนดสัญญาณควบคุม จากผลการจำลองพบว่าใช้เวลาในการเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการน้อย

- A. Visioli [7] ได้เสนอการเปรียบเทียบวิธีปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีวิธีต่างๆ ด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี เช่นวิธี incremental fuzzy expert PID control (IFE) , fuzzy self-tuning of a single parameter (SSP), fuzzy gain scheduling (FGS) และ fuzzy setpoint weighting (FSW) เป็นต้น โดยได้ทำการจำลองกับระบบทดสอบ 6 ระบบต่างๆกัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธี fuzzy setpoint weighting มีประสิทธิภาพกว่าวิธีอื่นๆ กล่าวคือมีสมรรถนะของผลตอบที่ดีสำหรับปัญหาค่าอ้างอิงและการกำจัดสัญญาณรบกวน

จากที่กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ว่าการควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี ได้รับการยอมรับมากขึ้นในการควบคุมระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูง ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมกับกระบวนการหนึ่งๆ ยังไม่มีวิธีการที่แน่นอน ในการแก้ปัญหานี้ได้มีนักวิจัยหลายท่านคิดวิธีในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎที่เหมาะสม ในวิธีการค้นหาค่าเหมาะสมต่างๆ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเป็นวิธีหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับ โดยมีหลายบทความที่นำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมมาค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ

- P. Wang และ D. P. Kwok [8] เสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเป็นกลไก ในการปรับปรุงฐานกฎของตัวควบคุมพีไอดีฟัซซี (Fuzzy PID controller) เพื่อให้ได้การควบคุมที่เหมาะสมที่สุด โดยได้จำลองกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ผลการจำลองได้พิสูจน์ว่า สามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการปรับจูนพีไอดีแบบปกติ
- C. L. Karr และ E. J. Gentry [9] เสนอเทคนิคการปรับตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมค่าพีเอช (pH) ในอุตสาหกรรมเคมี โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเลือกฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่เหมาะสมสำหรับการควบคุม จากผลการจำลองชี้ว่าตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ให้สมรรถนะที่ดีกว่าตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีปกติเป็นอย่างมาก
- E. Nakamura และ N. Kehtarnavaz [10] เสนอการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี ด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมเชิงเลข ซึ่งมี 3 วิธีคือ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

วิธีเชิงซ้อน (Complex method) และ Simulated annealing (SA) โดยหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์ของฟังก์ชันภาวะสมาชิก ซึ่งทำให้ค่าตรรกะนิสมรรถนะมีค่าต่ำสุด และได้ทำการจำลองกับระบบควบคุมยานขับเคลื่อนติดตามอัตโนมัติ จากผลการจำลองพบว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมให้ค่าเหมาะสมที่สุด และวิธีเชิงซ้อนใช้เวลาการคำนวณน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผลที่ได้ไม่ครอบคลุมสำหรับกรณีระบบอื่นๆ

- H. J. Cho, K. B. Cho และ B. H. Wang [11] เสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในการปรับกฎของโครงสร้างการควบคุมแบบไฮบริดฟuzzy-พีดี (Fuzzy-PID hybrid control) ซึ่งเป็นการควบคุมที่มีการปรับปรุงสมรรถนะของการปรับจูนตัวควบคุมพีดี โดยใช้การกำกับดูแลด้วยฟuzzy ใน 2 ลักษณะ คือ การตัดแปลงค่าอ้างอิงและการตัดแปลงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีดี โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในการปรับกฎของระบบตรรกศาสตร์ฟuzzy ที่ใช้กำกับดูแล จากผลการจำลองกับระบบที่มีการหน่วงเวลา เปรียบเทียบกับการปรับจูนตัวควบคุมพีดีใน 3 วิธี คือ วิธี Ziegler-Nichols วิธีปรับจูนโดยผู้ปฏิบัติงาน และการปรับจูนด้วยฟuzzy ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับจูนด้วยฟuzzy มีเวลาเข้าที่เร็วที่สุด และมีการพุ่งเกินต่ำที่สุด
 - A. Harmaifar และ E. McCormick [12] ได้เสนอการออกแบบปรับจูนพร้อมกันทั้งฟังก์ชันภาวะสมาชิกและเซตกฎฟuzzy ด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งลดปัญหาการเหมาะสมเฉพาะเซตกฎแรก โดยได้ประยุกต์ใช้กับสองปัญหาคือ ปัญหาศูนย์ถ่วงของพาหนะ 2 ล้อ (Cart-centering problem) และระบบการถอยของรถบรรทุก (Truck backing system) ซึ่งจากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม สามารถออกแบบให้ตัวควบคุมมีความคงทน ซึ่งสามารถทำงานในย่านพารามิเตอร์ที่กว้าง
 - S. Pratihthana, T. Chatthana-anan และ W. Glinkwamdee [13] ได้เสนอการใช้ระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟuzzy ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม โดยได้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ในการจำลองได้ทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีดีที่ปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟuzzy ที่เหมาะสมที่สุด มีผลการควบคุมที่ดีกว่าเมื่อพารามิเตอร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลง
- แม้ว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะได้รับความนิยม ในการนำมาค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีข้อด้อย กล่าวคือใช้เวลาในการค้นหานั้นและต้องกำหนดจำนวนของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและจำนวนฐานกฎที่ตายตัว จึงทำให้ไม่ได้จำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่น้อยที่สุด แนวทางการแก้ปัญหานี้คือ การใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ซึ่งได้ริเริ่มขึ้นในต้นทศวรรษที่ 1990 โดยมีการวิจัยและประยุกต์ใช้งานดังนี้
- K. F. Man และ K. S. Tang [14] เสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ที่เหมาะสำหรับการควบคุมและการประมวลผลสัญญาณ

- K. F. Man, K. S. Tang และ D. W. Gu [15] นำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นไปประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมเอชอินฟินิตี้ (H_∞) และวิธีอสมการ (Method of inequalities) โดยนำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นมาค้นหาฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก ซึ่งทำการค้นหาทั้งอันดับและค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมของตัวชดเชยก่อน (Precompensator) และตัวชดเชยหลัง (Postcompensator) และได้ทำการออกแบบและจำลองผลกับระบบหอกลับ ซึ่งผลการจำลองเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากผลตอบอยู่ในย่านที่กำหนด
- K. T. Ko, K. F. Man และ K. S. Tang [16] นำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นไปประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูล ซึ่งเป็นระบบสื่อสารข้อมูลด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยต้องการลดกำลังสูญเสียระหว่างทาง (Path losses) ที่เกิดขึ้นระหว่างปลายทาง (Terminal) และสถานีฐาน (Base-station) ด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นในการหาจำนวนและตำแหน่งของสถานีฐานที่เหมาะสม และทำการจำลองกับระบบสื่อสารข้อมูลของโรงพยาบาลหนึ่งในฮ่องกง ผลการจำลองพบว่าสามารถให้จำนวนสถานีฐานที่น้อยที่สุด ขณะที่ยังให้การสูญเสียระหว่างทางต่ำอีกด้วย
- K. S. Tang, K. F. Man, S. Kwong และ Z. F. Liu [17] ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการออกแบบตัวกรองเชิงเลข (Digital filter) โดยเป็นการหาทั้งโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวกรอง ซึ่งโครโมโซมแบบลำดับชั้นประกอบไปด้วย ยีนควบคุมซึ่งกำหนดอันดับและโครงสร้างของตัวกรอง และยีนพารามิเตอร์กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง จากนั้นได้ทำการออกแบบและจำลองกับตัวกรองแบบต่างๆ เช่น ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low-pass filter) ตัวกรองผ่านความถี่สูง (High-pass filter) เป็นต้น เปรียบเทียบกับวิธีออกแบบแบบดั้งเดิม ผลการจำลองพบว่ามีสมรรถนะเป็นไปตามที่กำหนด และยังมีอันดับต่ำกว่าการออกแบบแบบดั้งเดิม
- K. S. Tang, K. F. Man และ Robert. S. H. Istepanian [18] เสนอการออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้แบบเหมาะสม (Optimal H_∞ controller) สำหรับระบบปฏิบัติการทางไกล (Teleoperation) ที่ใช้ในจุลศัลยกรรม (Microsurgery) หรือการผ่าตัดระดับที่เล็กมาก โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นค้นหาทั้งโครงสร้างและค่าสัมประสิทธิ์ของตัวควบคุม ผลการจำลองชี้ว่าตัวควบคุมที่ได้สามารถให้สมรรถนะที่ต้องการ
- G. G. Yen และ H. Lu [19] เสนอวิธีการออกแบบโครงข่ายประสาท (Neural network) ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น โดยจะทำการค้นหาทั้งจำนวนประสาท จำนวนชั้นแฝงและค่าพารามิเตอร์(ค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอส)ที่เหมาะสม ซึ่งในโครโมโซมจะมียีนถึง 3 ระดับ และได้ทำการจำลองผลการออกแบบ โดยเปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายประสาทแบบขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นกับแบบ back-propagation พบว่าวิธีแรกให้สมรรถนะและโทพอโลยีที่ดีกว่า กล่าวคือให้ผลรวมค่าผิดพลาดกำลังสอง (Sum Squared Error: SSE) ที่น้อยกว่าอีกทั้งมีจำนวนชั้นและจำนวนประสาทที่น้อยกว่าด้วย

- T. M. Chan, S. Kwong, K. F. Man และ K. S. Tang [20] เสนอการหาค่าน้อยที่สุดของราคาระบบรวม (Total system cost) ของเครือข่ายบริการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Communication Services: PCS) ในระบบเซลล์ลูลาร์ โดยหาจำนวนที่เหมาะสมในการติดตั้งของหน่วยบริการกลาง (PCX) และตัวควบคุมสถานีฐาน (BSC) ซึ่งทำให้ได้ราคารวมของระบบต่ำที่สุด ผลการออกแบบสามารถทำให้ราคารวมของระบบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ
- A. R. Abdelaziz, A. E. Habachi [21] เสนอการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นในการออกแบบการวางสวิทช์ selectionalizing สำหรับระบบสายส่ง (Distribution system) โดยทำการค้นหาจำนวนสวิทช์และที่ตั้งของสวิทช์ที่เหมาะสมเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษาต่ำที่สุด โดยได้ให้ตัวอย่างการออกแบบกับระบบทดสอบ จากการออกแบบสามารถให้จำนวนและที่ตั้งสวิทช์ที่เหมาะสม
- C. Wang, Y. C. Soh, H. Wang และ H. Wang [22] เสนอการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการวางผังทางเดินผ่านสิ่งกีดขวางแบบสถิตย์ของหุ่นยนต์ โดยค้นหาทางเดินที่สั้นที่สุดด้วยการใช้โครงสร้างโครโมโซมแบบลำดับชั้น ในการค้นหาทั้งลำดับของสิ่งกีดขวางที่หุ่นยนต์ผ่านและลักษณะการผ่านสิ่งกีดขวาง จากการวางผังด้วยวิธีนี้พบว่าให้คำตอบที่มีคุณภาพที่ดีในเวลาที่เหมาะสม

ที่ผ่านมาข้างต้นเป็นการประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในส่วนของการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีความวิจิตรดังต่อไปนี้

- K. S. Tang, K. F. Man, Z. F. Liu และ S. Kwong [23] นำเสนอการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการปรับฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี กล่าวคือ ทำการค้นหาจำนวนเซตฟังก์ชันภาวะสมาชิกและพารามิเตอร์ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่พร้อมทั้งหาฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด
- J. Y. Ke, K. S. Tang, K. F. Man และ P. C. K. Luk [24] เสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี ที่มีการปรับฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น กับตัวควบคุมสำหรับโรงจักรพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหาฟังก์ชันภาวะสมาชิก (ทั้งจำนวนและค่าพารามิเตอร์) และฐานกฎที่เหมาะสม จากการจำลองพบว่าสามารถลดขนาดเซตย่อยฟัซซีขณะที่ยังคงรักษาสมรรถนะที่ดีของระบบ (สามารถติดตามค่าอ้างอิงได้)
- G. Xijin, Z. Young และ G. Dunwei [25] เสนอการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันภาวะสมาชิกของระบบควบคุมฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น โดยการค้นหาค่าเหมาะสมของจำนวนและรูปร่างฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบเกาส์เซียน และได้ทำการจำลองกับระบบอันดับสองเพื่อเปรียบเทียบผลกับระบบที่ไม่ได้มีการลดจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิก ซึ่งพบว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมสามารถให้ผลตอบที่ดีกว่า (ค่าฟังก์ชันต่ำกว่าและเวลาเข้าที่ที่ยอมรับได้)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้น ชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในออกแบบตัวกำกับดูแลฟิชซีสำหรับตัวควบคุมพีไอ

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาความเป็นไปได้ ในการนำตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟิชซี ที่ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ มาทำการควบคุมการทำงานของหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยออกแบบให้ตัวควบคุมสามารถควบคุมคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ ให้มีความบริสุทธิ์เป็นไปตามที่กำหนด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟิชซี สำหรับควบคุมระบบหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นช่วยในการหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและเซตของฐานกฎที่เหมาะสมที่สุด

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยตรรกศาสตร์ฟิชซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม
2. นำระบบควบคุมที่ได้มาทดสอบการควบคุมโดยการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์
3. ทดสอบตัวควบคุมกับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ซึ่งเป็นของบริษัท Armfield รุ่น UOP3CC โดยเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาคือ การลดผลของสัญญาณรบกวน ซึ่งคือการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าของหอกลิ้น และเสถียรภาพของระบบตลอดระยะเวลาในการดำเนินกระบวนการกลั่น

1.4 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหอกลิ้น รวมไปถึงโครงสร้างการควบคุมหอกลิ้น
2. ศึกษาตัวควบคุมพีไอที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับหอกลิ้น
3. ศึกษาตรรกศาสตร์ฟิชซี เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมรองในการกำกับดูแลตัวควบคุมพีไอ
4. ศึกษาขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น เพื่อนำมาใช้ค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสม
5. ออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟิชซีด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม และศึกษาผลการควบคุม ด้วยการจำลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลิ้น

6. สร้างตัวควบคุมสำหรับใช้กับหอกลิ้นจริงในห้องปฏิบัติการวิจัย
7. สรุปผลและวิเคราะห์ผล เพื่อหาข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

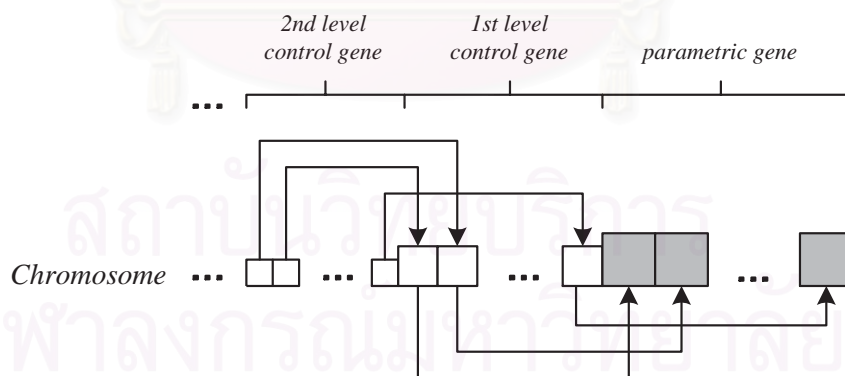
บทที่ 2

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น (Hierarchical Genetic Algorithms: HGA) [1] เป็นรูปแบบหนึ่งของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งมีการพัฒนาโครงสร้างให้มีความยืดหยุ่นยิ่งขึ้น โดยที่ยังคงผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมหลักที่สำคัญเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมปกติ สิ่งที่แตกต่างกันคือ รูปแบบของโครโมโซมที่มีลักษณะควบคุมกันเป็นลำดับชั้น

2.1 รูปแบบโครโมโซมแบบลำดับชั้น

แนวคิดโครโมโซมแบบลำดับชั้นสามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับดีเอ็นเอ (DNA) ในโครโมโซมสิ่งมีชีวิต กล่าวคือในดีเอ็นเอประกอบด้วยกลุ่มยีน 2 จำพวก คือ ยีนโครงสร้าง (Structural genes) และลำดับการจัดเรียง (Regulatory sequences) โดยกลุ่มยีนลำดับการจัดเรียงจะมีหน้าที่ควบคุมการแสดงออกทางพันธุกรรมของกลุ่มยีนโครงสร้าง ซึ่งบรรจุข้อมูลทางพันธุกรรมไว้ เช่นเดียวกับโครโมโซมแบบลำดับชั้น กล่าวคือประกอบไปด้วยยีน 2 จำพวก จำพวกแรกคือกลุ่มยีนพารามิเตอร์ (Parametric genes) เป็นส่วนเก็บพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเทียบได้กับยีนโครงสร้างในดีเอ็นเอ ส่วนยีนจำพวกที่สองคือ ยีนควบคุม (Control genes) เป็นส่วนระบุการเลือกใช้พารามิเตอร์ของยีนพารามิเตอร์ ซึ่งเทียบได้กับลำดับการจัดเรียงในดีเอ็นเอ ในรูปแบบทั่วไปมียีนควบคุมได้หลายระดับในโครงสร้างโครโมโซมแบบลำดับชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1: รูปแบบทั่วไปของโครโมโซมแบบลำดับชั้น

ในลักษณะโครโมโซมเช่นนี้ กลุ่มยีนมีการควบคุมกันเป็นลำดับชั้น โดยที่การทำงานของยีนพารามิเตอร์ถูกสั่งการโดยยีนควบคุมระดับแรก (First-level control gene) ซึ่งถูกกำหนดการทำงานด้วยยีนควบคุมลำดับที่สอง (Second-level control gene) อีกทอดหนึ่งและเป็นเช่นนี้เป็นชั้นๆ ไป

สำหรับยีนควบคุมที่มีหน้าที่กำหนดสถานะการทำงานของยีนพารามิเตอร์ การกำหนดสถานะทำงานใช้เพียงจำนวนเต็ม 1 และ 0 เท่านั้น โดยจำนวนเต็ม 1 เป็นการระบุว่ามิสถานะทำงาน ส่วน 0 เป็นการ

ระบุว่ามิสถานะไม่ทำงาน ในกรณีระบบสถานะการทำงานเป็น 1 ยีนพารามิเตอร์มีการทำงานเฉพาะกลุ่มยีนที่ยีนควบคุมระบบสถานะการทำงานเท่านั้น ส่วนสถานะการทำงาน 0 ยีนพารามิเตอร์กลุ่มที่ยีนควบคุมระบบสถานะนี้จะไม่มีการทำงานเกิดขึ้นเลย เห็นได้ว่าโครโมโซมที่มีโครงสร้างแบบลำดับชั้นนี้บรรจุข้อมูลไว้มากกว่าโครโมโซมที่เป็นโครงสร้างพันธุกรรมแบบเดิม

ลักษณะแสดงออก (Phenotype) ของโครโมโซมแบบลำดับชั้นไม่ตายตัวหรือมีการกำหนดไว้ก่อน ซึ่งแตกต่างจากโครโมโซมแบบขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบดั้งเดิม แนวคิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.2 จากรูปเป็นโครโมโซมที่มียีนควบคุม 6 บิต และมียีนพารามิเตอร์จำนวนจริง 6 ตัว เห็นได้ว่าโครโมโซม X_A มียีนพารามิเตอร์ที่อยู่ในสถานะทำงาน 4 ตัวและโครโมโซม X_B มียีนพารามิเตอร์ที่อยู่ในสถานะทำงาน 2 ตัวซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงออกของโครโมโซมที่ต่างกันภายใต้สูตรโครโมโซมแบบเดียวกัน ในขั้นตอนการหาค่าเหมาะสม กระบวนการทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นค้นหาความยาวของโครโมโซม (จำนวนยีนพารามิเตอร์ที่ทำงาน) ที่เป็นไปได้จนกระทั่งได้วัตถุประสงค์ตามต้องการ

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 1 & 5 & 6 & 8 & 2 \\ \hline \end{array} \longrightarrow X_A = (1,5,6,2)$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 1 & 5 & 6 & 8 & 2 \\ \hline \end{array} \longrightarrow X_B = (3,8)$$

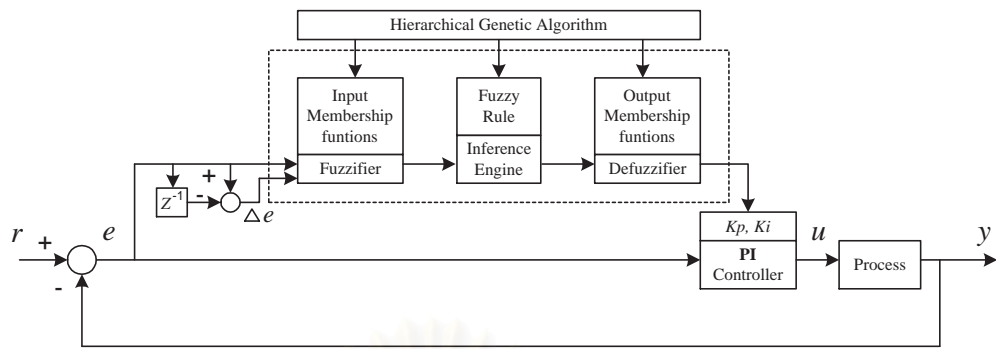
รูปที่ 2.2: ลักษณะที่แสดงออกของโครโมโซมที่ต่างกัน

2.2 การดำเนินการทางพันธุกรรม

กระบวนการทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นนั้นยังคงประกอบไปด้วย การดำเนินการทางพันธุกรรมเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบดั้งเดิมนั่นคือ การคัดเลือกพันธุ์ การถ่ายทอดพันธุ์ และการกลายพันธุ์ การคัดเลือกพันธุ์มีหลายวิธี ในทางปฏิบัตินิยมใช้แบบวงล้อรูเล็ต การถ่ายทอดพันธุ์และกลายพันธุ์กระทำแยกกันระหว่างยีนควบคุมและยีนพารามิเตอร์ การดำเนินการใดๆ ต่อกลุ่มยีนควบคุมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสู่ยีนระดับล่างในโครโมโซม การดำเนินการทางพันธุกรรมพื้นฐานสำหรับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบดั้งเดิม ได้อธิบายไว้ในภาคผนวก

2.3 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นสำหรับตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด

ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีมีลักษณะเป็นตัวควบคุมที่มีหลายระดับ กล่าวคือมีตัวควบคุมหลักและตัวควบคุมรอง โดยทั่วไปตัวควบคุมหลักหรือตัวควบคุมระดับล่างทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการโดยตรงและเป็นตัวควบคุมที่มีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน ส่วนตัวควบคุมรองหรือตัวควบคุมระดับบนมีหน้าที่ในการกำกับดูแลตัวควบคุมหลักอีกทอดหนึ่ง ในลักษณะเช่นนี้คล้ายกับระบบควบคุมแบบปรับตัวทั่วไปสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ตัวควบคุมหลักที่เลือกใช้นั้นเป็นตัวควบคุมพีไอ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายและประสิทธิภาพเสถียรภาพระบบ อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมที่มีความคงทนในย่านการทำงานที่กว้าง ในการการปรับจูนค่าพา



รูปที่ 2.3: ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น

รามิเตอร์ K_P และ K_I ของตัวควบคุมพีไอ ปรับจูนด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมรอง และเพื่อให้ตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นและมีเซตฟังก์ชันภาวะสมาชิกและเซตกฎที่น้อยที่สุด จึงใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นในการค้นหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎดังแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.3

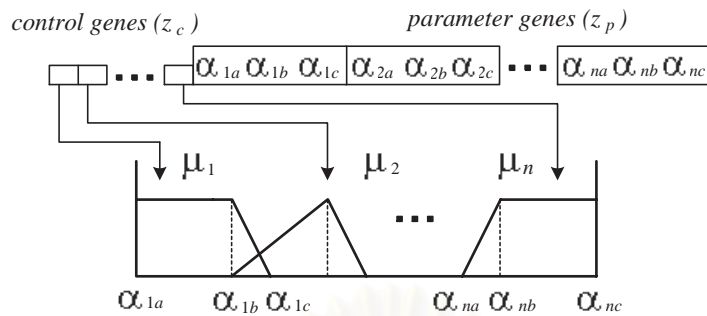
จากรูปที่ 2.3 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นมีหน้าที่หาโครงสร้างของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีซึ่งคือ ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ จนกระทั่งได้โครงสร้างที่เหมาะสมและคงโครงสร้างนี้ไว้ตลอดเมื่อได้โครงสร้างแล้วระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีใช้โครงสร้างนี้ ในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมพีไอเมื่อมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น และเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวจะไม่มี การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ K_P และ K_I

2.3.1 การเข้ารหัสพันธุกรรมแบบลำดับชั้นสำหรับระบบฟัซซี

การเข้ารหัสพันธุกรรมในปัญหาทั่วไปนั้น จะนำตัวแปรของปัญหาที่ต้องการหาค่าเหมาะสมมาทำการเข้ารหัสในรูปแบบโครโมโซม ซึ่งในที่นี้ต้องการหาค่าเหมาะสมของโครงสร้างระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีซึ่งได้แก่ ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎฟัซซี ดังนั้นจึงต้องนำพารามิเตอร์ของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและพารามิเตอร์ของฐานกฎมาเข้ารหัสในรูปแบบของโครโมโซม ซึ่งมีรูปแบบแตกต่างกันสำหรับโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิกและโครโมโซมฐานกฎ

เนื่องจากโครโมโซมแบบลำดับชั้นแบ่งยื่นออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งคือยื่นควบคุม (z_c) และยื่นพารามิเตอร์ (z_p) โดยที่ยื่นควบคุมนี้เป็นเลขฐานสองเพื่อทำหน้าที่ระบุสถานะการทำงานของฟังก์ชันภาวะสมาชิก ส่วนยื่นพารามิเตอร์อยู่ในรูปของจำนวนจริงเพื่อทำหน้าที่แสดงฟังก์ชันภาวะสมาชิก ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จากเซตฟัซซีขาเข้าซึ่งคือค่าผิดพลาด (Error: e) และอัตราค่าผิดพลาด (Error rate: Δe) และเซตฟัซซีขาออกซึ่งคือ ค่าพารามิเตอร์ K_P และ K_I ดังนั้นสามารถวางโครงสร้างของโครโมโซมแบบลำดับชั้น โดยกำหนดยื่นพารามิเตอร์ z_p ของโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิกได้ดังสมการที่ 2.1

$$z_p = \{ \alpha_{1a}^E, \alpha_{1b}^E, \alpha_{1c}^E, \dots, \alpha_{ma}^E, \alpha_{mb}^E, \alpha_{mc}^E, \beta_{1a}^{\Delta E}, \beta_{1b}^{\Delta E}, \beta_{1c}^{\Delta E}, \dots, \beta_{na}^{\Delta E}, \beta_{nb}^{\Delta E}, \beta_{nc}^{\Delta E}, \gamma_{1a}^{K_p}, \gamma_{1b}^{K_p}, \gamma_{1c}^{K_p}, \dots, \gamma_{pa}^{K_p}, \gamma_{pb}^{K_p}, \gamma_{pc}^{K_p}, \delta_{1a}^{K_I}, \delta_{1b}^{K_I}, \delta_{1c}^{K_I}, \dots, \delta_{qa}^{K_I}, \delta_{qb}^{K_I}, \delta_{qc}^{K_I} \} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.4: โครงสร้างโครโมโซมแบบลำดับชั้นของฟังก์ชันภาวะสมาชิก

เมื่อ m , n , p และ q เป็นจำนวนเซตฟัซซีย่อยที่มากที่สุดของ e , Δe , K_p และ K_I ตามลำดับ การกำหนดฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีย่อยเป็นดังนี้

- ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีย่อยขาเข้า e ลำดับที่ i กำหนดโดยค่า $\alpha_{ia}^E, \alpha_{ib}^E, \alpha_{ic}^E$
- ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีย่อยขาเข้า Δe ลำดับที่ j กำหนดโดยค่า $\beta_{ja}^{\Delta E}, \beta_{jb}^{\Delta E}, \beta_{jc}^{\Delta E}$
- ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีย่อยขาออก K_p ลำดับที่ k กำหนดโดยค่า $\gamma_{ka}^{K_p}, \gamma_{kb}^{K_p}, \gamma_{kc}^{K_p}$
- ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีย่อยขาออก K_I ลำดับที่ l กำหนดโดยค่า $\delta_{la}^{K_I}, \delta_{lb}^{K_I}, \delta_{lc}^{K_I}$

สำหรับการกำหนดโครโมโซมฐานกฎฟัซซี พบว่าจำนวนกฎฟัซซีขึ้นอยู่กับจำนวนเซตฟัซซีย่อยขาเข้า e และ Δe ซึ่งในที่นี้จำนวนเซตฟัซซีย่อยขาเข้ามีจำนวนไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการระบุสถานะทำงานของยีนควบคุม ดังนั้นโครโมโซมฐานกฎฟัซซีจึงแบ่งเป็นกลุ่มๆ โดยให้สอดคล้องกับการระบุสถานะทำงานของยีนควบคุม ถ้าให้เซตฟัซซีย่อยของ e , Δe , K_p และ K_I ที่ระบุสถานะว่าทำงานจำนวน w , x , y และ z เซตตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงฐานกฎฟัซซีในรูปแบบตาราง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซตฟัซซีขาเข้า e , Δe และเซตฟัซซีขาออก K_p และ K_I ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1: (a) ตารางกฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e , Δe และ K_p (b) ตารางกฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e , Δe และ K_I

	D_1	D_2	\dots	D_j	\dots	D_x
E_1	U_1	U_2	\dots	U_j	\dots	U_x
E_2	U_2	U_3	\dots	U_j	\dots	U_x
\vdots			\ddots			
E_i		\dots		U_k	\dots	
\vdots					\ddots	
E_w	U_i		\dots			U_y

	D_1	D_2	\dots	D_j	\dots	D_x
E_1	V_1	V_2	\dots	V_j	\dots	V_x
E_2	V_2	V_3	\dots	V_j	\dots	V_x
\vdots			\ddots			
E_i		\dots		V_l	\dots	
\vdots					\ddots	
E_w	V_i		\dots			V_z

จากตารางกฎฟัซซีสามารถวางโครงสร้างโครโมโซมฐานกฎ ในรูปเมตริกซ์โครโมโซม $H_{(w,x,y)}$ สำหรับเซตฟัซซีขาออก K_p และเมตริกซ์โครโมโซม $B_{(w,x,z)}$ สำหรับเซตฟัซซีขาออก K_I ซึ่งเป็น

เมตริกซ์ที่มีสมาชิกเป็นจำนวนจริงมีมิติ $w \times x \times y$ และ $w \times x \times z$ ตามลำดับ แสดงดังสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$H_{(w,x,y)} = \{h_{i,j} : h_{i,j} \in [1, y] \quad \forall i \leq w, j \leq x\} \quad (2.2)$$

$$B_{(w,x,z)} = \{b_{i,j} : b_{i,j} \in [1, z] \quad \forall i \leq w, j \leq x\} \quad (2.3)$$

โดยในแต่ละสมาชิกของเมตริกซ์โครโมโซมฐานกฎคือ กฎพีชคณิตแต่ละกฎ ซึ่งสมาชิกตัวที่ $i - j$ สามารถเขียนเป็นกฎได้ดังนี้

$$R_{ij} : \text{If } e \text{ is } E_i \text{ and } \Delta e \text{ is } D_j \text{ then } K_P \text{ is } U_k \text{ and } K_I \text{ is } V_l$$

โดยที่ E_i, D_j, U_k และ V_l คือตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic variables) เช่น large หรือ small เป็นต้น ซึ่งใช้บอกคุณลักษณะของเซตพีชคณิตย่อย $e, \Delta e, K_P$ และ K_I

ตัวอย่างเช่น เมตริกซ์โครโมโซม $H_{(w,x,y)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ และ $B_{(w,x,z)} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$ ซึ่งมี $w = 2, x = 2, y = 2$ และ $z = 3$ สามารถนำมาเขียนเป็นกฎพีชคณิตได้ดังนี้

$$R_{11} : \text{If } e \text{ is } E_1 \text{ and } \Delta e \text{ is } D_1 \text{ then } K_P \text{ is } U_1 \text{ and } K_I \text{ is } V_1$$

$$R_{12} : \text{If } e \text{ is } E_1 \text{ and } \Delta e \text{ is } D_2 \text{ then } K_P \text{ is } U_1 \text{ and } K_I \text{ is } V_2$$

$$R_{21} : \text{If } e \text{ is } E_2 \text{ and } \Delta e \text{ is } D_1 \text{ then } K_P \text{ is } U_1 \text{ and } K_I \text{ is } V_2$$

$$R_{22} : \text{If } e \text{ is } E_2 \text{ and } \Delta e \text{ is } D_2 \text{ then } K_P \text{ is } U_2 \text{ and } K_I \text{ is } V_3$$

2.3.2 การกำหนดขนาดประชากร

การดำเนินการทางพันธุกรรม ต้องมีการเลือกโครโมโซมมาจำนวนหนึ่งเพื่อมาดำเนินการทางพันธุกรรม กลุ่มโครโมโซมหรือกลุ่มคำตอบที่เลือกขึ้นมาเรียกว่า ประชากร (Population) ในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับขั้นนั้น ประชากรถูกเก็บไว้ในหน่วยเก็บประชากร (Population pools) โดยที่กลุ่มโครโมโซมภาวะสมาชิกถูกเก็บไว้ในหน่วยประชากร Λ ขณะที่โครโมโซมฐานกฎพีชคณิตถูกเก็บไว้ในหน่วยเก็บประชากร Ω ในหน่วยเก็บประชากร Λ แบ่งประชากรออกเป็นกลุ่มย่อย $S_{(i,j,k,l)}$ ดังสมการที่ 2.4

$$\Lambda = S_{(2,2,2,2)} \cup S_{(2,2,2,3)} \cdots S_{(2,2,p,q)} \cup S_{(2,3,2,2)} \cdots S_{(2,n,p,q)} \cup S_{(3,2,2,2)} \cdots \cup S_{(m,n,p,q)} \quad (2.4)$$

โดยที่

$$S_{(i,j,k,l)} \cap S_{(w,x,y,z)} = \emptyset \quad \forall (i \neq w \vee j \neq x \vee k \neq y \vee l \neq z) \quad (2.5)$$

ที่ซึ่ง $S_{(i,j,k,l)}$ เป็นกลุ่มโครโมโซมที่ฟังก์ชันภาวะสมาชิกระบุสถานะทำงาน เป็นจำนวน i, j, k และ l เซตของเซตพีชคณิตย่อย $e, \Delta e, K_P$ และ K_I ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนมากที่สุดของกลุ่มประชากรย่อยใน Λ มีจำนวน $(m-1) \times (n-1) \times (p-1) \times (l-1)$ กลุ่ม อาจกำหนดจำนวนสมาชิก (จำนวนโครโมโซม) ในแต่

ละกลุ่มย่อยให้ไม่เกินจำนวน λ โครโมโซม โดยมากมีค่าประมาณ 3-5 โครโมโซม [23] ดังนั้นจึงมีประชากรในหน่วยเก็บประชากร Λ ไม่เกิน $\lambda \times M$ โครโมโซม เมื่อ M เป็นจำนวนกลุ่มที่มากที่สุดที่เป็นไปได้

สำหรับประชากรของเซตกฎพีซี เพื่อให้ประหยัดหน่วยความจำ มีเพียงหนึ่งโครโมโซมในแต่ละกลุ่มย่อย $S_{(w,x,y,z)}$ ซึ่ง w, x, y และ z คือจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่ระบุสถานะทำงานของเซตพีซีย่อย $e, \Delta e, K_p$ และ K_I ตามลำดับ ดังนั้นในหน่วยเก็บประชากร Ω มีประชากรรวมที่มากที่สุดเท่ากับ $(m-1) \times (n-1) \times (p-1) \times (l-1)$ โครโมโซม

2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรมสำหรับโครโมโซมภาวะสมาชิกและโครโมโซมฐานกฎ

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าเพื่อให้โครงสร้างโครโมโซมของฟังก์ชันภาวะสมาชิกมีลักษณะแสดงออกที่ไม่ตายตัว เนื่องจากมีการระบุสถานะการทำงานของยีนพารามิเตอร์โดยยีนควบคุม ดังนั้นโครโมโซมที่มียีนสองประเภทในโครโมโซมเดียวกันนั้นมีการดำเนินการทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันในแต่ละประเภท สำหรับการถ่ายทอดพันธุกรรมใช้การดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรมแบบจุดเดียว โดยกระทำแยกกันในยีนควบคุมและยีนพารามิเตอร์ของโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิก ซึ่งในขั้นตอนการถ่ายทอดพันธุกรรมกระทำด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ในส่วนโครโมโซมฐานกฎพีซีไม่มีการดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรมเนื่องจากใช้เพียงโครโมโซมเดี่ยวต่อหนึ่งกลุ่มย่อยของโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิก

สำหรับขั้นตอนการกลายพันธุ์ของโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิก ยีนควบคุมซึ่งเป็นเลขฐานสองใช้การกลายพันธุ์แบบบิต (Bit mutation) โดยเปลี่ยนจากจำนวน 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็น 1 โดยกระทำด้วยความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เป็น r_c ซึ่งเป็นค่าน้อย ส่วนยีนพารามิเตอร์ซึ่งเป็นจำนวนจริงใช้การกลายพันธุ์แบบสุ่ม (Random mutation) ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$g = g + \psi(\mu, \sigma) \quad (2.6)$$

โดยที่ g คือยีนค่าจริง, ψ คือฟังก์ชันสุ่ม (Random function) ซึ่งอาจเป็นการกระจายแบบเกาส์เซียนหรือแบบปกติ, μ และ σ คือค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของฟังก์ชันสุ่มตามลำดับ

สำหรับโครโมโซมฐานกฎพีซีใช้การกลายพันธุ์แบบพิเศษ ที่เรียกว่าการดำเนินการเดลต้า (Delta operation) [1] ซึ่งทำการกลายพันธุ์ในแต่ละสมาชิกของเมตริกซ์โครโมโซมดังนี้

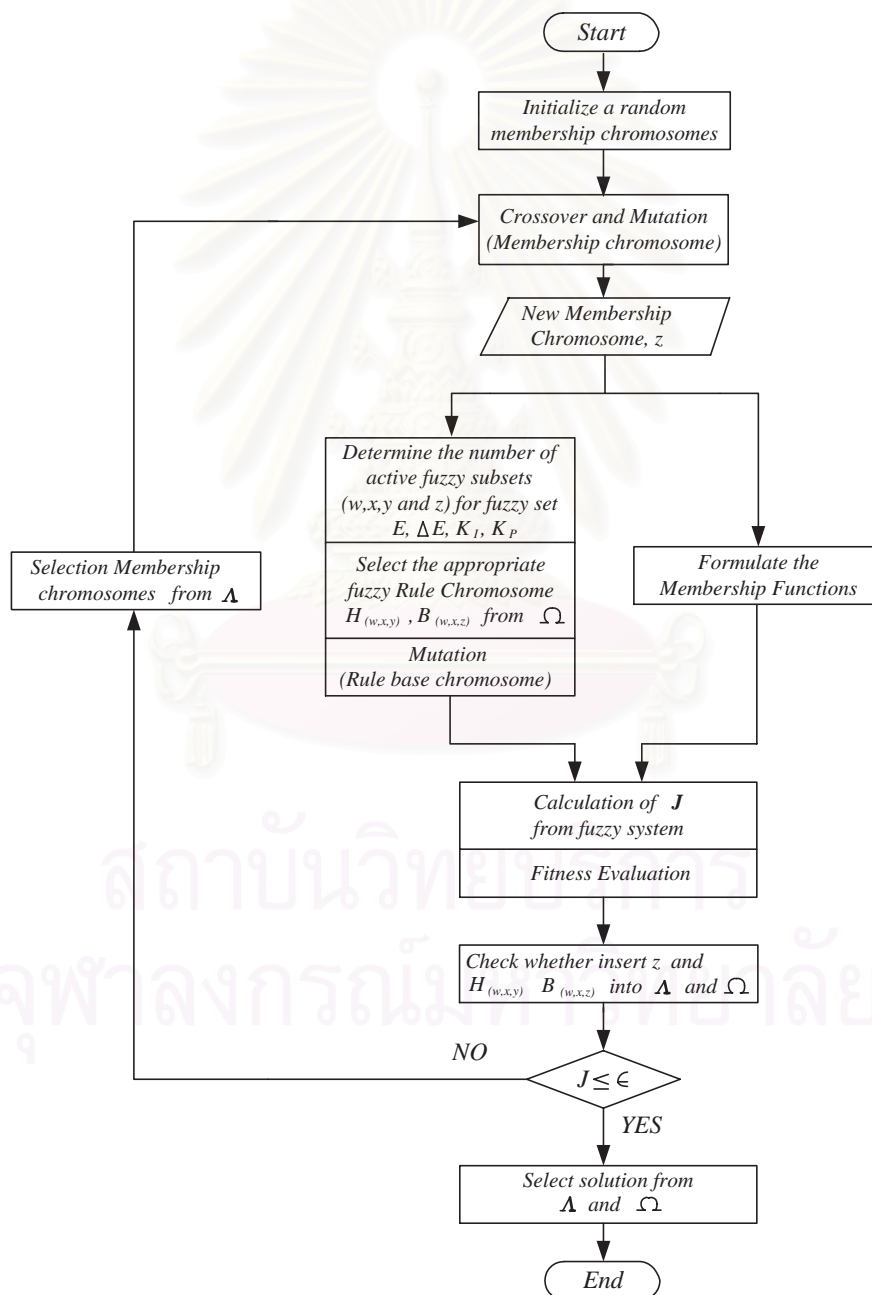
$$h_{i,j} = h_{i+\Delta i, j+\Delta j} \quad (2.7)$$

โดยที่ Δi และ Δj มีค่าเท่ากับ 1 หรือ -1 ซึ่งกระบวนการนี้กระทำด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.01 [23] ด้วยวิธีการกลายพันธุ์แบบพิเศษนี้สามารถทำให้หาฐานกฎที่เหมาะสมได้

หลังจากผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรม การแลกเปลี่ยนพันธุกรรมและการกลายพันธุ์แล้ว โครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎทุกโครโมโซม ถูกนำมาคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation) เพื่อใช้ในการคัดเลือกพันธุกรรม โครโมโซมทั้งสองชนิดถูกถอดรหัส เพื่อสร้างฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎของตัวกำกับดูแลพีซี จากนั้นนำไปใช้ควบคุมระบบและคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function: F) โดยสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่งกับฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function: J) ของระบบ หลังจากนั้นทำการคัดเลือกพันธุกรรม โดยวิธยานิพนธ์นี้เลือกวิธีการคัดเลือกตามวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette Wheel

Selection) [1, 3] เนื่องจากเข้าใจได้ง่าย และสามารถคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงได้อย่างถูกต้อง

อย่างไรก็ตามโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่ผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมแล้ว อาจทำให้ได้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่ผิดพลาดเกิดขึ้น กล่าวคือให้ฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงโดยไม่สอดคล้องเงื่อนไข $\alpha_{ia}^E < \alpha_{ib}^E < \alpha_{ic}^E$ และ $\alpha_{ia}^E < \alpha_{(i+1)a}^E$ ดังนั้นจึงเลือกโครโมโซมฟังก์ชันภาวะสมาชิกเฉพาะที่ตรวจสอบว่าให้พารามิเตอร์ที่ถูกต้องแล้วเท่านั้น ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นสรุปขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.5

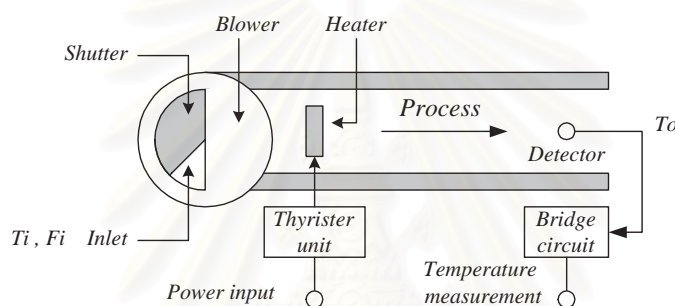


รูปที่ 2.5: ลำดับขั้นตอนของการดำเนินการทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น

2.4 การจำลองระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ในส่วนนี้นำเสนอตัวอย่างการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการหาโครงสร้างของระบบพีซีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมรองที่ทำหน้าที่กำกับดูแลตัวควบคุมพีไอแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยทำการจำลองกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ซึ่งเป็นระบบอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลาและเป็นระบบหนึ่งสัญญาณเข้าหนึ่งสัญญาณออก (SISO) โดยพิจารณาการควบคุมระบบในปัญหาการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิง

2.4.1 ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและแบบจำลอง



รูปที่ 2.6: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6 โดยประกอบไปด้วยพัดลม (Blower) ที่ทำงานด้วยความเร็วคงที่ มีหน้าที่ดูดอากาศให้เข้าไปหมุนเวียนภายในท่ออากาศ สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าด้วยการปรับบานปิดเปิด (Shutter) อากาศที่ผ่านเข้าไปในท่อผ่านเครื่องทำความร้อน ซึ่งมีไทรสเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน และสร้างกำลังงานให้แก่เครื่องทำความร้อนตามการกระตุ้นของสัญญาณควบคุม จากนั้นอากาศร้อนไหลไปยังปลายท่อ และทำการวัดอุณหภูมิที่ปลายท่อด้วยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ อุณหภูมิที่วัดได้ผ่านวงจรบริดจ์เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมต่อไป

เนื่องจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิติดตั้งอยู่ที่ปลายท่อ จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์หน่วงเวลาเนื่องจากการเดินทาง (Transportation lag) กล่าวคือ อากาศใช้เวลาเดินทางจากปลายท่อด้านหนึ่งมายังอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเป็นเวลา τ วินาที ทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้า ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกที่ปลายท่อจนกระทั่งเวลา τ วินาทีต่อมา ปรากฏการณ์เช่นนี้ส่งผลให้ควบคุมได้ยาก อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของอากาศยังส่งผลต่อพลวัตของระบบอีกด้วย นอกจากนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็มีลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นในสถานะอยู่ตัว ดังนั้นระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพควรสามารถควบคุมอุณหภูมิขาออกได้ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิงหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งการใช้ตัวควบคุมพีไอก็สามารถทำการควบคุมได้ดี แต่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ดังนั้นการใช้ตัวควบคุมพีไอที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ด้วยระบบตรรกศาสตร์พีซี จึงมีความเหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความ

ร้อนที่ใช้ในการจำลองระบบ เป็นระบบที่ประมาณเป็นอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา โดยอ้างอิงจาก [8] ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{10e^{-0.13s}}{0.33s + 1} \quad (2.8)$$

โดยที่ สัญญาณเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และสัญญาณออกคืออุณหภูมิที่ปลายท่อ (องศาเซลเซียส)

2.4.2 การจำลองระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการจำลองระบบพิจารณาการควบคุมในปัญหาการเปลี่ยนสัญญาณอ้างอิง โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกในวินาทีที่ 6 จาก 20 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลงสู่ 20 องศาเซลเซียส ที่เวลาวินาทีที่ 12 สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสมเป็นดังนี้

- ค่าพารามิเตอร์ของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี
 - $e \in [-50, 50]$ และ $\Delta e \in [-5000, 5000]$
 - $K_P \in [0.06, 0.3]$ และ $K_I \in [0.2, 0.5]$
 - ใช้ Minimum Inference Engine
 - ใช้ Center Average Defuzzifier
- ค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น
 - กำหนดให้ขนาดเซตฟัซซีย่อยขาเข้า e และ Δe มากที่สุดไม่เกิน 5 เซต และเซตฟัซซีย่อยขาออก K_P และ K_I จำนวนคงที่ 2 เซต นั่นคือ $m = n = 5$ และ $p = q = 2$
 - ทำการค้นหาเป็นจำนวน 25 รุ่น
 - ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2: ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: กรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

	โครโมโซมภาวะสมาชิก		โครโมโซม
	ยีนควบคุม	ยีนพารามิเตอร์	ฐานกฎ
การเข้ารหัส	เลขฐานสอง	จำนวนจริง	จำนวนเต็ม
ขนาดประชากร	20	20	16
จำนวนพ่อแม่	2	2	
การถ่ายทอดพันธุกรรม	แบบหนึ่งจุด	แบบหนึ่งจุด	-
ความน่าจะเป็น	0.9	0.9	-
การกลายพันธุ์	กลายพันธุ์แบบบิต	กลายพันธุ์แบบสุ่ม	การดำเนินการเดลต้า
ความน่าจะเป็น	0.01	0.01	0.01
การคัดเลือก	วงล้อรูเล็ต		คัดเลือกตามการระบุสถานะโดยยีนควบคุม

สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์และฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function: F) ที่ใช้ในการค้นหาแบ่งเป็น 2 กรณีที่เป็นที่นิยมสำหรับปัญหาการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิงแบบขั้น และปัญหาการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งฟังก์ชันความเหมาะสมเลือกให้มีลักษณะเป็นค่าผกผันกับฟังก์ชันจุดประสงค์ ซึ่ง Wang [8] ได้แนะนำว่าฟังก์ชันความเหมาะสมในลักษณะนี้ เพิ่มความไวต่อการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงๆ แต่ละครณีนีมีรายละเอียดดังนี้

- กรณีที่ 1 เลือกฟังก์ชันจุดประสงค์แบบผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองดังสมการที่ (2.9) และเลือกฟังก์ชันความเหมาะสม แสดงดังสมการที่ (2.10)

$$J_1 = \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (2.9)$$

$$F_1 = \frac{10^6}{J_1} \quad (2.10)$$

- กรณีที่ 2 เลือกฟังก์ชันจุดประสงค์แบบผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาดดังสมการที่ (2.11) และเลือกฟังก์ชันความเหมาะสม แสดงดังสมการที่ (2.12)

$$J_2 = \sum_{i=1}^k |e_i| \quad (2.11)$$

$$F_2 = \frac{10^5}{J_2} \quad (2.12)$$

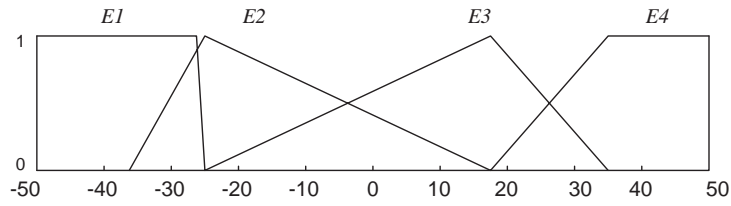
โดยที่ e_i คือ ค่าผิดพลาดที่คาบการสุ่มที่ i

2.4.3 ผลการจำลองระบบ

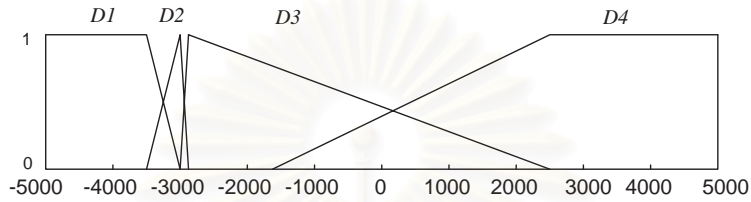
จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้กล่าวในหัวข้อที่แล้วนำมาค้นหาโครงสร้างฟuzzy และจากโครงสร้างฟuzzy ที่ได้นำมาทำการจำลองกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และนำผลตอบที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลตอบที่ได้จากการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีโอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีของ Åström และ Hägglund [27] เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของผลตอบ

จากการหาค่าเหมาะสมจำนวน 25 รุ่น และทำการเลือกโครงสร้างฟuzzy ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงที่สุด จากกรณีที่ 1 ซึ่งใช้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และค่าความเหมาะสมเป็น J_1 และ F_1 ตามลำดับ พบว่าได้โครงสร้างของระบบฟuzzy ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาเข้า e และ Δe จำนวน 4 เซตเท่ากัน และมีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาออก K_P และ K_I มีจำนวน 2 เซตและมีรูปร่างดังรูปที่ 2.9(a) และ 2.9(b) สำหรับกฎฟuzzy ที่เหมาะสม ของเซตฟuzzyขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 2.4(a) และ 2.4(b)

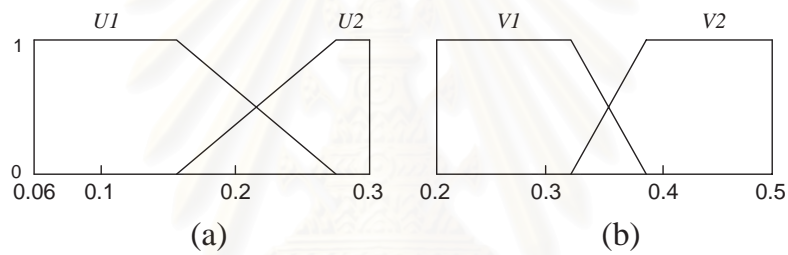
สำหรับกรณีที่ 2 ซึ่งใช้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และค่าความเหมาะสมเป็น J_2 และ F_2 ตามลำดับ พบว่าได้โครงสร้างของระบบฟuzzy ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาเข้า e และ Δe จำนวน 3 เซตและ 2 เซตตามลำดับ และมีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาออก K_P และ K_I มีจำนวน 2 เซตและมีรูปร่างดังรูปที่ 2.12(a) และ (b) สำหรับกฎฟuzzy ที่เหมาะสม ของเซตฟuzzyขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 2.4(a) และ (b)



รูปที่ 2.7: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : กรณี J_1



รูปที่ 2.8: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : กรณี J_1



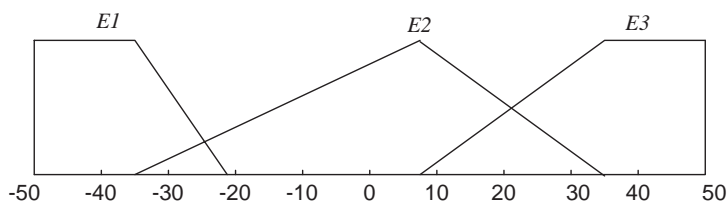
รูปที่ 2.9: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_I : กรณี J_1

ตารางที่ 2.3: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณี J_1

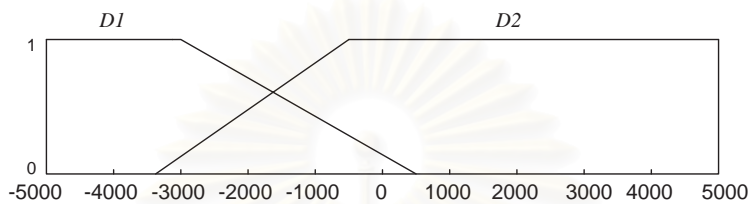
		Δe			
		D_1	D_2	D_3	D_4
e	E_1	U_2	U_1	U_1	U_1
	E_2	U_2	U_2	U_2	U_2
	E_3	U_2	U_1	U_1	U_1
	E_4	U_2	U_1	U_2	U_1

		Δe			
		D_1	D_2	D_3	D_4
e	E_1	V_2	V_1	V_1	V_1
	E_2	V_2	V_2	V_2	V_2
	E_3	V_2	V_1	V_1	V_1
	E_4	V_2	V_2	V_2	V_2

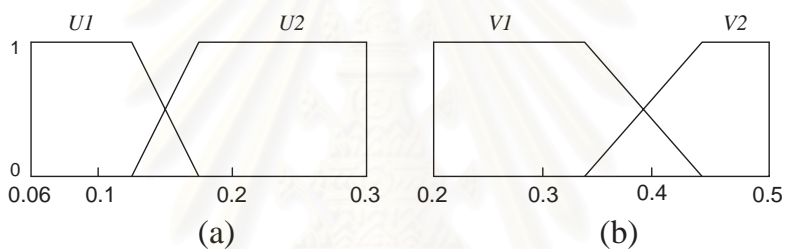
เมื่อนำค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของทั้งสองกรณีมาวาดกราฟ แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งสังเกตเห็นว่ามีการลดลงของค่าจุดประสงค์ในแต่ละรุ่น สำหรับผลตอบของอนุภูมิและสัญญาณควบคุมทั้งสองกรณี เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบที่ได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström และ Hägglund แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 ตามลำดับ ซึ่งผลตอบของกรณีที่ 1 มีเวลาขาขึ้น (Rise time) สั้นที่สุด ส่วนกรณีที่ 2 มีเวลาเข้าที่ (Settling time) สั้นที่สุดและค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ต่ำที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามทั้งสองกรณีให้ค่าพุ่งเกินต่ำกว่าวิธี Åström และ Hägglund และเมื่อพิจารณาที่สัญญาณควบคุม พบว่ากรณีที่ 1 ใช้สัญญาณควบคุมใกล้เคียงกับวิธี Åström และ Hägglund ส่วนกรณีที่ 2 ใช้สัญญาณควบคุมต่ำที่สุด



รูปที่ 2.10: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : กรณี J_2



รูปที่ 2.11: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : กรณี J_2

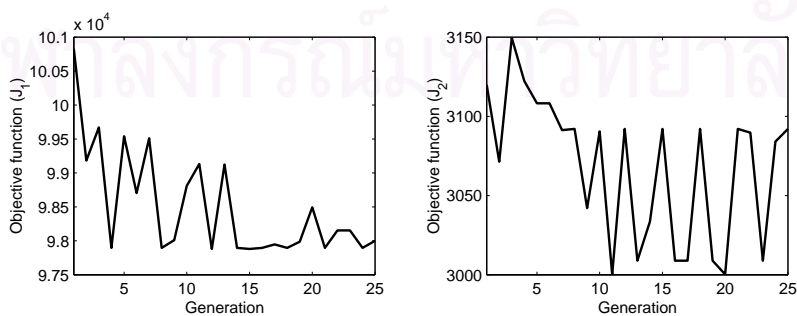


รูปที่ 2.12: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_I : กรณี J_2

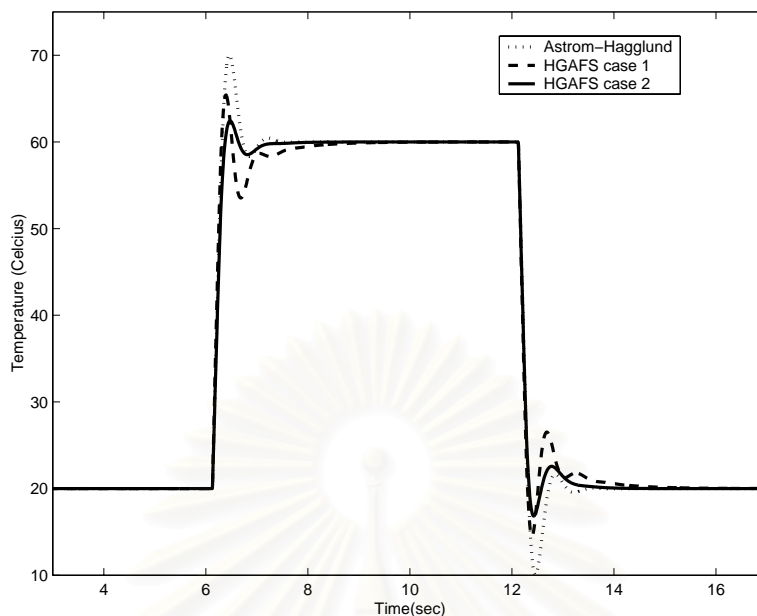
ตารางที่ 2.4: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณี J_2

	Δe	
	D_1	D_2
E_1	U_1	U_2
E_2	U_2	U_1
E_3	U_1	U_2

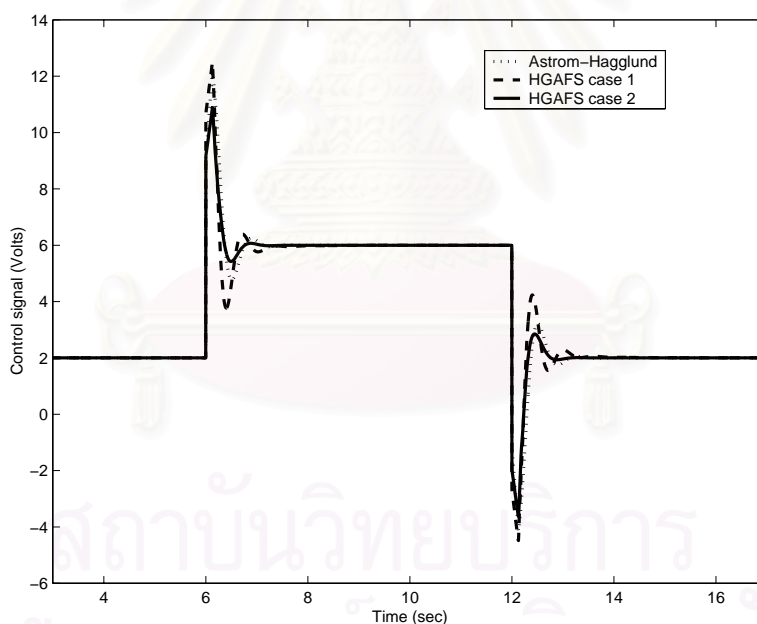
	Δe	
	D_1	D_2
E_1	V_1	V_1
E_2	V_2	V_2
E_3	V_1	V_1



รูปที่ 2.13: ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของทั้งสองกรณี

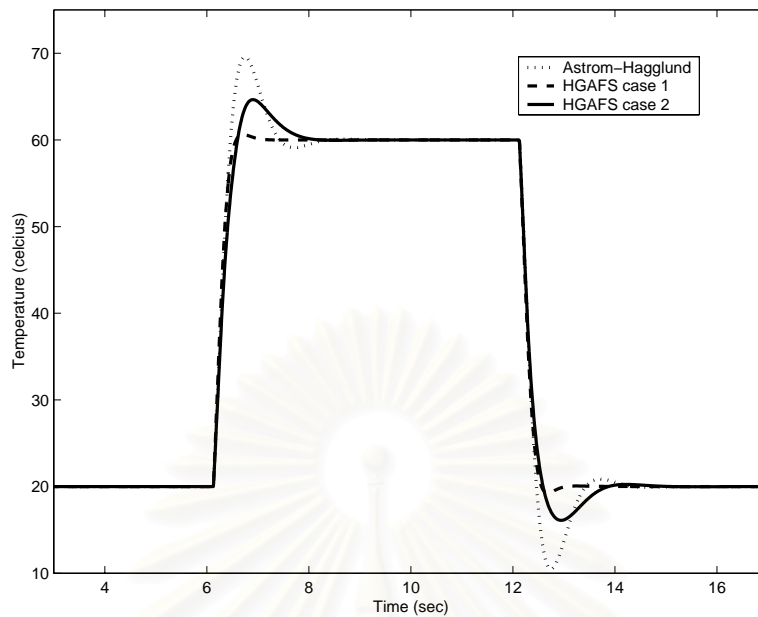


รูปที่ 2.14: ผลตอบทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund

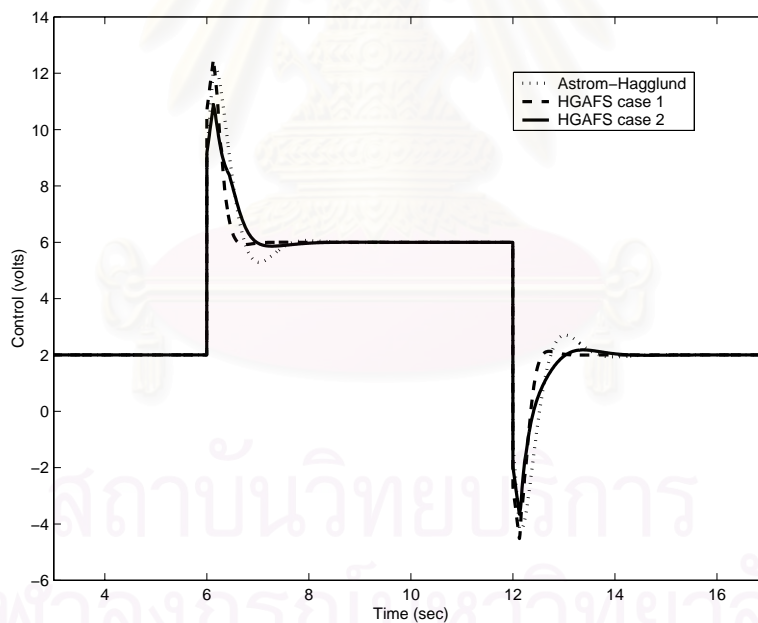


รูปที่ 2.15: สัญญาณควบคุมทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ค่าคงที่ทางเวลาเปลี่ยนจาก 0.33 วินาที เป็น 0.6 วินาที ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่ได้และตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström และ Hägglund ให้ผลการควบคุม แสดงดังรูปที่ 2.16 และ 2.17 จากผลการควบคุม เห็นได้ว่าตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีทั้งสองกรณี สามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström และ Hägglund กล่าวคือ ตัวควบคุมในกรณีที่ 1 ให้เวลาขาขึ้น เวลาเข้าที่ และค่าพุ่งเกินต่ำที่สุด



รูปที่ 2.16: ผลตอบทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ



รูปที่ 2.17: สัญญาณควบคุมทั้งสองกรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Åström และ Hägglund ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ

ส่วนในกรณี 2 ก็ยังให้เวลาเข้าที่ และค่าพุ่งเกินต่ำกว่าผลตอบจากตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström และ Hägglund อีกทั้งเมื่อพิจารณาสัญญาณควบคุม พบว่าตัวควบคุมกรณีที่ 1 ใช้สัญญาณควบคุมใกล้เคียงกับกรณีตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström และ Hägglund ส่วนกรณีที่ 2 ใช้สัญญาณควบคุมต่ำที่สุด

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ซึ่งมีความสามารถในการหาจำนวนพร้อมด้วยรูปร่างฟังก์ชันภาวะสมาชิกและหาฐานกฎที่เหมาะสม และได้แสดงตัวอย่างการออกแบบตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยระบบฟัซซี่ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยได้ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น หาโครงสร้างที่เหมาะสมของตัวกำกับดูแลฟัซซี่ ที่ใช้ปรับจูนตัวควบคุมพีไอ โดยได้พิจารณาในปัญหาการเปลี่ยนแปลงค่าอ้างอิง และใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ในการค้นหา 2 ฟังก์ชันที่แตกต่างกันได้แก่ ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (J_1) และผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาด (J_2) ซึ่งจากการค้นหาค่าเหมาะสมจำนวน 25 รุ่น พบว่าโครงสร้างตรรกศาสตร์ฟัซซี่ที่ได้มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎขนาดเล็กทั้งสองกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลตอบที่ได้ทั้งสองกรณี กับผลตอบจากตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström-Hägglund พบว่าตัวควบคุมที่ได้ทั้งสองกรณีให้ผลตอบที่ดีกว่า เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ พบว่าตัวควบคุมทั้งสองกรณียังสามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าได้ อย่างไรก็ตามฟังก์ชันจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน ทำให้ได้โครงสร้างของตัวควบคุมและผลตอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การเลือกฟังก์ชันจุดประสงค์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละปัญหา

บทที่ 3

ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลับแยกสารผสมสองชนิด

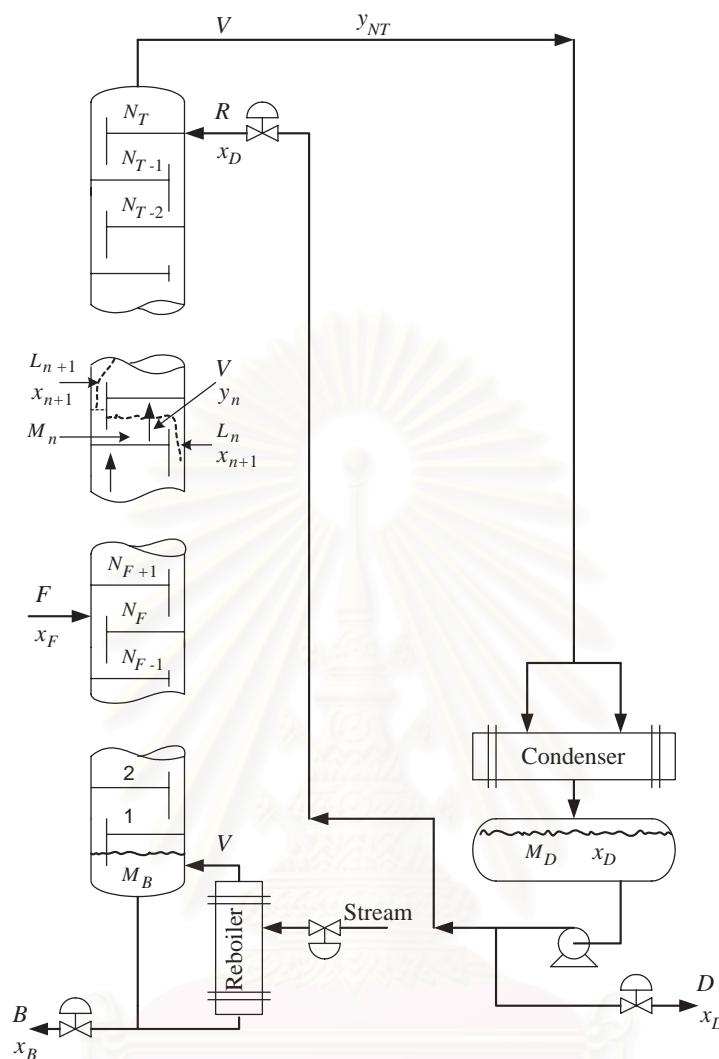
หอกลับซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานในอุตสาหกรรมเคมีทั่วไป เป็นระบบที่มีปัญหาด้านการควบคุมมาก เนื่องจากเป็นระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก (Multi-input-Multi-output: MIMO) มีความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และมีการกระทำระหว่างวงรอบควบคุม (Loop interaction) ในอุตสาหกรรมการกลั่นทั่วไป ใช้ตัวควบคุมพีไอหรือพีดีในการควบคุม ปัญหาดังกล่าวจึงทำให้การปรับจูนตัวควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงานทำได้ยาก ต้องอาศัยเวลาและประสบการณ์ ดังนั้นแนวคิดการใช้ตัวกำกับดูแลพีซีที่เหมาะสมปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ แทนผู้ปฏิบัติงานจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

จากการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซี และตัวอย่างการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพีซีแบบเหมาะสมที่สุดในบทที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมระบบหนึ่งสัญญาณเข้าหนึ่งสัญญาณออกได้เป็นอย่างดี ในบทนี้ได้นำตัวควบคุมดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ควบคุมหอกลับแยกสารผสมสองชนิด โดยได้ออกแบบตัวกำกับดูแลพีซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจำลองระบบที่หัวข้อ 3.1 และทำการทดลองควบคุมจริงกับหอกลับแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการระบบควบคุมในหัวข้อ 3.2

3.1 การจำลองระบบควบคุมหอกลับแยกสารผสมสองชนิด

3.1.1 โครงสร้างของหอกลับแยกสารผสมสองชนิด

โครงสร้างของหอกลับแยกสารผสมสองชนิดที่ใช้ในการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.1 ในการกลั่นตามโครงสร้างนี้ สารผสมที่ต้องการกลั่นบรรจุอยู่ในหม้อต้มซ้ำ (Reboiler) ซึ่งอยู่ตอนล่างของหอกลับ กระบวนการกลั่นเริ่มจาก สารผสมที่อยู่ในหม้อต้มและสารที่ป้อนเข้ามากลางหอได้รับความร้อนจากตัวทำความร้อน เมื่อสารผสมมีอุณหภูมิสูงพอ สารที่มีจุดเดือดต่ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ไอของสารผสมนี้ผ่านไปยังชั้น (Trays) ต่างๆ ของหอกลับ และเกิดการกลั่นลำดับส่วนภายในแต่ละชั้น โดยไอของสารที่ออกจากชั้นบนสุดของหอ มีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าอยู่ในปริมาณมาก ขณะเดียวกันภายในหม้อต้มซ้ำมีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดสูงกว่ามากขึ้นเรื่อยๆ ไอของสารที่มีจุดเดือดต่ำออกจากยอดหอและผ่านเครื่องควบแน่นซึ่งมีน้ำเป็นสารถ่ายเทความร้อน ควบแน่นเป็นของเหลวที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งเรียกว่าสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ จากนั้นผ่านไปยังวาล์วป้อนกลับสารยอดหอ วาล์วนี้สามารถควบคุมให้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไหลกลับเข้าไปยังยอดหอบางส่วน เรียกว่าการป้อนกลับยอดหอ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ และวาล์วสามารถควบคุมให้สารผลิตภัณฑ์ยอดหอบางส่วนไหลออกสู่ภาชนะเก็บสารผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาที่หม้อต้มซ้ำ มีความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำ



รูปที่ 3.1: โครงสร้างของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด

ลดลงไปเรื่อยๆ ของเหลวที่ได้จากหม้อต้มซ้ำเรียกว่า สารผลิตภัณฑ์ฐานหอ ซึ่งบางส่วนได้ถูกนำไปป้อนกลับเข้าที่ฐานหอ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ

จุดประสงค์ของการควบคุมหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดคือ การควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ (Top composition: x_D) และหรือสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ (Bottom composition: x_B) ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ ถ้าหากมีความเข้มข้นน้อยหรือมากกว่าที่กำหนด สารผลิตภัณฑ์จะไม่ได้คุณภาพ เป็นการเพิ่มต้นทุนเนื่องจากการสิ้นเปลืองพลังงานและวัตถุดิบ

ในการควบคุมค่า x_B และ x_D นั้นตัวแปรอิสระที่ใช้ควบคุมขึ้นอยู่กับโครงสร้างการควบคุมซึ่งมีได้หลายโครงสร้างในวิทยานิพนธ์นี้ใช้โครงสร้างการควบคุมแบบ LV ลักษณะโครงสร้างการควบคุมแบบนี้ คือใช้อัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอ (Reflux rate: R) และอัตราการต้มซ้ำ (Reboiler rate: V) ควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอและฐานหอตามลำดับ ในกระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องนั้น มีการป้อนสารวัตถุดิบเข้าที่กลางหอ ซึ่งในภาวะปกติที่จุดทำงานของกระบวนการกลั่น อัตราการป้อนสาร

เข้าห่อ (Feed rate: F) และความเข้มข้นของสารที่ป้อน (Feed composition: z) นั้นมีค่าคงที่ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลง (ทั้งอัตราการป้อนและความเข้มข้น) ถือเป็น การรบกวนระบบ (Disturbance)

3.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ คือแบบจำลองหอกลั่นของ Luyben [28] ซึ่งพิจารณาเป็นระบบแยกสารผสมสองชนิดในอุดมคติ ที่มีการระเหยสัมพัทธ์ (Relative Volatility) คงที่ตลอดทั้งหอ สมการอย่างง่ายของสมดุลไอ-ของเหลวเป็นดังนี้

$$y_n = \frac{\alpha x_n}{1 + (\alpha - 1)x_n} \quad (3.1)$$

โดยที่ x_n คือ องค์ประกอบสารในสารผสมสถานะของเหลว

y_n คือ องค์ประกอบสารในสารผสมสถานะของเหลว

α คือ ค่าความสามารถในการกลายเป็นไอสัมพัทธ์

ในการพิจารณาแบบจำลองแยกได้เป็นส่วนดังนี้ เมื่อพิจารณาที่เครื่องควบแน่นและเครื่องป้อนเวียนรอบ (Reflux drum) ไอกจากยอดหอชั้น N_T ลอยขึ้นด้วยอัตรา V โมล/นาที่ ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่สมมติให้เท่ากันทุกชั้นของหอ (เนื่องจากละลายปริมาณไอที่ตกค้างในแต่ละชั้น) ผ่านเครื่องควบแน่นและควบแน่นเป็นของเหลวไหลสู่เครื่องป้อนเวียนรอบ (ละลายเวลาในการเดินทางจากยอดหอไปยังเครื่องป้อนเวียนรอบ) สมมติว่าของเหลวภายในเครื่องป้อนเวียนรอบผสมกันอย่างสมบูรณ์มีความเข้มข้น x_D และมีจำนวน M_D โมล ของเหลวส่วนหนึ่งถูกป้อนกลับมายังยอดหอด้วยอัตรา R โมล/นาที่ และอีกส่วนถูกถ่ายออกไปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยอัตรา D โมล/นาที่ ดังนั้นเมื่อละลายพลวัตของเครื่องป้อนเวียนรอบ สามารถแสดงสมการอนุพันธ์ ได้ดังสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

$$D = V - R \quad (3.2)$$

$$M_D \frac{dx_D}{dt} = V y_{NT} - V x_D \quad (3.3)$$

เมื่อพิจารณาที่ฐานหอ โดยสมมติว่าของเหลวในหม้อต้มซ้ำผสมกันอย่างสมบูรณ์โดยมีความเข้มข้น x_B และมีจำนวน M_B โมล ผลิตภัณฑ์ฐานหอส่วนหนึ่งถูกส่งออกภายนอกด้วยอัตรา B โมล/นาที่ ส่วนไอจากการต้มมีความเข้มข้น y_B ลอยสู่ชั้นสูงกว่าด้วยอัตรา V โมล/นาที่ ดังนั้นเมื่อละลายพลวัตของหม้อต้มซ้ำ สามารถแสดงสมการอนุพันธ์ได้ดังสมการ (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

$$B = L_1 - V \quad (3.4)$$

$$M_B \frac{dx_B}{dt} = L_1 x_1 - V y_B - B x_B \quad (3.5)$$

ในแต่ละชั้นของตัวหอยมีของเหลวซึ่งผสมกันอย่างสมบูรณ์จำนวน M_n และมีความเข้มข้น x_n ดังนั้นได้สมการอนุพันธ์ ในแต่ละชั้นดังนี้

$$\frac{dM_n}{dt} = F_n + L_{n+1} - L_n \quad (3.6)$$

$$\frac{d}{dt}(M_n x_n) = F_n x_n + L_{n+1} x_{n+1} + V y_{n-1} - L_n x_n - V y_n \quad (3.7)$$

$$L_n = \bar{L}_n + (M_n - \bar{M}_n)/\beta \quad (3.8)$$

โดยที่ F_n มีค่าไม่เป็นศูนย์อยู่เพียงชั้นเดียวคือ ชั้น N_F ซึ่งเป็นชั้นที่ทำการป้อนสารผสมเข้า ส่วน \bar{L}_n และ \bar{M}_n คือค่าเริ่มต้นสถานะคงตัว (initial steady-state) และ β คือ ค่าคงที่ ซึ่งสัมพันธ์กับของเหลวบนถาด

แบบจำลองข้างต้นเป็นระบบไม่เชิงเส้น ในการจำลองต้องทำให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงาน โดยมีจุดทำงานและค่าคงที่ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 และกำหนดให้หอกลั่นมีทั้งหมด 20 ชั้น มีการป้อนสารผสมเข้าที่ชั้นที่ 10

ตารางที่ 3.1: จุดทำงานของหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด

จุดทำงานอื่นๆ	ความเข้มข้นที่จุดทำงาน
$\bar{x}_D = 0.98$	ชั้นที่ x_n
$\bar{x}_B = 0.02$	Bottoms 0.02
$\bar{z} = 0.5$	1 0.035
$\bar{D} = 50$ (lb-mol)/min	2 0.05719
$\bar{B} = 50$ (lb-mol)/min	3 0.08885
$\bar{R} = 178.01$ (lb-mol)/min	4 0.1318
$\bar{V} = 128.01$ (lb-mol)/min	5 0.18622
$\bar{F} = 100$ (lb-mol)/min	6 0.24951
$\bar{M}_n = 10$ (lb-mol)/min	7 0.31618
	8 0.37948
ค่าคงที่	9 0.43391
	10 0.47688
$N_T = 20$	11 0.51526
$N_F = 10$	12 0.56295
$M_D = 100$ (lb-mol)/min	13 0.61896
$M_B = 100$ (lb-mol)/min	14 0.68052
$\beta = 0.1$ min	15 0.74345
$\alpha = 2$	16 0.80319
	17 0.85603
	18 0.89995
	19 0.93458
	20 0.96079
	Distillate 0.98

3.1.3 การจำลองระบบควบคุมหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

การหาฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับระบบฟัซซี่ ได้กระทำในทั้งสองวงรอบควบคุม แต่เนื่องจากการกระทำระหว่างวงรอบควบคุม ดังนั้นจึงหาค่าเหมาะสมที่ละวงรอบ กล่าวคือ เมื่อทำการหาค่าเหมาะสมในวงรอบบน วงรอบล่างใช้เพียงตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichol ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่ให้ผลตอบที่ยอมรับได้ และใช้วิธีเดียวกันนี้ในการหาค่าเหมาะสมวงรอบล่าง ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมของแต่ละวงรอบควบคุม นำมาควบคุมพร้อมกันสองวงรอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม ดังนั้นแยกเป็นกรณีได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2: กรณีต่างๆ ในการหาค่าเหมาะสม

กรณีที่	วงรอบยอดหอก	วงรอบฐานหอก
1	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี่แบบเหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichol
2	ใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichol	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี่แบบเหมาะสมที่สุด
3	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี่แบบเหมาะสมที่สุด	ใช้ตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซี่แบบเหมาะสมที่สุด

ในการศึกษาสมรรถนะในการควบคุม ได้พิจารณาปัญหาการกำจัดสัญญาณรบกวน ในที่นี้กำหนดให้ การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอกเป็นสัญญาณรบกวน จากบทความ [29, 30] ได้กำหนดขนาดของการเปลี่ยนแปลง อัตราการป้อนสารไว้ระหว่าง 10 ถึง 20% ของค่าที่จุดทำงาน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ใช้การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง 10% ของค่าที่จุดทำงาน โดยเพิ่มอัตราการป้อนสารเข้าจาก 100 lb-mol/min เป็น 110 lb-mol/min ที่เวลาหน้าที่ 20 และเปลี่ยนไปเป็น 90 lb-mol/min ที่หน้าที่ 150 สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสมเป็นดังนี้

- ค่าพารามิเตอร์ของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี่
 - $e \in [-0.01, 0.01]$ และ $\Delta e \in [-0.1, 0.1]$
 - วงรอบควบคุมยอดหอก: $K_P \in [500, 1500]$ และ $K_I \in [100, 1000]$
 - วงรอบควบคุมฐานหอก: $K_P \in [1000, 2000]$ และ $K_I \in [200, 900]$
 - ใช้ Minimum inference engine และ Center average defuzzifier
- ค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น
 - กำหนดให้ขนาดเซตฟัซซี่ย่อยขาเข้า e และ Δe มากที่สุดไม่เกิน 5 เซต และเซตฟัซซี่ย่อยขาออก K_P และ K_I จำนวนคงที่ 2 เซต นั่นคือ $m = n = 5$ และ $p = q = 2$
 - ทำการค้นหาเป็นจำนวน 15 รุ่น
 - ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3: ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด

	โครโมโซมภาวะสมมาตร		โครโมโซม ฐานกฎ
	ยีนควบคุม	ยีนพารามิเตอร์	
การเข้ารหัส	เลขฐานสอง	จำนวนจริง	จำนวนเต็ม
ขนาดประชากร จำนวนพ่อแม่	20 2	20 2	16
การถ่ายทอดพันธุกรรม ความน่าจะเป็น	แบบหนึ่งจุด 0.9	แบบหนึ่งจุด 0.9	- -
การกลายพันธุ์ ความน่าจะเป็น	กลายพันธุ์แบบบิต 0.01	กลายพันธุ์แบบสุ่ม 0.01	การดำเนินการเตลต้า 0.01
การคัดเลือก	วงล้อรูเล็ต		คัดเลือกตามการ ระบุสถานะ โดยยีนควบคุม

สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์และฟังก์ชันความเหมาะสม เลือกเช่นเดียวกับตัวอย่างการจำลองกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงได้ดังสมการ (3.9) และ (3.10)

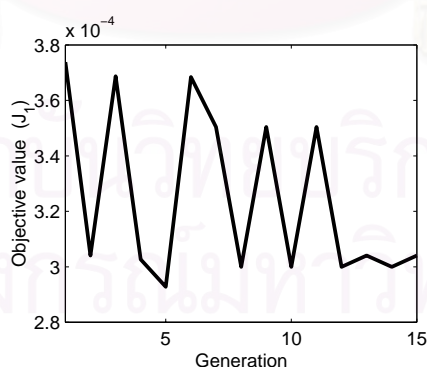
$$J = \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (3.9)$$

$$F = \frac{0.1}{J} \quad (3.10)$$

โดยที่ e_i คือ ค่าผิดพลาดที่คาบการสุ่มที่ i

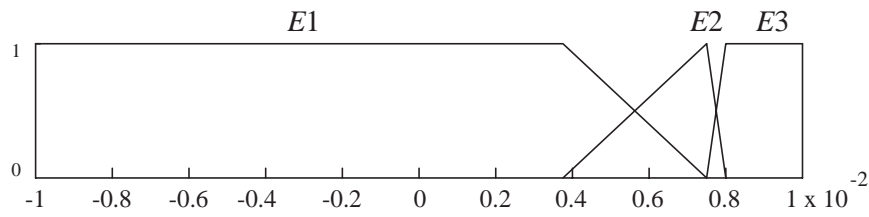
3.1.4 ผลการจำลองระบบ

กรณีที่ 1

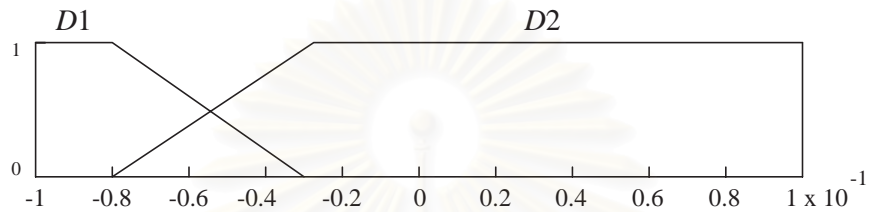


รูปที่ 3.2: ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: กรณีที่ 1

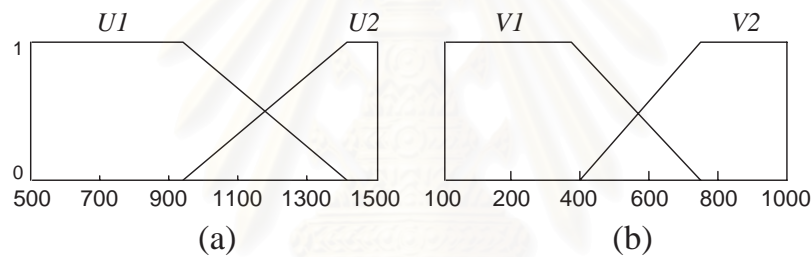
จากการหาค่าเหมาะสมจำนวน 15 รุ่น สามารถแสดงค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นได้ดังรูป 3.2 เมื่อทำการเลือกโครงสร้างฟิชชีที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงที่สุด พบว่าได้โครงสร้างของระบบฟิชชีสำหรับวงรอบควบคุมยอดหอ ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมมาตรขาเข้า e และ Δe จำนวน 3 และ 2 เซต ตามลำดับ และมีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมมาตรขาออก K_P และ K_I มีจำนวน



รูปที่ 3.3: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : กรณีที่ 1



รูปที่ 3.4: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : กรณีที่ 1



รูปที่ 3.5: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_I : กรณีที่ 1

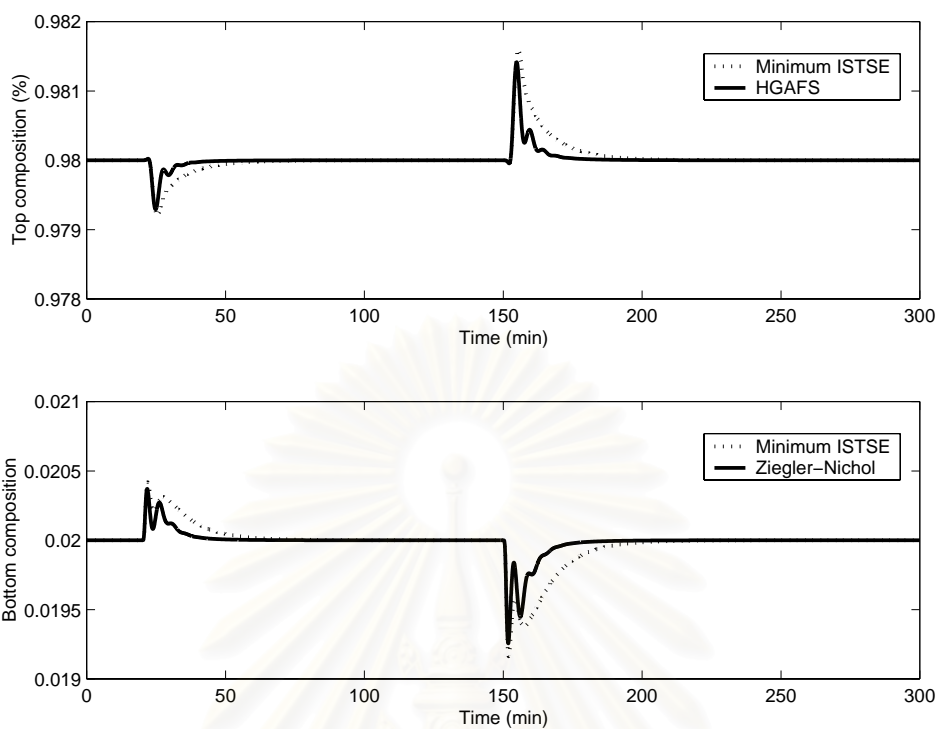
ตารางที่ 3.4: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณีที่ 1

	Δe	
	D_1	D_2
E_1	U_2	U_2
e E_2	U_2	U_1
E_3	U_2	U_2

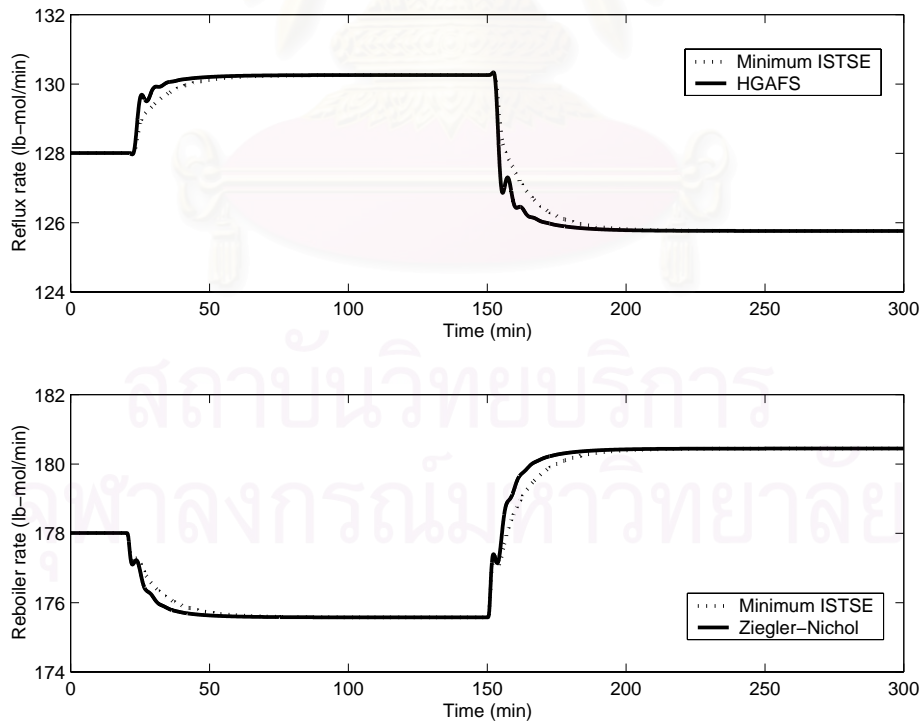
	Δe	
	D_1	D_2
E_1	V_2	V_2
e E_2	V_2	V_1
E_3	V_1	V_2

2 เซต และมีรูปร่างดังรูปที่ 3.5(a) และ (b) สำหรับกฎฟัซซีที่เหมาะสม ของเซตฟัซซีขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 3.4(a) และ (b) ระบบฟัซซีแบบเหมาะสมดังกล่าวเมื่อนำไปกำกับดูแล ให้ผลตอบวงรอบยดหอดและวงรอบฐานหอดังรูป 3.6 ส่วนสัญญาณควบคุมวงรอบยดหอดและฐานหอบปรากฏดังรูปที่ 3.7

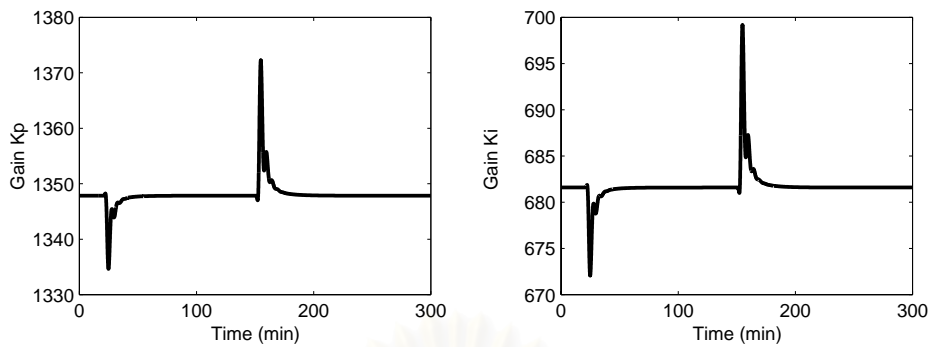
จากผลตอบที่ได้ เมื่อพิจารณาวงรอบยดหอดซึ่งทำการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎ เปรียบเทียบกับผลตอบของตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี minimum ISTSE [27] พบว่ามีขนาดของผลจากสัญญาณรบกวนเล็กกว่าเล็กน้อย อีกทั้งยังสามารถกำจัดได้ในเวลาที่สั้นกว่าอีกด้วย เมื่อพิจารณาสัญญาณควบคุมวงรอบยดหอด พบว่าผลตอบของตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยในช่วงเวลาชั่วคราว



รูปที่ 3.6: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอและฐานหอ: กรณีที่ 1



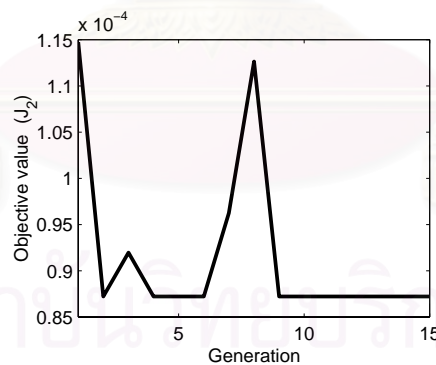
รูปที่ 3.7: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอและฐานหอ: กรณีที่ 1



รูปที่ 3.8: อัตราขยาย K_P และ K_I : กรณีที่ 1

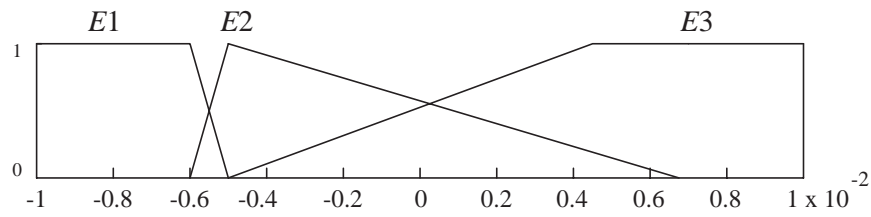
พิจารณาวงรอบฐานห่อ ซึ่งใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichol พบว่า ยังคงให้ผลที่ดีกว่าตัวควบคุมแบบ Minimum ISTSE โดยมีขนาดผลของสัญญาณรบกวนน้อยกว่า และเวลาเข้าที่สั้นกว่ามาก อย่างไรก็ตามในกรณีที่ 1 นี้ไม่ได้ให้ความสนใจกับวงรอบนี้ ส่วนค่าอัตราขยาย K_P และ K_I ที่ได้จากตัวกำกับดูแลพีซีแสดงได้ดังรูป 3.8 สังเกตว่ามีการปรับจูนค่าอัตราขยายเฉพาะเมื่อมีสัญญาณรบกวนเท่านั้น

กรณีที่ 2

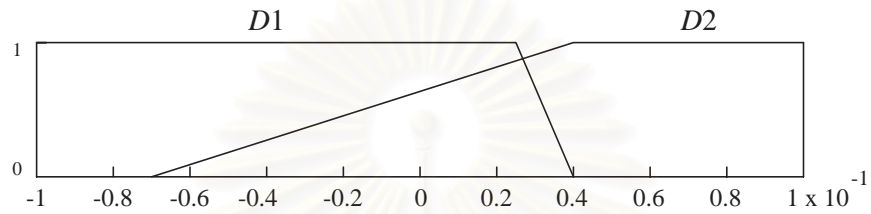


รูปที่ 3.9: ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: กรณีที่ 1

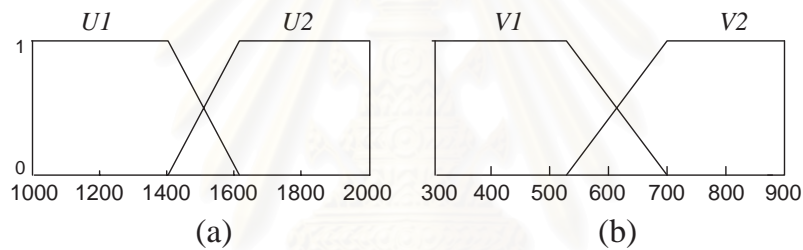
ในกรณีที่ 2 หลังจากหาค่าเหมาะสมแล้ว ได้ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นดังรูป 3.9 และได้โครงสร้างของระบบพีซีสำหรับกำกับดูแลวงรอบฐานห่อ ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาเข้า e และ Δe จำนวน 3 และ 2 เซต ตามลำดับ และมีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาออก K_P และ K_I มีจำนวน 2 เซต และมีรูปร่างดังรูปที่ 3.12(a) และ (b) สำหรับกฎพีซีที่เหมาะสม ของเซตพีซีขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 3.7(a) และ (b) ระบบพีซีแบบเหมาะสมดังกล่าว เมื่อนำไปกำกับดูแล ให้ผลตอบวงรอบยอดห่อและวงรอบฐานห่อดังรูป 3.13 ส่วนสัญญาณควบคุมทั้งสองวงรอบปรากฏดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.10: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : กรณีที่ 2



รูปที่ 3.11: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : กรณีที่ 2

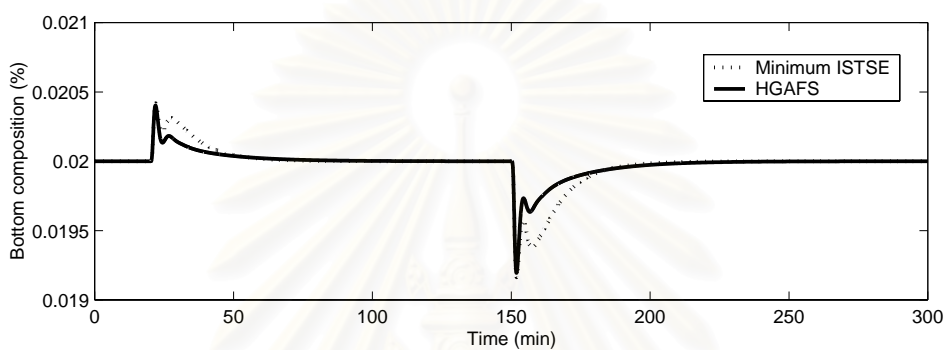
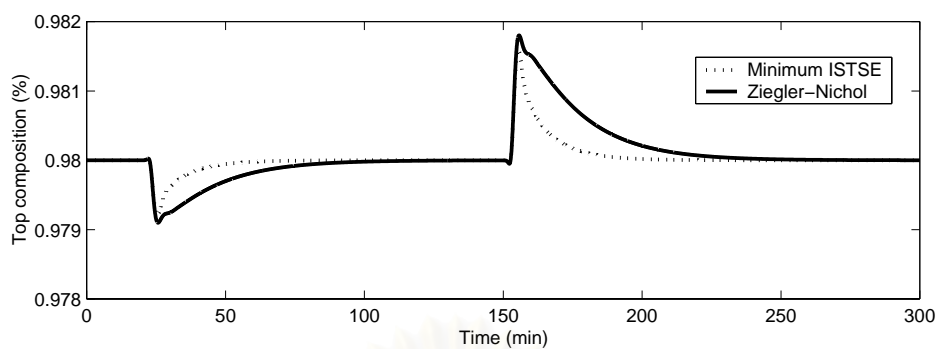


รูปที่ 3.12: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซี K_I : กรณีที่ 2

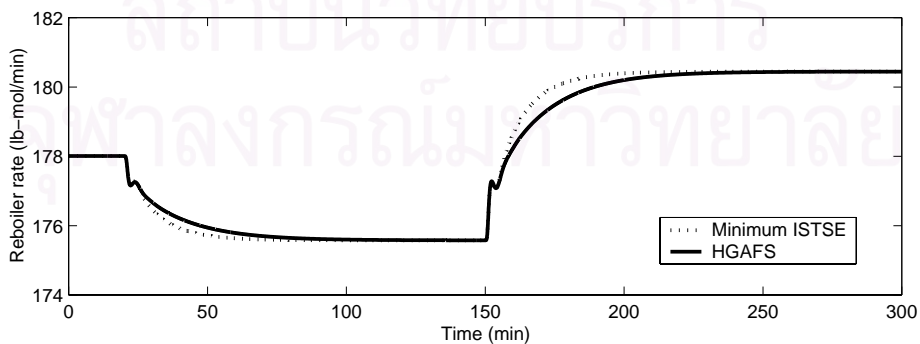
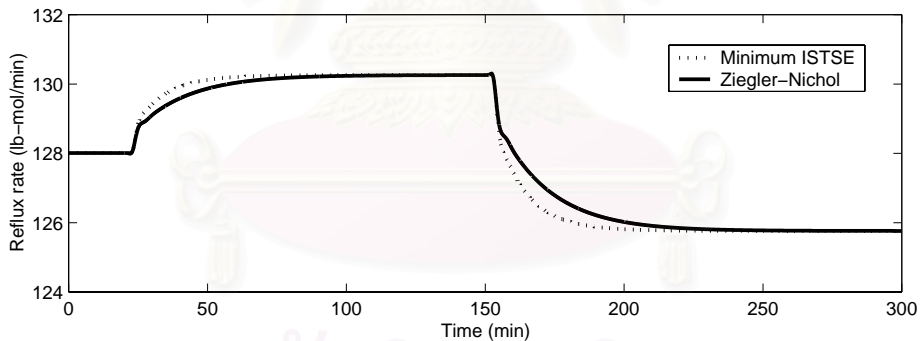
ตารางที่ 3.5: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : กรณีที่ 2

		(a)		(b)	
		Δe		Δe	
		D_1	D_2	D_1	D_2
e	E_1	U_2	U_1	V_1	V_2
	E_2	U_2	U_1	V_2	V_1
	E_3	U_2	U_1	V_1	V_2

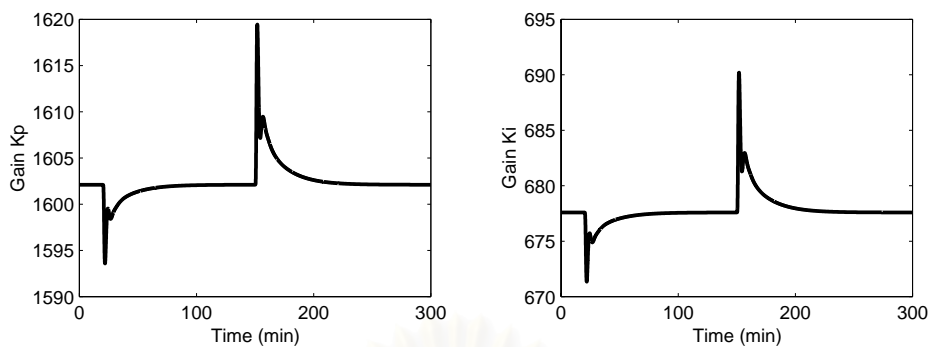
เมื่อพิจารณาผลตอบวงรอบฐานห่อ ที่ทำการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานกฎเปรียบเทียบกับผลตอบจากตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี minimum ISTSE พบว่ามีขนาดของผลจากสัญญาณรบกวนสูงสุดเกือบเท่ากัน แต่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนในเวลาสั้นกว่าเช่นเดียวกับในกรณีที่ 1 และเมื่อพิจารณาสัญญาณควบคุมในวงรอบฐานห่อ พบว่าผลตอบของตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยในช่วงเวลาชั่วคราว



รูปที่ 3.13: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอและฐานหอ: กรณีที่ 2



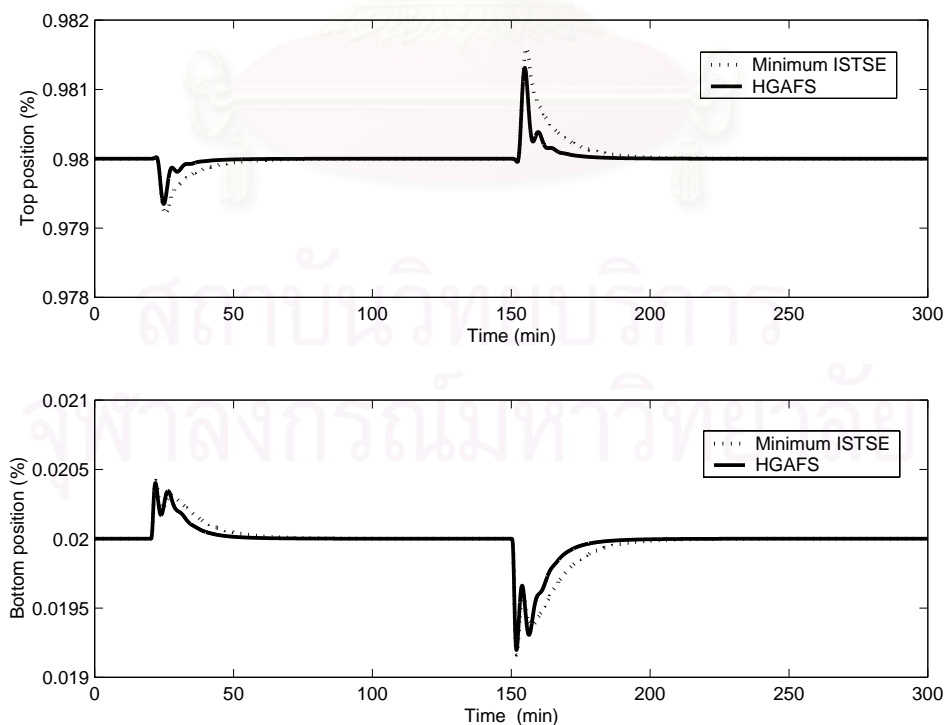
รูปที่ 3.14: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอและฐานหอ: กรณีที่ 2



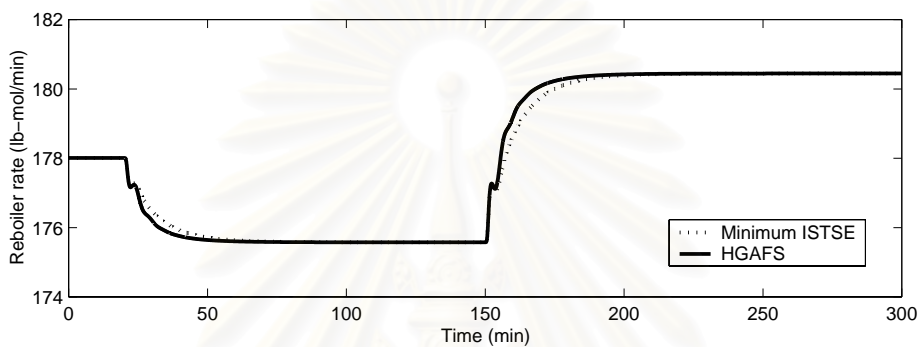
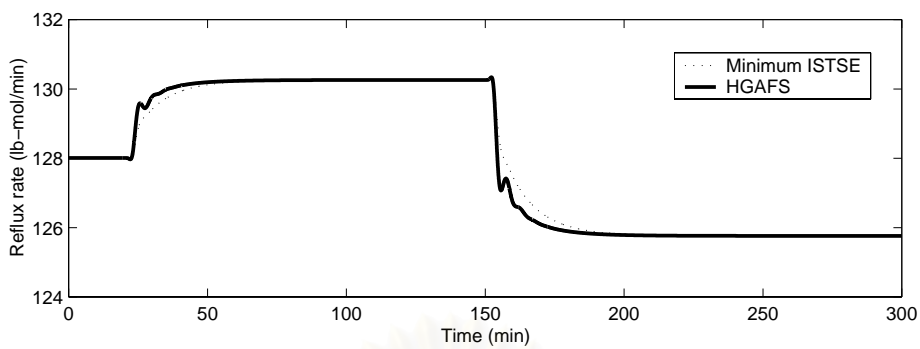
รูปที่ 3.15: อัตราขยาย K_P และ K_I : กรณีที่ 2

กรณีที่ 3

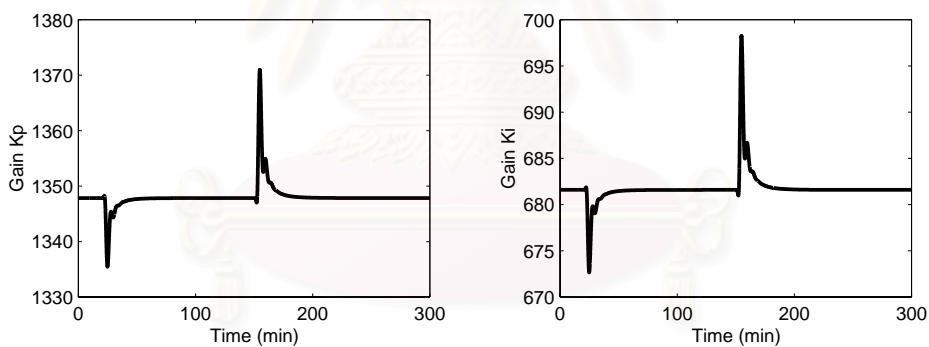
กรณีที่ 3 นำตัวกำกับดูแลพีซีที่เหมาะสมที่สุด ที่หาได้ในกรณีที่ 1 และ 2 ข้างต้น มาทำการควบคุมในทั้งสองวงรอบ ผลการควบคุมในวงรอบยอดหอยและฐานหอยแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และมีสัญญาณควบคุมแสดงดังรูป 3.17 จากผลการควบคุมพบว่า การควบคุมที่ใช้ตัวกำกับดูแลพีซีที่เหมาะสมมาปรับจูนตัวควบคุมพีไอทั้งสองวงรอบนั้นให้ผลที่ดีกว่า ตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี minimum ISTSE ในทั้งสองวงรอบ สังเกตว่าวงรอบยอดหอยมีผลตอบที่ดีที่สุด ในขณะที่ยังวงรอบฐานหอยให้ผลที่ด้อยกว่ากรณีที่ 2 เนื่องจากการกระทำระหว่างวงรอบนั่นเอง ส่วนค่า K_P และ K_I แสดงปรากฏดังรูป 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ



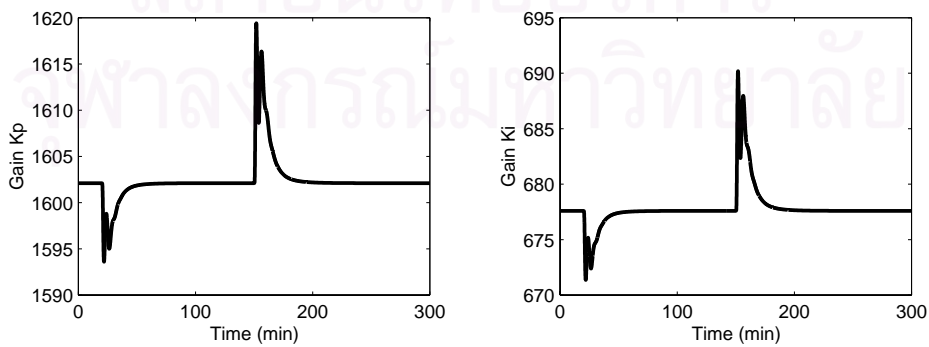
รูปที่ 3.16: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอยและฐานหอย: กรณีที่ 3



รูปที่ 3.17: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอและฐานหอ: กรณีที่ 3



รูปที่ 3.18: อัตราขยาย K_P และ K_I วงรอบยอดหอ: กรณีที่ 3



รูปที่ 3.19: อัตราขยาย K_P และ K_I วงรอบฐานหอ: กรณีที่ 3

3.1.5 สรุปผลการจำลองระบบ

ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุด ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ที่ได้ทำการจำลองกับระบบหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดนี้ เป็นแนวคิดในการควบคุม สำหรับระบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก ที่มีสมรรถนะสูงในการกำจัดสัญญาณรบกวน ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุด ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ให้ผลตอบที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี minimum ISTSE เมื่อใช้ที่ละวงรอบควบคุมและทั้งสองวงรอบควบคุม ดังนั้นในส่วนต่อไปดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

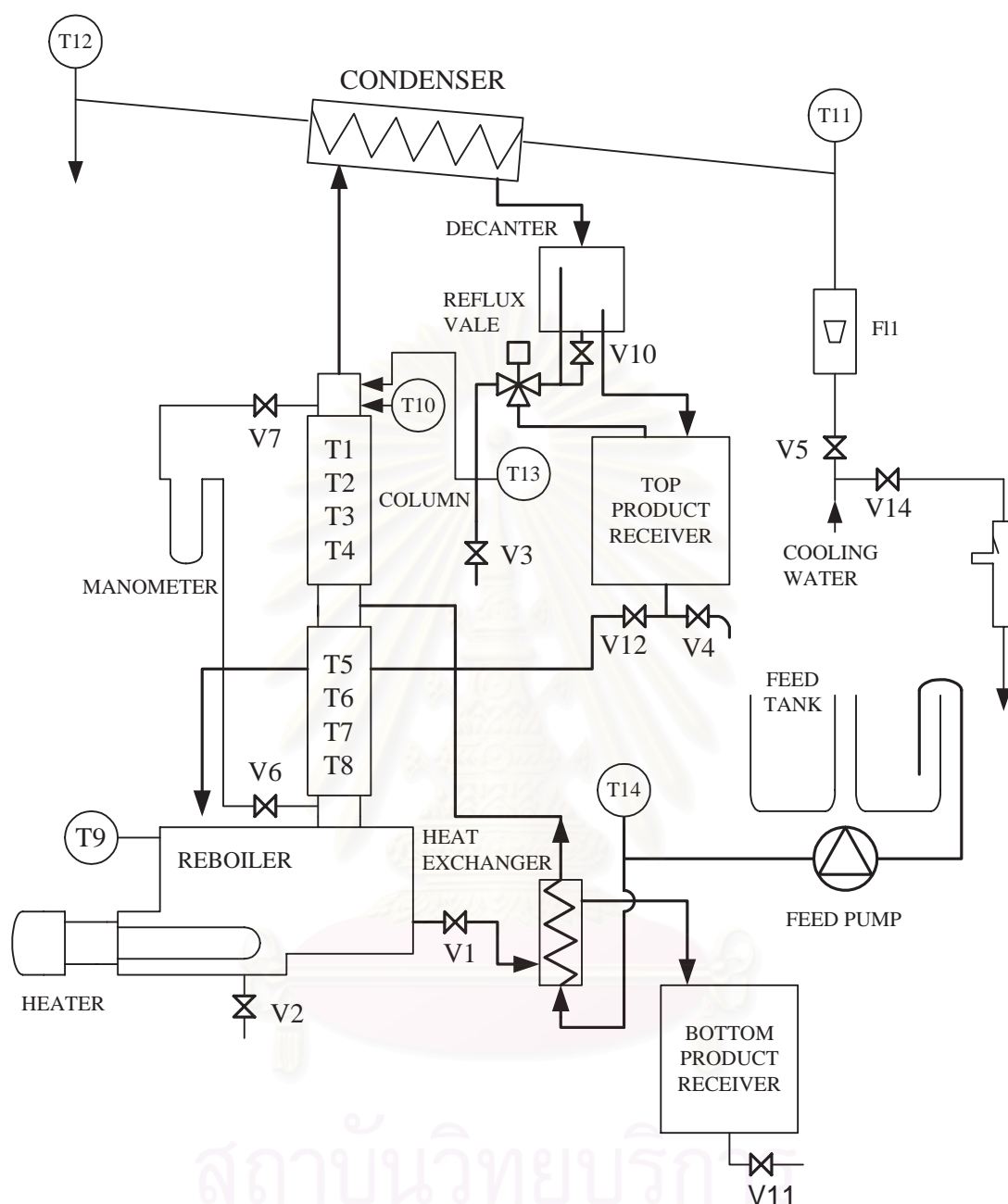
3.2 การควบคุมหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

หลังจากได้ทำการจำลองระบบ โดยใช้ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุด ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ควบคุมหอกลิ้นในอุดมคติแล้ว ในส่วนนี้ได้ทำการพัฒนาตัวควบคุมสำหรับหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยควบคุม ซึ่งเป็นหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด และมีโครงสร้างการควบคุมเช่นเดียวกัน เป็นหอกลิ้นที่จำลองจากหอกลิ้นในอุตสาหกรรม ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีซีที่เหมาะสมที่สุด ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น พัฒนาด้วยภาษาซีและทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งเชื่อมต่อผ่านแผงวงจรอินพุตเอาต์พุตเข้ากับหน่วยควบคุมหลักของหอกลิ้น โดยหน่วยควบคุมหลักได้เชื่อมต่อการควบคุมกับหอกลิ้นอย่างครบถ้วน รายละเอียดในการเชื่อมต่ออ้างอิงจาก [31] อย่างไรก็ตาม ก่อนกล่าวถึงตัวควบคุมสำหรับหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม จะอธิบายรายละเอียดโครงสร้างหอกลิ้นของห้องปฏิบัติการวิจัยควบคุมเสียก่อน

3.2.1 โครงสร้างหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC

หอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม เป็นหอกลิ้นรุ่น UOP3CC ผลิตโดยบริษัท Armfield มีแผนภาพโครงสร้างดังรูป 3.20 อธิบายส่วนประกอบได้ดังนี้ ตัวหอกมีจำนวนชั้นทั้งหมด 8 ชั้น ทำจากแก้วและแบ่งเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนประกอบด้วยชั้น 4 ชั้น ที่ส่วนกลางระหว่างชั้นที่ 4 และชั้นที่ 5 เป็นช่องป้อนสารผสมซึ่งสูบลำเข้าด้วยมอเตอร์จากภาชนะเก็บสารผสมที่ส่วนกลางของหอก ด้านล่างหอกเป็นหม้อต้มขนาดบรรจุสาร 12 ลิตร ใช้พลังงานไฟฟ้าขนาด 0–1.5 กิโลวัตต์ ในการสร้างความร้อน ส่วนล่างของหม้อต้มมีวาล์วระบายสารออกไปยังภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ฐานหอกที่มีขนาดความจุ 5 ลิตร โดยผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารผสมก่อนถูกป้อนที่กลางหอก นอกจากนี้ที่หม้อต้มยังมีอุปกรณ์วัดระดับของเหลวอีกด้วย

ส่วนบนของตัวหอกติดต่อกับเครื่องควบแน่น ซึ่งมีน้ำไหลเวียนเพื่อการควบแน่น โดยมีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำชนิดลูกลอย และมีวาล์วปรับอัตราการไหลซึ่งปรับได้ตั้งแต่ 0–4.4 ลิตรต่อนาทีของเหลวที่ได้จากการควบแน่นไหลมาผสมที่ภาชนะพักสาร ซึ่งมีวาล์วปล่อยของเหลวออกยังวาล์วสามทางชนิดโซลินอยด์ เพื่อควบคุมอัตราการป้อนกลับที่ยอดหอก และอัตราการป้อนสารสู่ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ยอดหอก ที่ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ยอดหอกมีวาล์วปล่อยสารกลับสู่หม้อต้มซ้ำ



รูปที่ 3.20: แผนภาพโครงสร้างหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิดรุ่น UOP3CC

ส่วนประกอบหลักของหอกลั่นข้างต้น มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดคู่ควบคุมความร้อน โดยที่ติดตั้งไว้ 14 ตำแหน่งคือ T1-T14 สำหรับตัวหอติดตั้งไว้ทุกชั้นทั้งหมด 8 ตำแหน่งคือ T1-T8 ส่วน T9-T14 ติดตั้งที่หม้อต้มซ้ำ ทางเข้าและทางออกของเครื่องควบแน่น ตำแหน่งป้อนสารกลับยอดหอ และตำแหน่งป้อนสารเข้ากลางหอตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์วัดความดันคร่อมตัวหอชนิดมาโนมิเตอร์ติดตั้งไว้อีกด้วย ส่วนประกอบย่อยอื่นๆ และหมายเลขที่ปรากฏในรูป 3.20 สามารถศึกษาได้จาก [31]

3.2.2 ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหอกลับแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC

ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลับแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม พัฒนาขึ้นด้วยภาษาซีที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส (Dos operating system) ตัวควบคุมพีไอเป็นแบบเชิงเลข และส่วนตัวกำกับดูแลพีซีทำการควบคุมในเวลาจริง ส่วนขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB และทำการค้นหาค่าเหมาะสมแบบ off-line โปรแกรมควบคุมดังกล่าวทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งเชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมหลักของหอกลับ โปรแกรมควบคุมสั่งงานผ่านวงจรเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับหน่วยควบคุมหลัก ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอุณหภูมิจากหอกลับเพื่อแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลข ส่งต่อไปยังโปรแกรมควบคุม และแปลงสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วส่งไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมหอกลับ เช่น หม้อต้มซ้ำ และวาล์วป้อนกลับสารที่ยอดหอ

วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมหอกลับคือ การควบคุมคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ที่ยอดหอ และที่ฐานหอ ให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนด เมื่ออัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอเกิดการเปลี่ยนแปลง การหาค่าเหมาะสมของตัวกำกับดูแลพีซี กระทำเช่นเดียวกับการจำลองระบบ กล่าวคือ ทำการหาค่าเหมาะสมที่ลวงรอบ โดยวงรอบที่มิได้หาค่าเหมาะสมควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols ดังนั้นแบ่งเป็นการทดลองย่อยตามตารางที่ 3.2 เช่นกัน ในการควบคุมหอกลับ ต้องการควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอที่ 91% โดยปริมาตร แต่เนื่องจากความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอและฐานหอ แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิที่ยอดหอและฐานหอที่ความดันคงที่ตามลำดับ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมียอดหอและฐานหอจึงเป็นการควบคุมความเข้มข้นทางอ้อม ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกควบคุมอุณหภูมิแทนความเข้มข้น ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความเข้มข้นแบบไฮโดรมิเตอร์ และจากอุปกรณ์วัดอื่นๆ นำมากำหนดจุดทำงานได้ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6: จุดทำงานที่กำหนดขึ้น

	ผลิตภัณฑ์ยอดหอ	สารที่ป้อนกลางหอ	ผลิตภัณฑ์ฐานหอ
ความเข้มข้น (%)	91	40	20
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	82.0	55	85.3

ในการควบคุมหอกลับ กำหนดให้สารตั้งต้นในหม้อต้มซ้ำมีความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร สารที่ป้อนเข้ากลางหอซึ่งมีความเข้มข้น 40% โดยปริมาตร ถูกป้อนด้วยอัตรา 30 มิลลิลิตรต่อนาที ในสภาวะปกติ และระบบควบคุมด้วยการเพิ่มอัตราการป้อนสารเป็น 50 มิลลิลิตรต่อนาที ที่หน้าที่ 60 และลดลงมาสู่ค่าปกติที่หน้าที่ 80 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันภาวะสมาชิกและฐานภูมิ มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าพารามิเตอร์ของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี
 - $e \in [-3, 3]$ และ $\Delta e \in [-10, 10]$
 - วงรอบควบคุมยอหดห่อ: $K_P \in [0, 5]$ และ $K_I \in [0, 3]$
 - วงรอบควบคุมฐานห่อ: $K_P \in [0, 3]$ และ $K_I \in [0, 0.7]$
 - ใช้ Minimum inference engine และ Center average defuzzifier
- ค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น
 - กำหนดให้ขนาดเซตฟัซซีย่อยขาเข้า e และ Δe มากที่สุดไม่เกิน 5 เซต และเซตฟัซซีย่อยขาออก K_P และ K_I จำนวนคงที่ 2 เซต นั่นคือ $m = n = 5$ และ $p = q = 2$
 - ทำการค้นหาเป็นจำนวน 15 รุ่น
 - ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7: ค่าพารามิเตอร์ของ HGA: หอกลับแยกสารผสมสองชนิด UOP3CC

	โครโมโซมภาวะสมาชิก		โครโมโซมฐานกฎ
	ยีนควบคุม	ยีนพารามิเตอร์	
การเข้ารหัส	เลขฐานสอง	จำนวนจริง	จำนวนเต็ม
ขนาดประชากร	12	12	16
จำนวนพ่อแม่	2	2	
การถ่ายทอดพันธุกรรม	แบบหนึ่งจุด	แบบหนึ่งจุด	-
ความน่าจะเป็น	0.9	0.9	-
การกลายพันธุ์	กลายพันธุ์แบบบิต	กลายพันธุ์แบบสุ่ม	การดำเนินการเตลต้า
ความน่าจะเป็น	0.01	0.01	0.01
การคัดเลือก	วงล้อรูเล็ต		คัดเลือกตามการระบุสถานะโดยยีนควบคุม

สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม เลือกเป็นสัดส่วนกลับกับฟังก์ชันจุดประสงค์ โดยที่ฟังก์ชันจุดประสงค์เลือกเป็นผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการกำจัดสัญญาณรบกวน แสดงได้ดังสมการที่ (3.11) และ (3.12)

$$J = \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (3.11)$$

$$F = \frac{10^3}{J} \quad (3.12)$$

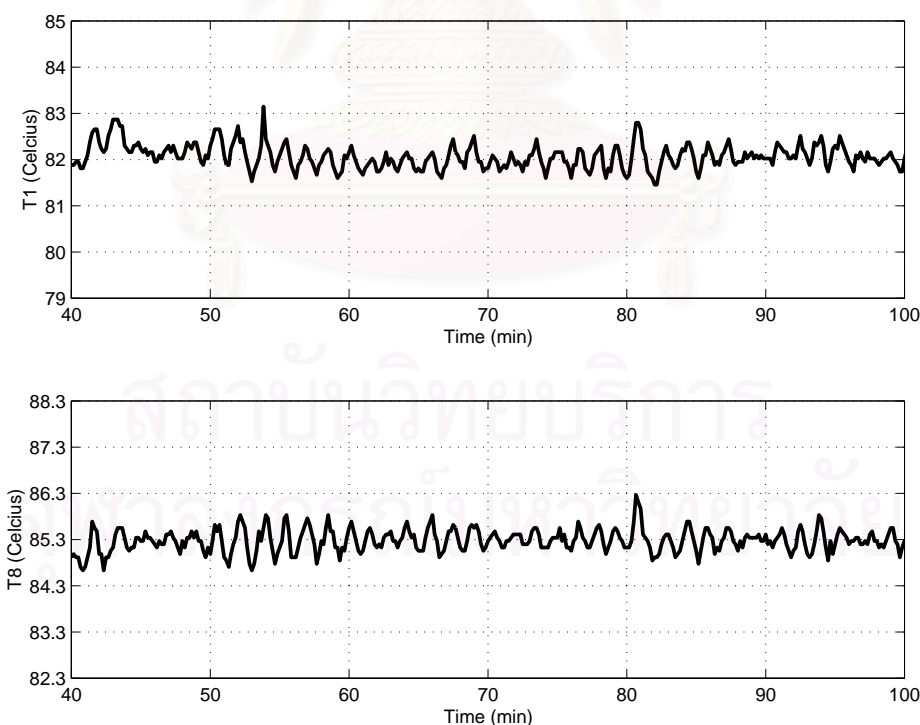
โดยที่ e_i คือ ค่าผิดพลาดที่คาบการสุ่มที่ i

เนื่องจากการในการทดลองทุกกรณี ผลตอบที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลตอบจากตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองวงรอบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichols ดังนั้นจึงทำการควบคุมด้วยวิธีนี้ก่อน สำหรับค่าพารามิเตอร์ K_P และ K_I ของตัวควบคุมพีไอทั้งสองวงรอบ ที่หาด้วยจากวิธี Ziegler-Nichols แบบผลตอบของระบบวงเปิด แสดงค่าได้ดังนี้

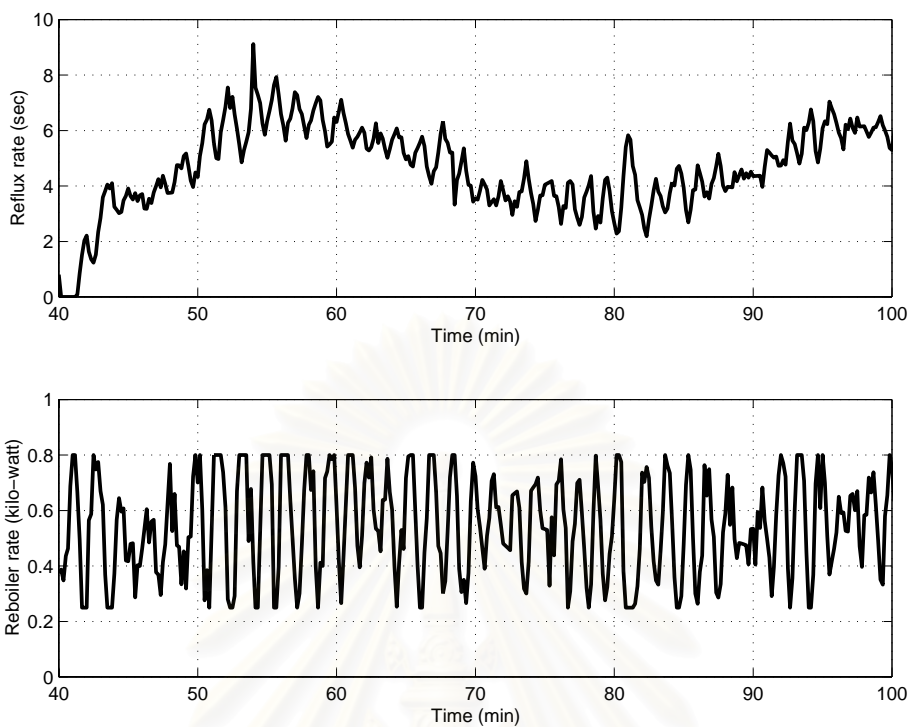
ตารางที่ 3.8: ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่ได้จากวิธี Ziegler-Nichols

พารามิเตอร์	วงรอบยอหด	วงรอบฐานห่อ
K_P	2.667	0.718
K_I	2.690	0.240

ผลตอบของอุณหภูมิ T1 และ T8 ที่ได้จากการที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichols แสดงได้ดังรูปที่ 3.21 ส่วนสัญญาณควบคุมของทั้งสองวงรอบแสดงได้ ดังรูป 3.22 จากผลการควบคุมเห็นได้ว่า ตัวควบคุมพีไอสามารถควบคุมอุณหภูมิยอหดและฐานห่อให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้ และสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ด้วย แต่ยังคงถือว่าผลตอบที่ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากยังมีการแกว่งของอุณหภูมิในย่านที่กว้าง เมื่อเพิ่มหรือลดอัตราการป้อนสารที่กลางห่อ อุณหภูมิยอหดและฐานห่อจะแกว่งมากขึ้น อย่างไรก็ตามไม่สามารถสังเกตได้ชัดเจนนัก เนื่องจากมีการแกว่งของสัญญาณค่อนข้างมาก



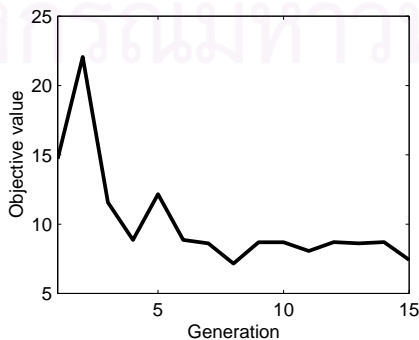
รูปที่ 3.21: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอหดและฐานห่อ: กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols



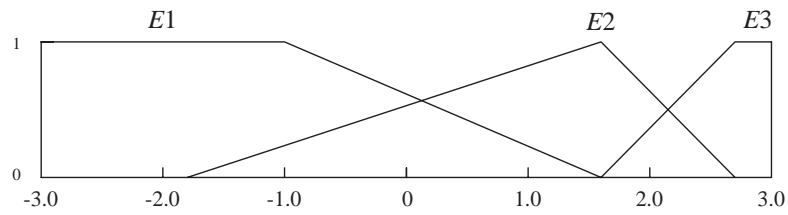
รูปที่ 3.22: สัญญาณควบคุมวงรอบยอดหอและฐานหอ: กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols

การทดลองที่ 1

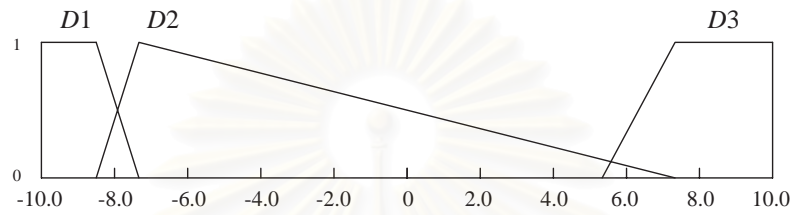
ในการทดลองที่ 1 จากการหาค่าเหมาะสมจำนวน 15 รุ่น สามารถแสดงค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นได้ดังรูป 3.23 เมื่อทำการเลือกโครงสร้างฟิซซี่ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด พบว่าได้โครงสร้างของระบบฟิซซี่สำหรับวงรอบควบคุมยอดหอ ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาเข้า e และ Δe จำนวน 3 เซตเท่ากัน มีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาออก K_P และ K_I มีจำนวน 2 เซต และมีรูปร่างดังรูปที่ 3.26(a) และ (b) สำหรับกฎฟิซซี่ที่เหมาะสม ของเซตฟิซซี่ขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 3.9(a) และ (b) ระบบฟิซซี่ดังกล่าวเมื่อนำไปกำกับดูแล ให้ผลตอบวงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ ดังรูป 3.27 ส่วนสัญญาณควบคุมวงรอบยอดหอและฐานหอปรากฏดังรูปที่ 3.28 สำหรับค่า K_P และ K_I วงรอบยอดหอแสดงได้ดังรูป 3.29



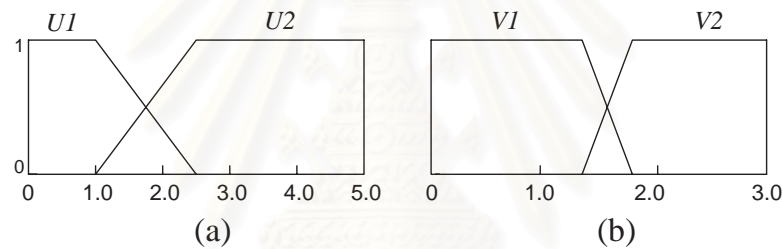
รูปที่ 3.23: ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: การทดลองที่ 1



รูปที่ 3.24: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟuzzy ีขาเข้า e : การทดลองที่ 1



รูปที่ 3.25: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟuzzy ีขาเข้า Δe : การทดลองที่ 1



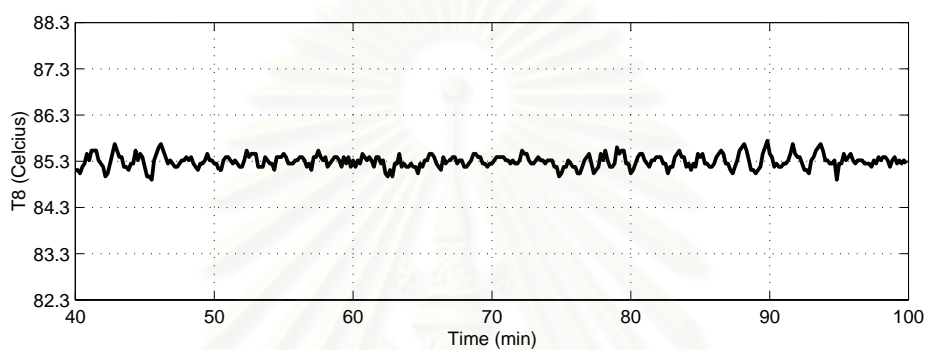
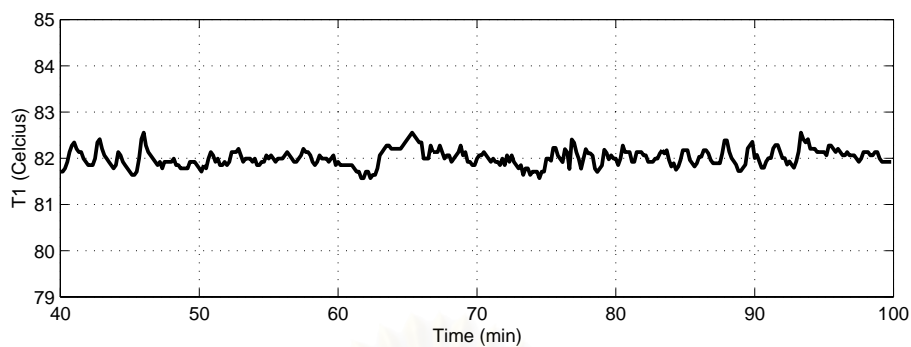
รูปที่ 3.26: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I : การทดลองที่ 1

ตารางที่ 3.9: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : การทดลองที่ 1

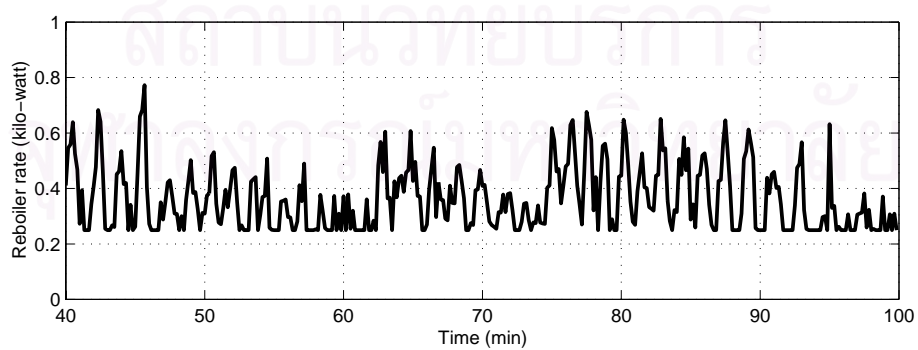
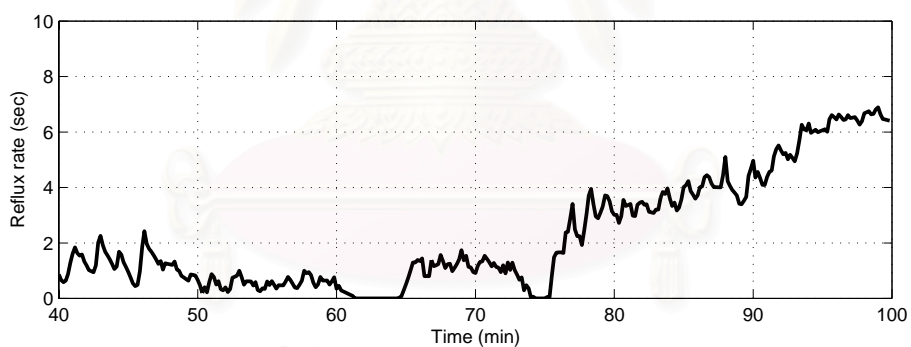
		Δe		
		D_1	D_2	D_3
e	E_1	U_2	U_2	U_2
	E_2	U_1	U_1	U_2
	E_3	U_2	U_1	U_1

		Δe		
		D_1	D_2	D_3
e	E_1	V_2	V_2	V_1
	E_2	V_2	V_2	V_1
	E_3	V_2	V_2	V_1

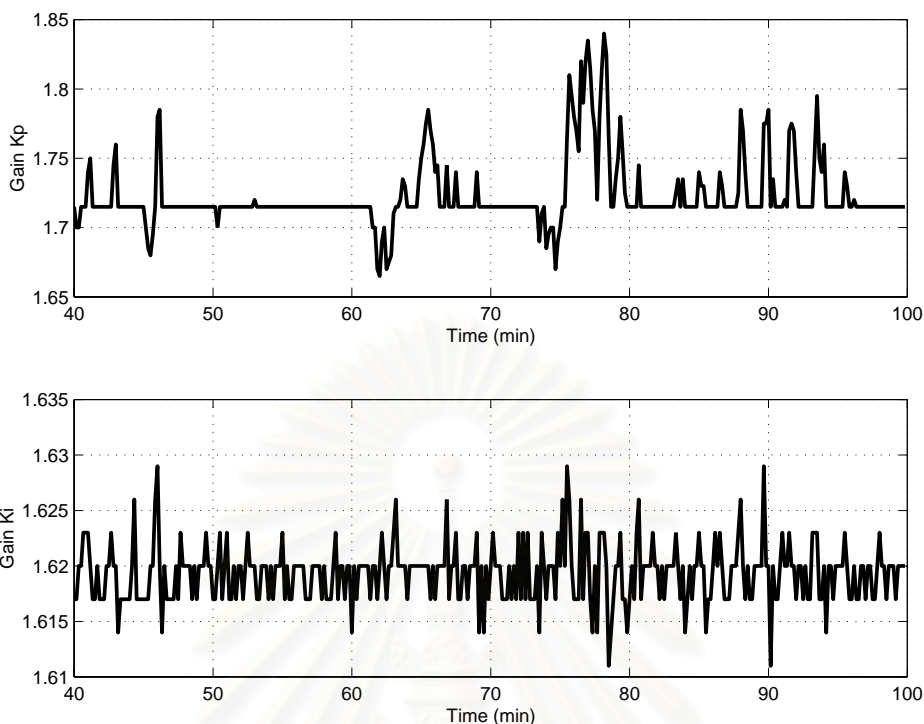
เมื่อพิจารณาวงรอบยอหดซึ่งควบคุมด้วย ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟuzzy ที่เหมาะสมที่สุด พบว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้และให้ผลตอบที่ดี โดยมีการแกว่งของสัญญาณน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองวงรอบควบคุมด้วยวิธี Ziegler-Nichols เมื่อพิจารณาสัญญาณควบคุมวงรอบยอหด สังเกตว่าอัตราการป้อนกลับที่ยอหดลดลง ขณะที่วงรอบฐานห่ออัตราการด้มซ้ำ จะมีค่ามากขึ้นเมื่อป้อนสัญญาณรบกวน ที่เป็นเช่นนี้เพื่อที่จะชดเชยอุณหภูมิที่ลดลงของทั้งวงรอบยอหด และฐานห่อ อย่างไรก็ตาม สังเกตว่าที่วงรอบฐานห่ออุณหภูมิ T8 สัญญาณค่อนข้างเรียงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณ T1 ที่วงรอบยอหดค่อนข้างเรียงจึงทำให้การกระทำระหว่างวงรอบน้อยสัญญาณ T8 จึงเรียงด้วย



รูปที่ 3.27: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 1



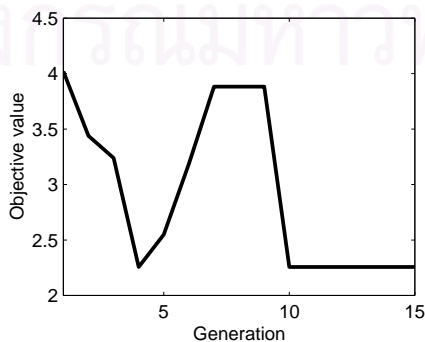
รูปที่ 3.28: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 1



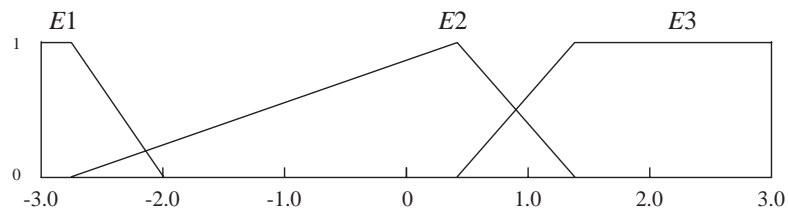
รูปที่ 3.29: อัตราขยาย K_P และ K_I : การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

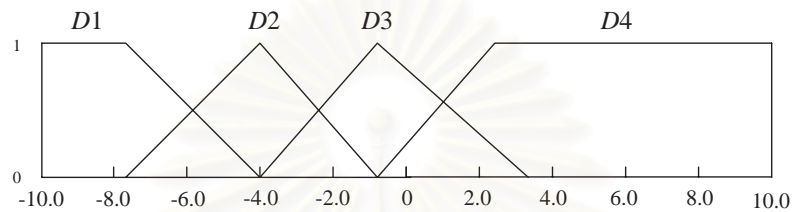
การทดลองที่ 2 จากการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎของวงรอบควบคุมฐานหอ สามารถแสดงค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดของแต่ละรอบดังรูปที่ 3.30 เมื่อทำการเลือกโครงสร้างฟัซซีที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุด พบว่าได้โครงสร้างของระบบฟัซซีสำหรับวงรอบควบคุมฐานหอ ที่มีจำนวนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาเข้า e และ Δe จำนวน 3 และ 4 เซตตามลำดับ มีรูปร่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32 ส่วนฟังก์ชันภาวะสมาชิกขาออก K_P และ K_I มีจำนวน 2 เซต และมีรูปร่างดังรูปที่ 3.33(a) และ (b) สำหรับกฎฟัซซีที่เหมาะสม ของเซตฟัซซีขาออกทั้งสองแสดงในตารางที่ 3.10(a) และ (b) ระบบฟัซซีดังกล่าวเมื่อนำไปกำกับดูแล จะให้ผลตอบวงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ ดังรูป 3.34 ส่วนสัญญาณควบคุมวงรอบยอดหอและฐานหอปรากฏดังรูปที่ 3.35 สำหรับค่า K_P และ K_I วงรอบยอดหอแสดงได้ดังรูป 3.36



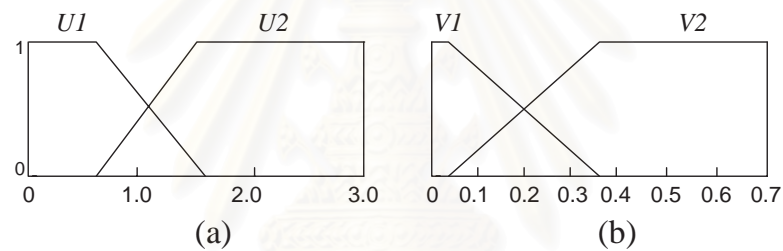
รูปที่ 3.30: ค่าจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น: การทดลองที่ 2



รูปที่ 3.31: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า e : การทดลองที่ 2



รูปที่ 3.32: ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตฟัซซีขาเข้า Δe : การทดลองที่ 2



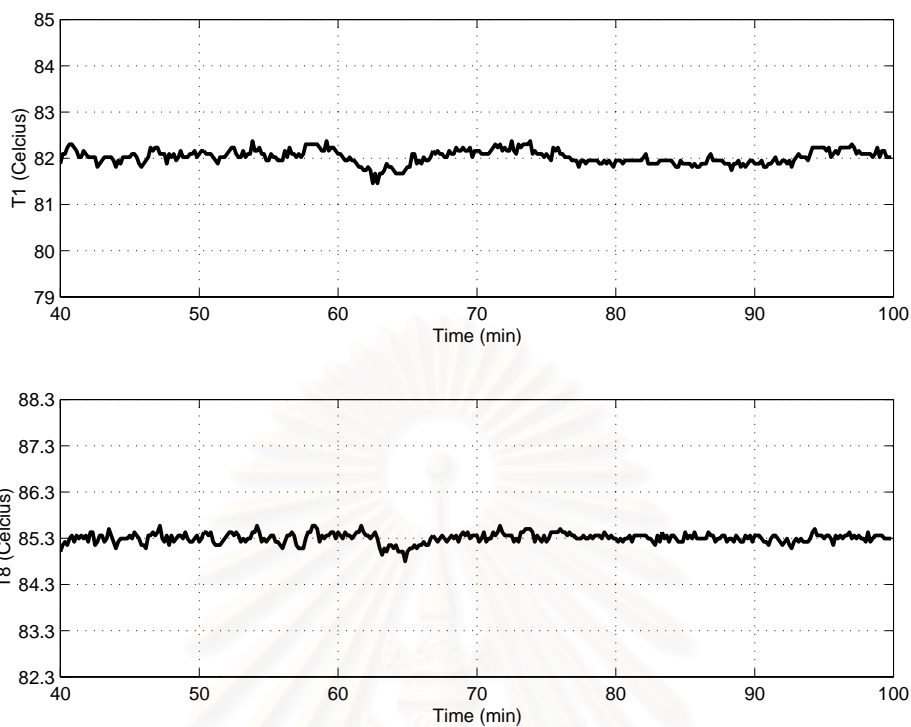
รูปที่ 3.33: (a) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_P (b) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของ K_I : การทดลองที่ 2

ตารางที่ 3.10: (a) ตารางกฎสำหรับ K_P (b) ตารางกฎสำหรับ K_I : การทดลองที่ 2

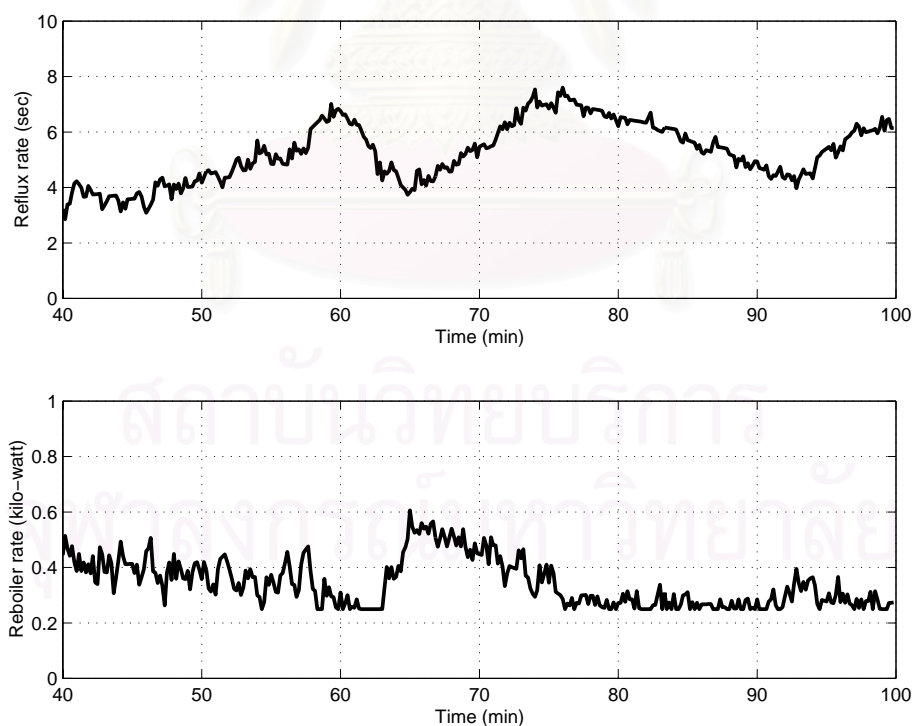
		Δe			
		D_1	D_2	D_3	D_4
e	E_1	U_2	U_1	U_1	U_1
	E_2	U_2	U_1	U_2	U_1
	E_3	U_2	U_2	U_1	U_1

		Δe			
		D_1	D_2	D_3	D_4
e	E_1	V_2	V_1	V_1	V_2
	E_2	V_1	V_1	V_2	V_2
	E_3	V_1	V_2	V_1	V_1

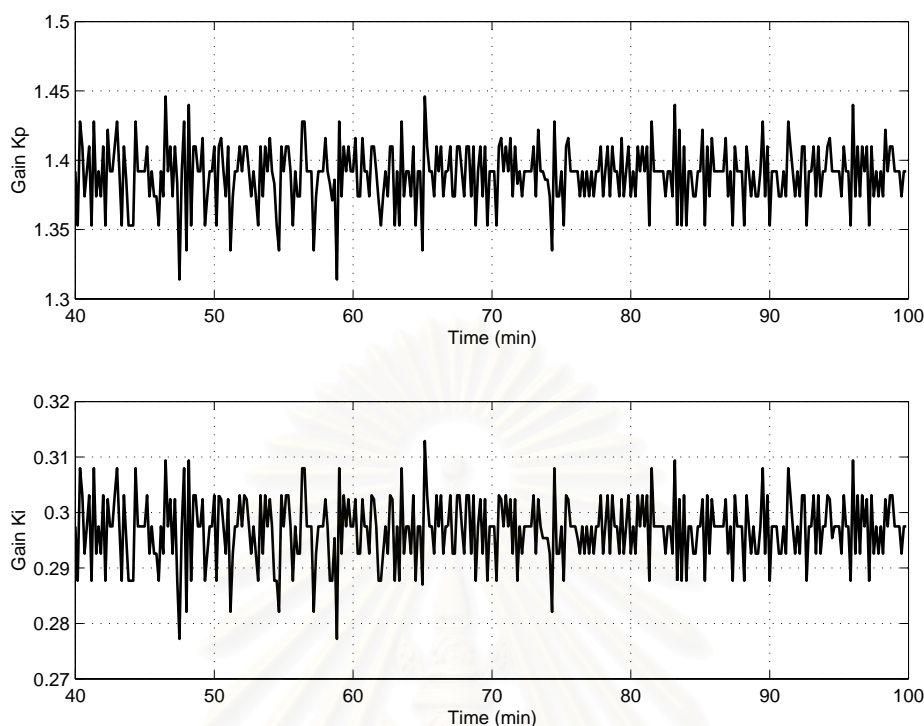
พิจารณาผลตอบของวงรอบฐานห่อ ซึ่งควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด พบว่ามีผลตอบที่ดีกว่าผลตอบของตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 วงรอบด้วยวิธี Ziegler-Nichols เห็นได้ชัดว่านอกจากการจัดสัญญาณรบกวนได้แล้ว ยังมีขนาดการแกว่งของสัญญาณ T8 ที่น้อยกว่ามาก ซึ่งทำให้การกระทำต่อวงรอบยดหอน้อยลง ดังนั้นวงรอบยดห่อจึงควบคุมได้ดีด้วย ส่วนสัญญาณควบคุมวงรอบฐานห่อซึ่งคืออัตราการต้มซ้ำ สังเกตว่าใช้น้อยกว่ากรณีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols และการทดลองที่ 1 วงรอบฐานห่อมาก เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 วงรอบยดห่อ



รูปที่ 3.34: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 2



รูปที่ 3.35: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 2



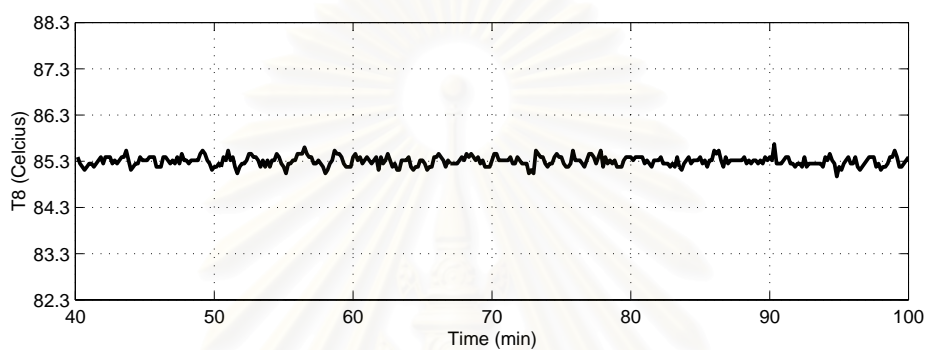
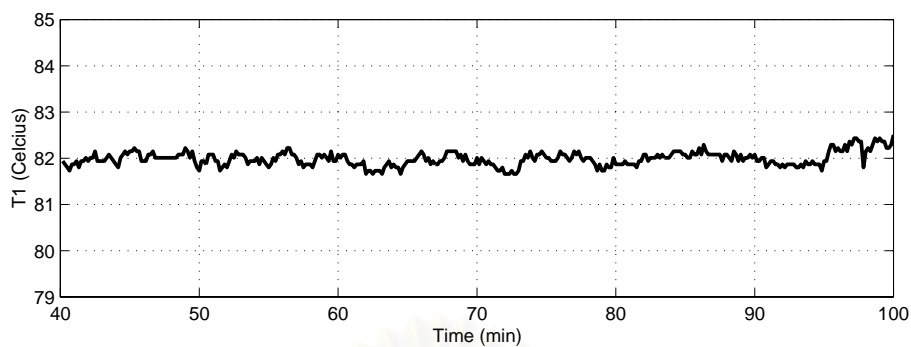
รูปที่ 3.36: อัตราขยาย K_P และ K_I : การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3

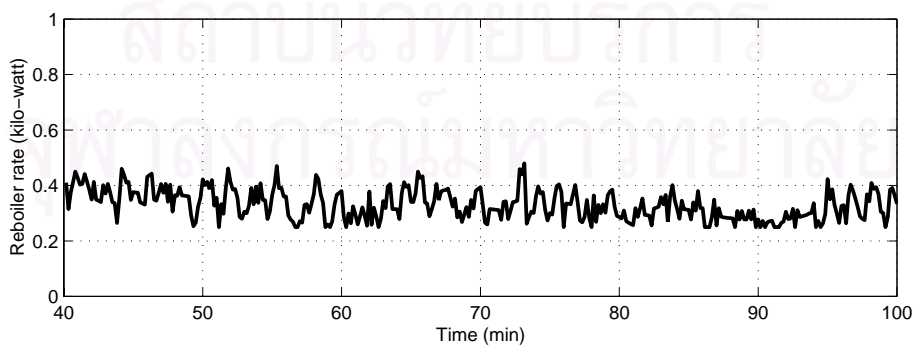
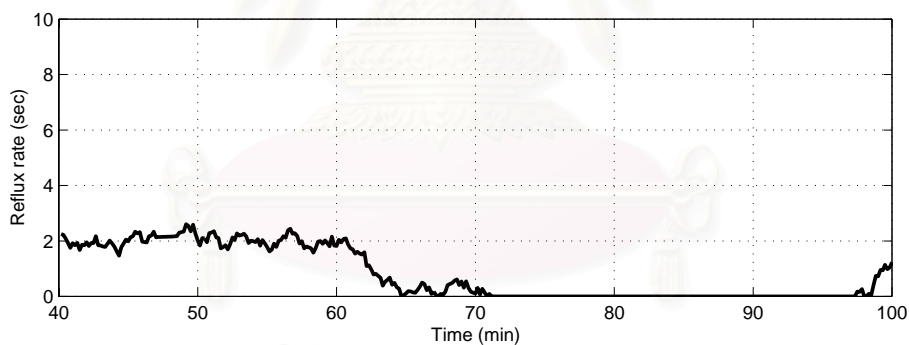
การทดลองที่ 3 นำตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด ทั้งวงรอบยอดหอดและวงรอบรอบฐานหอด มาควบคุมพร้อมกันทั้งสองวงรอบ ผลตอบวงรอบยอดหอดและวงรอบฐานหอดแสดงดังรูป 3.37 ส่วนสัญญาณควบคุมวงรอบยอดหอดและฐานหอดปรากฏดังรูปที่ 3.38 สำหรับค่า K_P และ K_I วงรอบยอดหอดและฐานหอดแสดงได้ดังรูป 3.39 และ 3.40 ตามลำดับ

ผลที่ได้พบว่าการใช้ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด ให้การควบคุมที่ดีทั้งสองวงรอบ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิ T1 ของวงรอบยอดหอดและ T8 ของวงรอบฐานหอด ให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิวงรอบฐานหอดได้ดี การกระทำระหว่างวงรอบที่มีต่อวงรอบยอดหอดจึงน้อย ดังนั้นอุณหภูมิยอดหอดจึงเรียบกว่าในการทดลองที่ 2 ด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลทุกการทดลอง เห็นได้ชัดว่าการทดลองนี้ให้ผลที่ดีทั้งสองวงรอบควบคุม มิใช่เพียงแค่่วงรอบใดวงรอบหนึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบจากการทดลองนี้ กับผลตอบที่ได้จากตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองวงรอบด้วยวิธี Ziegler-Nichols พบว่ามีผลตอบที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดทั้งสองวงรอบควบคุม

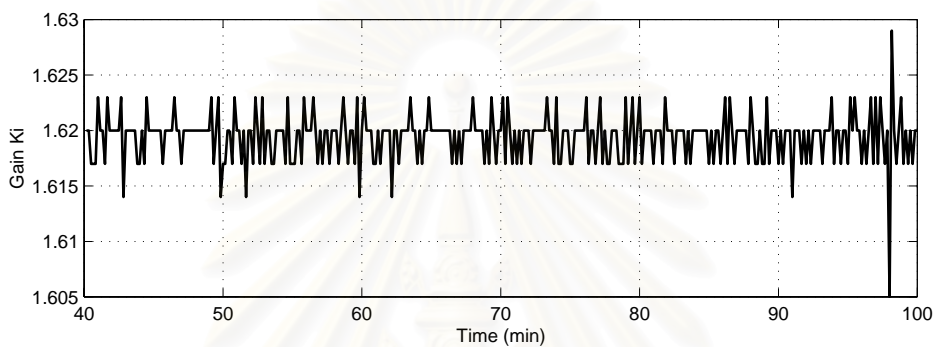
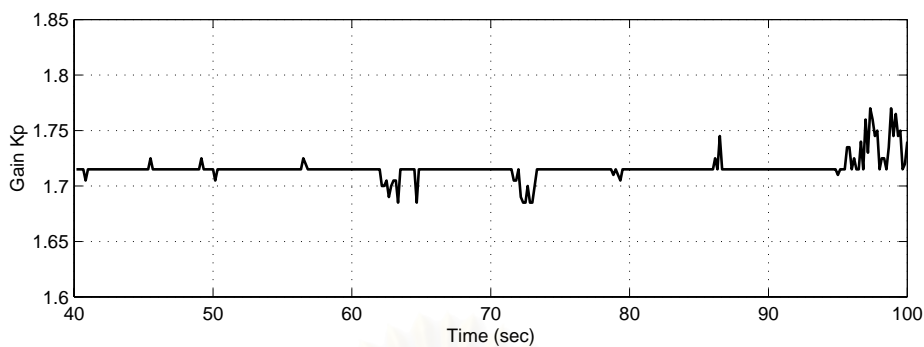
สำหรับสัญญาณควบคุมทั้งสองวงรอบสอดคล้องกับผลตอบที่ได้ สังเกตว่ามีการลดลงของอัตราการป้อนกลับสารที่ยอดหอด และมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการต้มซ้ำที่ฐานหอด ณ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอด เพื่อชดเชยการลดลงของทั้งอุณหภูมิยอดหอดและฐานหอด อย่างไรก็ตามสัญญาณควบคุมที่ฐานหอด ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนนัก นอกจากนี้ทั้งสองวงรอบยังใช้สัญญาณควบคุมน้อยกว่าทุกการทดลองอย่างเห็นได้ชัดด้วย



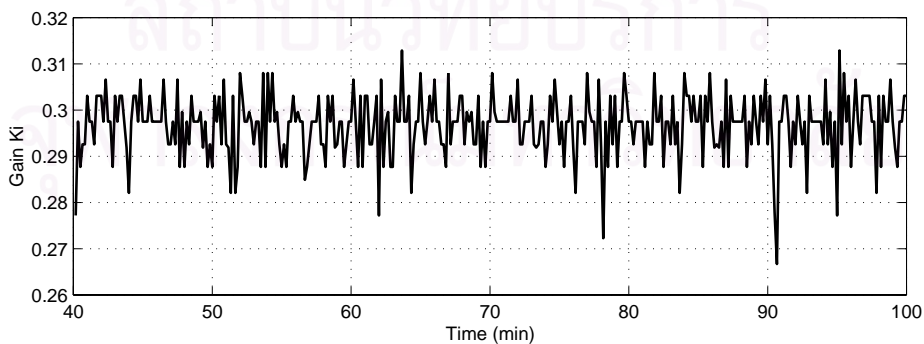
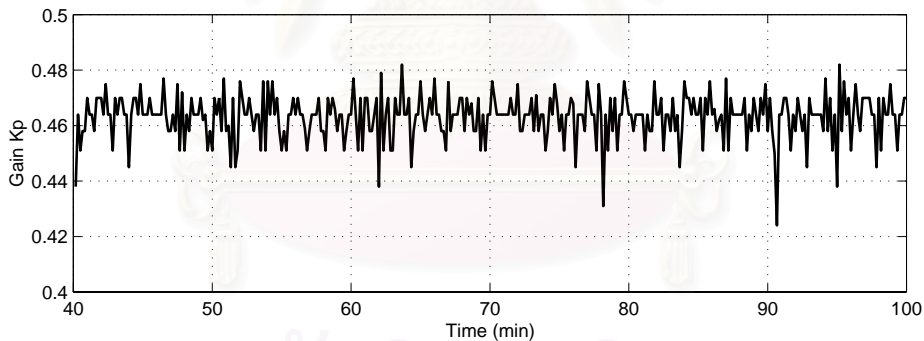
รูปที่ 3.37: ผลตอบวงปิดของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 3



รูปที่ 3.38: สัญญาณควบคุมของวงรอบยอดหอ (T1) และฐานหอ (T8): การทดลองที่ 3



รูปที่ 3.39: อัตราขยาย K_P และ K_I ของวงรอบยอหด: การทดลองที่ 3



รูปที่ 3.40: อัตราขยาย K_P และ K_I ของวงรอบฐานห่อ: การทดลองที่ 3

3.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การออกแบบระบบควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับ หอกลับแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบ ลำดับชั้น ในส่วนการจำลองระบบพิจารณาสมรรถนะของตัวควบคุมในการกำจัดสัญญาณรบกวน และทำ การหาตัวควบคุมที่เหมาะสมที่ละวงรอบ และนำตัวควบคุมที่ได้มาควบคุมทั้งสองวงรอบ ผลการจำลอง ระบบ พบว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุด สามารถควบคุมความเข้มข้นให้อยู่ใน ค่าที่กำหนด เมื่อสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบที่ได้จากตัวควบคุมพีไอดีที่ กำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองวงรอบควบคุมด้วยวิธี minimum ISTSE พบว่าสามารถกำจัดสัญญาณรบกวน ได้รวดเร็วกว่าอย่างเห็นได้ชัดทั้งสองวงรอบ ในส่วนของการควบคุมหอกลับแยกสารผสมสองชนิดของห้อง ปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม โดยทำการหาตัวควบคุมที่เหมาะสมที่ละวงรอบ และพิจารณาสมรรถนะของ ตัวควบคุมในการกำจัดสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกัน ผลการควบคุมชี้ให้เห็นว่า เมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอแบบ กำกับดูแลด้วยพีซีที่เหมาะสมที่สุดทั้งสองวงรอบ สามารถควบคุมความบริสุทธิ์ของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ และฐานหอ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าที่กลางหอได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับผล การควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองวงรอบด้วยวิธี Ziegler-Nichols เห็นได้ว่ามี ผลตอบที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดทั้งสองวงรอบ ขณะที่ยังใช้สัญญาณควบคุมน้อยที่สุดอีกด้วย

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการพัฒนาการออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิด ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับขั้น เนื่องจากตัวกำกับดูแลฟัซซีแบบดั้งเดิม ที่ทำหน้าที่ปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ ไม่มีวิธีกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนของตัวกำกับดูแลฟัซซีซึ่งคือ ฟังก์ชันภาวะสมาชิกและกฎฟัซซี ต้องอาศัยความชำนาญและการลองผิดลองถูกในการกำหนด ดังนั้นจึงได้นำขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับขั้น ซึ่งเป็นวิธีค้นหาค่าเหมาะสมวิธีหนึ่ง มาหาทั้งจำนวนและรูปร่างฟังก์ชันภาวะสมาชิก ตลอดจนฐานกฎที่เหมาะสมสำหรับระบบฟัซซี

ผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับขั้น สามารถค้นหาจำนวนและรูปร่าง ตลอดจนฐานกฎที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี โดยในบทที่ 2 ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับขั้นในการหาจำนวนและรูปร่างของฟังก์ชันภาวะสมาชิก และฐานกฎที่เหมาะสม ตัวอย่างการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่แบบเหมาะสมที่สุดที่ออกแบบด้วยวิธีนี้ สามารถควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นระบบหนึ่งสัญญาณเข้าหนึ่งสัญญาณออกได้เป็นอย่างดี โดยได้พิจารณาสมรรถนะของตัวควบคุมในการตามรอยสัญญาณอ้างอิงแบบขั้น และใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ใน 2 กรณีคือ ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง และผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาด เปรียบเทียบผลการควบคุมทั้งสองกรณีกับผลการควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมพีไอ ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Åström-Hägglund ซึ่งทั้งสองกรณีให้ผลตอบที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อพิจารณากรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ พบว่าตัวควบคุมทั้งสองกรณียังสามารถให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าได้

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม จึงเลือกหอกลิ้นซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานทางอุตสาหกรรมเคมีเป็นกรณีศึกษา ในบทที่ 3 ได้ทำการจำลองระบบโดยได้หาค่าเหมาะสมของตัวกำกับดูแลฟัซซีที่ละวงจรควบคุม และใช้ผลที่ได้ทำการควบคุมทั้งสองวงจรพร้อมกัน ในการจำลองพิจารณาสมรรถนะของตัวควบคุมในการกำจัดสัญญาณรบกวน ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่า นอกจากตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด สามารถควบคุมความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ และฐานหอให้มีความบริสุทธิ์ได้เป็นอย่างดีแล้ว ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับผลการควบคุมจากตัวควบคุมพีไอที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี minimum ISTSE ซึ่งเป็นกฎการควบคุมที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง พบว่าให้ผลการกำจัดสัญญาณควบคุมที่ดีกว่ามาก

ส่วนสุดท้ายของบทที่ 3 คือการออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับหอกลิ้นแยกสารผสมสองชนิดของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ซึ่งในการออกแบบได้

หาค่าเหมาะสมของตัวกำกับดูแลพีชชีที่ละวงจรควบคุม และพิจารณาสมรรถนะของตัวควบคุมสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกัน ผลการทดลองควบคุมสอดคล้องกับการจำลองระบบ กล่าวคือสามารถรักษาความอุมหุมิที่ยอดหอดและฐานหอดได้เป็นอย่างดี และสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

4.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่เกิดจากการนำตัวควบคุมไปประยุกต์ใช้จริง ซึ่งมีปัญหาและข้อเสนอแนะที่สำคัญดังนี้

1. เนื่องจากในกระบวนการของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น ต้องหาค่าความเหมาะสมซึ่งมักใช้เป็นการสัมพันธ์ของค่าผิดพลาด จึงต้องคำนวณจากผลตอบของระบบ ในกรณีของการทดลองกับระบบจริง หากระบบมีช่วงเวลาเข้าที่นานจะทำให้กระบวนการทางพันธุกรรมใช้เวลานานด้วย
2. นอกจากเวลาเข้าที่ของระบบที่มีผลต่อเวลาในการหาค้นหาค่าเหมาะสมแล้ว จำนวนโครโมโซมและจำนวนรุ่นของกระบวนการทางพันธุกรรม ก็มีผลเช่นเดียวกัน จึงควรเลือกให้มีความเหมาะสมกับระบบที่จะนำไปใช้
3. สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาล้างต้น คือ การหาขั้นตอนวิธีในการลดจำนวนประชากรและจำนวนรุ่นในการค้นหา เช่น การใช้วิธีพีชชีคลัสเตอร์ [32, 33, 34] ในการพัฒนาวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้นเป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. Man, K. F.; Tang, K. S. and Kwong, S. Genetic Algorithms: Concepts and Designs. London: Springer-Verlag, 1999.
2. Holland, J. H. Adaption in natural and artificial system. Cambridge: MIT Press, 1975.
3. Goldberg, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Massachusetts: Addison-Wesley, 1989.
4. Zhao, Z. Y.; Isaka, S. and Tomizuka, M. Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers. IEEE Trans. Syst., Man and Cybernetics 23 (September/October 1993): 1392–1398.
5. Pruessmann, D.; Krause, B. and Altrock, C. V. Fuzzy Logic Supervisory Control for Cole Power Plant. Proc. IEEE Fuzzy Syst. Conf. 2 (1997): 921–925.
6. Bonissone, P. P.; Badami, V.; Chaing, K. H.; Khedkar, P. S.; Marcelle, K. W. and Schutten, M. J. Industrial Applications of Fuzzy Logic at General Electric. Proc. of the IEEE 82 (March 1995): 1676-1690.
7. Visoli, A. Tuning of PID Controllers with Fuzzy Logic. IEE Proc. Control theory Appl. 148 (January 2001): 1–8.
8. Wang, P. and Kwok, D. P. Optimal fuzzy PID control based on genetic algorithm. Proc. of the IEEE (1992): 977-981.
9. Karr, C. L. and Gentry, E. J. Fuzzy Control of pH Using Genetic Algorithms. IEEE Trans. Fuzzy Syst. 1 (February 1993): 46-53.
10. Nakamura, E. and Kehtarnavaz, N. Optimization of Fuzzy Membership Function Parameter. Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man and Cyber. 1 (1995): 1-6.
11. Cho, H. J.; Cho, K. B. and Wang, B. H. Automatic Rule Generation using Genetic Algorithms for Fuzzy-PID Hybrid Control. Proc. IEEE Symp. Intelligent Control (September 1996): 271-276.
12. Harmaifar, A. and McCormick, E. Simultaneous Design of Membership Function and Rule Sets for Fuzzy Controllers using Genetic Algorithm. IEEE Trans. Fuzzy System 3 (May 1995):129–139.
13. Pratishtananda, S.; Chatthana-anan, T. and Glankwamdee, W. Fuzzy Supervisory Control System of A Binary Distillation Column. Proc. IEEE Conf. (TENCON) 2 (2001): 752–755.

14. Man, K. F. and Tang, K. S. Genetic Algorithms for Control and Signal Processing. IEEE Int. Conf. Ind. Electron 4 (1997): 1541–1555.
15. Tang, K. S.; Man, K. F. and Gu, D. W. Structured Genetic Algorithm for Robust H_{∞} Control Systems Design. IEEE Trans. Ind. Electron. 43 (October 1996): 575–582.
16. Ko, K. T.; Tang, K. S. and Man, K. F. Microwave Communication Network Designs Using Hierarchical Genetic Algorithm. Proc. IEEE Microwave Conf. APMC 1 (1997): 29–32.
17. Tang, K. S.; Man, K. F.; Kwong, S. and Liu, Z. F. Design and Optimization of IIR Filter Structure Using Hierarchical Genetic Algorithms. IEEE Trans. Ind. Electron. 45 (June 1998): 481–487.
18. Tang, K. S.; Man, K. F. and Istepanian, R. S. H. Teleoperation Controller Design using Hierarchical Genetic Algorithm. Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man and Cyber. 7 (2002): 369–374.
19. Yen, G. G. and Liu, H. Hierarchical Genetic Algorithm based Neural Network Design. Proc. IEEE Symp. Combinations of Evolutionary Computation and Neural Networks (2000): 168–175.
20. Chan, T. M.; Kwong, S.; Man, K. F. and Tang, K. S. Total System Cost Minimization in CDMA PCS Network Using Hierarchical Genetic Algorithms. IEEE Conf. Ind. Electron. (2000): 168–175.
21. Abdellaziz, A. R. and El-Habachi, A. Hierarchical Genetic Algorithm-Based Switching Device Placement in Distribution System. IEEE Electrotechnical Conf. (May 2002) 585–598.
22. Wang, C.; Soh, Y. C.; Wang, H. and Wang, H. A Hierarchical Genetic Algorithm for Path Planning in a Static Environment with Obstacles. Proc. IEEE Evol. Comp. (2002): 585–598.
23. Tang, K. S.; Man, K. F.; Kwong, S. and Liu, Z. F. Minimal Fuzzy Memberships and Rule Using Hierarchical Genetic Algorithms. IEEE Trans. Ind. Electron. 45 (February 1998): 162–169.
24. Ke, J. Y.; Tang, K. S.; Man, K. F. and Luk, P. C. K. Hierarchical Genetic Fuzzy Controller for a Solar Power Plant. Proc. IEEE Ind. Electron. 2 (1998): 584–588.
25. Xijin, G.; Young, Z. and Dunwei, G. Optimization of Fuzzy Control System Based on Hierarchical Genetic Algorithms. Proc. IEEE Comp. Comm. Control and Power 3 (2002): 1463–1466.
26. Wang, L.-X. A Course in Fuzzy Systems and Control. New Jersey: Printice-Hall, 1997.
27. O'Dwyer, A. PI and PID Controllers for Time Delay Processes: Performance and Robustness Issues. Proc. of the Wismarer Automatisierungssymposium (September 1999): 331–338.

28. Luyben, W. L. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineer. Singapore: McGraw-Hill, 1990.
29. Skogestad, S. Dynamics and Control of Distillation Column: A Tutorial Introduction. Trans. IChemE. 75 (1997): 539–562.
30. Zhou, C.; Whiteley, J.R.; Misawa, E.A. and Gasem, K. A. M. Application of Enhanced LQG/LTR for Distillation Control. Control Systems Magazine, IEEE 15 (1995): 56–63.
31. Instruction Manual, Continuous Distillation Column UOP3CC. Armfield, Issue 6, February 1996.
32. Jang, R. Fuzzy controller design without domain experts . IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems (1992): 289–296.
33. Hong, T. P.; and Lee, C. Y. Induction of fuzzy rules and membership functions from training examples. Fuzzy Sets and Systems (1996): 33–47.
34. Klawonn, F.; and Kruse, R. Constructing a fuzzy controller from data. Fuzzy Sets and Systems (1997): 177–193



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GAs) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสม ซึ่งมีฐานมาจากกลไกการคัดเลือกและกระบวนการทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ โดยเลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ กล่าวคือผู้ที่แข็งแรงย่อมมีโอกาสอยู่รอดสูงกว่า ทำให้มีโอกาสในการถ่ายทอดโครงสร้างทางพันธุกรรมไปสู่ลูกหลานมากกว่า โดยลักษณะเด่นที่ทำให้ผู้แข็งแรงกว่านั้นมีชีวิตรอดจะปรากฏอยู่ในช่วงอายุถัดไป

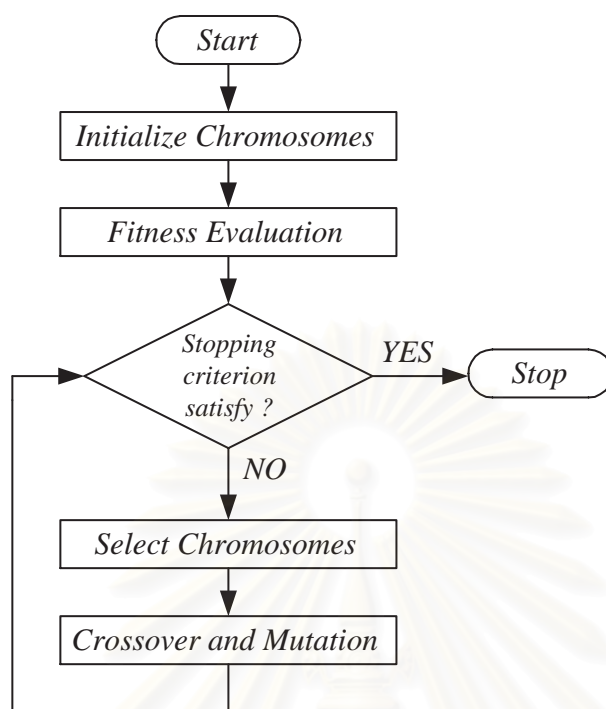
Holland [2] ได้นำเสนอหลักการเบื้องต้นของ GAs และบุกเบิกงานด้านนี้มาประยุกต์ใช้งานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมในปี ค.ศ. 1970 จนกระทั่งปัจจุบัน GAs ได้รับความนิยมสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความง่ายแต่ให้ประสิทธิภาพที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีเกรเดียน ในการค้นหาจุดเหมาะสมจากการวิวัฒนาการจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง

ก.1 การดำเนินการทางพันธุกรรม

เนื่องจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมใช้หลักการทำงานจากกลไกการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งผู้แข็งแรงกว่าจะมีโอกาสในการสืบทอดพันธุ์มากกว่า หมายความว่าในกระบวนการค้นหาคำตอบ คำตอบของปัญหาที่มีลักษณะเข้มแข็งหรือมีค่าความเหมาะสมสูงถูกถ่ายทอดลักษณะไปยังคำตอบรุ่นถัดไป ทำให้คำตอบของปัญหาดีขึ้นเรื่อยๆ จนใกล้เคียงผลเฉลยจริง จากแนวคิดดังกล่าวเมื่อจำลองกระบวนการทางธรรมชาติมาสู่กระบวนการทางคณิตศาสตร์ ทำได้โดยการกำหนดคำตอบของปัญหาขึ้นมาจำนวนหนึ่งด้วยการสุ่ม ชุดคำตอบนี้เรียกว่า ประชากร จากนั้นเข้ารหัสกลุ่มคำตอบเหล่านั้นเป็นชุดอักขระซึ่งเรียกคำตอบที่เข้ารหัสแล้วว่า โครโมโซม (Chromosome) โดยอักขระภายในโครโมโซม เรียกว่า ยีน (Genes) จากนั้นนำประชากรมาคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness value) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น จากนั้นผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมหลักที่สำคัญดังนี้

1. การคัดเลือกพันธุ์ (Selection)
2. การถ่ายทอดพันธุ์ (Crossover)
3. การกลายพันธุ์ (Mutation)

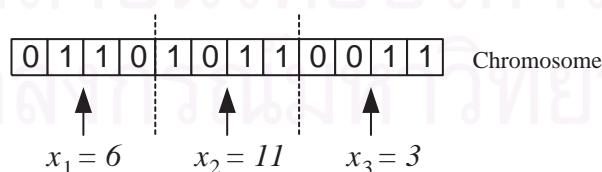
เมื่อผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมแล้ว ประชากรเหล่านั้นถือว่าเป็นประชากรรุ่นใหม่ และนำไปคำนวณค่าความเหมาะสม และผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมในรอบต่อไป ซึ่งกระบวนการทั้งหมดสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1: แผนภาพวัฏจักรการทำงานของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

ก.2 การเข้ารหัส (Coding)

ในการจัดรูปแบบของปัญหาเพื่อดำเนินการทางพันธุกรรม หลังจากสุ่มชุดคำตอบแล้วค่าของคำตอบหรือตัวแปรถูกเข้ารหัสให้มีลักษณะคล้ายโครโมโซม กล่าวคือ มีลักษณะเป็นเส้นยาว มีความยาวที่สามารถกำหนดได้ โดยในแต่ละโครโมโซมประกอบไปด้วยเซตของพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ยีน การเข้ารหัสมีได้หลายรูปแบบ เช่น การเข้ารหัสด้วยเลขฐานสอง (Binary coding) การเข้ารหัสเกรย์ (Gray coding) การเข้ารหัสด้วยจำนวนจริง (Real-value coding) สำหรับการเข้ารหัสด้วยเลขฐานสองแสดงได้ดังรูปที่ ก.2 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงภายในโครโมโซมได้เพียง 2 ค่าคือ 0 กับ 1 จากรูป ก.2 เป็นการใช้เลขฐานสองแทนตัวแปร 3 ตัว คือ x_1 , x_2 และ x_3 โดยที่ 6, 11 และ 3 คือค่าของตัวแปร x_1 , x_2 และ x_3 ตามลำดับ



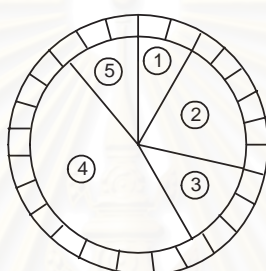
รูปที่ ก.2: การเข้ารหัสด้วยเลขฐานสองของตัวแปร 3 ตัว

การเลือกความยาวของแต่ละโครโมโซมอาจขึ้นอยู่กับขอบเขตของคำตอบแต่ละตัวเป็นเท่าใด หรือขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดสูงมากน้อยเพียงใด ถ้าโครโมโซมมีความยาวมาก (มีจำนวนยีนมาก) จะให้ความละเอียดสูง เช่นเดียวกับในกรณีของการเลือกจำนวนโครโมโซม (ประชากร) หากมีจำนวนมาก

ทำให้คำตอบสามารถเข้าสู่ผลเฉลยได้ภายในไม่กี่รุ่น แต่ว่าการกำเนิดแต่ละรุ่นใช้เวลาานาน

ก.3 การคัดเลือกพันธุ์ (Selection)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซม ซึ่งเป็นต้นแบบหรือพ่อแม่ (Parents) ของช่วงอายุถัดไป โดยที่หลักการเลือกนั้นเป็นการเลือกแบบสุ่ม และโอกาสในการถูกเลือกของโครโมโซมนั้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสมของโครโมโซมตัวนั้น ในลักษณะนี้ทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมโดยรวมของรุ่นถัดไปมีค่าสูงขึ้น การคัดเลือกพันธุ์มีหลายวิธี ในทางปฏิบัติใช้วิธีที่เรียกว่า การคัดเลือกตามวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)

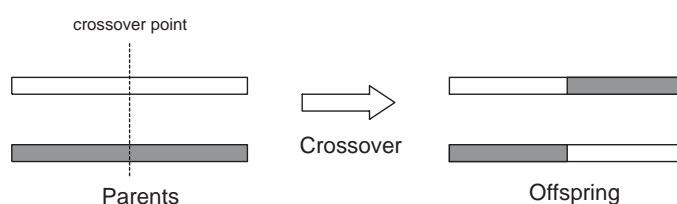


รูปที่ ก.3: การเลือกตามวงล้อรูเล็ต

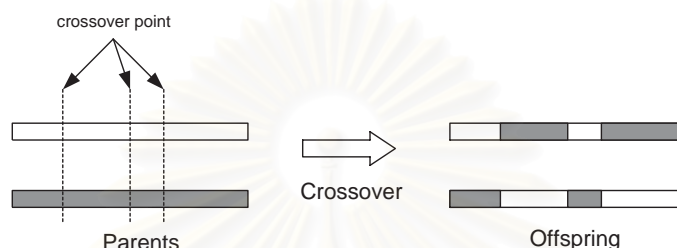
การคัดเลือกตามวงล้อรูเล็ต เป็นวิธีการเลือกที่ค่อนข้างง่ายมีหลักการคือ เริ่มจากสร้างวงล้อรูเล็ตที่มีความกว้างในแต่ละช่องไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสมของโครโมโซม กล่าวคือถ้าค่าความเหมาะสมมีค่ามากช่องจะมีขนาดกว้างดังแสดงได้ดังรูปที่ ก.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการแบ่งช่องของประชากรที่มีโครโมโซมจำนวน 5 ตัว โดยโครโมโซมตัวที่สี่ มีค่าความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาเป็นโครโมโซมตัวที่สองเป็นต้น จากนั้นทำการกำหนดจุดตัวชี้ตำแหน่งซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Fixed point) แล้วทำการหมุนวงล้อรูเล็ต เมื่วงล้อรูเล็ตหยุดหมุนแล้วทำการเลือกลักษณะของคำตอบที่มีตัวชี้ตำแหน่งชี้อยู่ ทำเช่นนั้นจนกระทั่งได้จำนวนประชากรครบตามจำนวนที่กำหนดไว้

ก.4 การถ่ายทอดพันธุ์ (Crossover)

ในขั้นตอนนี้เป็นการถ่ายทอดรูปแบบของโครโมโซมจากช่วงอายุหนึ่งไปยังอีกช่วงอายุหนึ่ง กล่าวคือทำการการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนโดยทำการสุ่มโครโมโซม 2 ตัวมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่ (สุ่มจากโครโมโซม ที่ถูกเลือกจากการดำเนินการคัดเลือกพันธุ์) แล้วทำการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนซึ่งกันและกัน ณ ตำแหน่งที่ถูกสุ่มเลือก ในขั้นตอนนี้เราจะได้โครโมโซมที่เป็นลูกหลาน (Off-spring) ซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้การถ่ายทอดพันธุ์แบบจุดเดียว (One-point crossover) แสดงดังรูปที่ ก.4 เห็นได้ว่าโครโมโซมที่เป็นลูกหลานมีลักษณะคำตอบของโครโมโซมที่เป็นพ่อแม่ นอกจากการถ่ายทอดพันธุ์แบบจุดเดียวแล้วยังมีการถ่ายทอดพันธุ์แบบหลายจุด (Multi-point crossover) อีกด้วยแสดงดังรูปที่ ก.5 ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า การดำเนินการถ่ายทอดพันธุ์นี้เกิดขึ้นด้วยค่าความน่าจะเป็น (Crossover probability) เท่ากับ p_c โดยทั่วไปมีค่า



รูปที่ ก.4: การถ่ายทอดพันธุ์แบบจุดเดียว

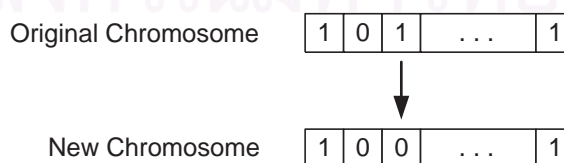


รูปที่ ก.5: การถ่ายทอดพันธุ์แบบหลายจุด

ประมาณ 0.6 – 1.0 [1]

ก.5 การกลายพันธุ์ (Mutation)

จากการดำเนินการคัดเลือกพันธุ์และการดำเนินการถ่ายทอดพันธุ์แล้วนั้น ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้โครโมโซมลูกหลานที่ได้นั้น มีลักษณะหลากหลายในทุกรุ่น จำเป็นต้องมีการกลายพันธุ์ของโครโมโซม ซึ่งทำให้กระบวนการค้นหาไม่ลู่เข้าไปติดอยู่ที่จุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local optima) เนื่องจากเมื่อเกิดการกลายพันธุ์ทำให้คำตอบเกิดการกระโดดไปยังขอบเขตการค้นหาอื่นซึ่งนำไปสู่คำตอบที่เป็นจุดเหมาะสมรวม ในกรณีที่ใช้โครโมโซมที่เข้ารหัสด้วยเลขฐานสองนั้น การกลายพันธุ์คือการเปลี่ยนจากสถานะ 1 เป็น 0 หรือจาก 0 ไปเป็น 1 ดังแสดงดังรูปที่ ก.6 เนื่องจากบางครั้งการกลายพันธุ์อาจเป็นการทำลายโอกาสที่จะพบจุดเหมาะสม เนื่องจากเมื่อเกิดการกลายพันธุ์ขณะคำตอบกำลังลู่เข้าสู่ค่าเหมาะสม คำตอบอาจจะกระโดดไปยังค่าอื่น ๆ ได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นของการดำเนินการกลายพันธุ์นี้ควรอยู่ที่ค่า p_m ต่ำๆ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ราว 0 – 0.1 [1]



รูปที่ ก.6: การกลายพันธุ์ในตำแหน่งที่สาม

เมื่อผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรมทั้งสามแล้ว ถือได้ว่าการกำเนิดโครโมโซมรุ่นต่อไปอย่างสมบูรณ์ แต่โครโมโซมรุ่นใหม่ที่ได้นี้ ยังไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เราต้องการแก้ ต้องทำการถอดรหัส

โครโมโซมเสียก่อน เมื่อทำการถอดรหัสออกมาเป็นคำตอบทำให้ทราบถึงค่าความเหมาะสม โดยที่ค่าความเหมาะสมนี้เป็นตัวสะท้อนถึงความสามารถในการดำรงเผ่าพันธุ์ของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งนำไปเป็นเกณฑ์ในการดำเนินการคัดเลือกพันธุ์อีกครั้ง การดำเนินการทางพันธุกรรมดำรงเป็นวัฏจักรเช่นนี้จนกระทั่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบางอย่างเช่น สร้างจำนวนรุ่นได้ตามจำนวนที่กำหนดหรือส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยของประชากรไม่เกินขอบเขตที่กำหนด เป็นต้น

ก.6 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function)

ในการดำเนินการเลือกประชากรนั้น ต้องเลือกโครโมโซมที่มีแนวโน้มเป็นคำตอบของปัญหามากที่สุด กล่าวคือเลือกโครโมโซมที่ให้ค่าความเหมาะสมมาก โดยค่าความแข็งแรงเป็นค่าที่ใช้วัดความเข้าใจคำตอบของปัญหา หรือเป็นค่าชี้วัดความสามารถในการดำรงเผ่าพันธุ์ของโครโมโซมนั้นเอง ค่าความเหมาะสมคำนวณได้จากฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างหนึ่งอย่างใดกับฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function: J) ขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา โดยทั่วไปมักเป็นความสัมพันธ์แบบผกผันเนื่องจากในปัญหาปกตินั้นต้องการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ แต่ในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมใช้การหาค่าสูงที่สุดของฟังก์ชันความเหมาะสม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกียรติขจร วรปรัชญา เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 จังหวัดชลบุรี เป็นบุตรของ นายชัยฤกษ์ และนางสุวรรณณี วรปรัชญา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาค วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ในปีการศึกษา 2544

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. เกียรติขจร วรปรัชญา และ สุวลัย ประดิษฐานนท์, “การกำหนดโครงสร้างระบบควบคุมกำกับดูแลแบบฟัซซีโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบลำดับชั้น”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 26, หน้า 928–933, พฤศจิกายน 2546.
2. K. Worapadya and S. Pratishtananda, “Fuzzy supervisory PI controller Using Hierarchical Genetic Algorithms”, 5th Asian Control Conf.(ASCC) 2004, July 2004, Melbourne, Australia, to be appeared.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย