

ตัวควบคุมกระบวนการแบบพีชชีลอจิก

นาย นฤพนธ์ มัญมณี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-475-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 174 636 71

A Fuzzy Logic Process Controller

Mr. Narupont Manmancee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

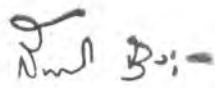
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-475-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ตัวควบคุมกระบวนการแบบพีชชีลोजิก
โดย นาย นฤพนธ์ มัญญณี
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

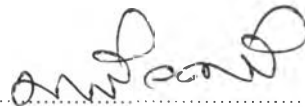


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ อุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)



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



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิสวธีรานนท์)



..... กรรมการ
(ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นฤพนธ์ มัญญมณี : ตัวควบคุมกระบวนการแบบฟัซซีลอจิก

(A FUZZY LOGIC PROCESS CONTROLLER), อ. ที่ปรึกษา :

อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 232 หน้า . ISBN 974-633-475-1

โปรแกรมตัวควบคุมกระบวนการแบบฟัซซีลอจิกเขียนด้วยภาษาซี ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ตัวควบคุมกระบวนการนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมระดับของถังทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ระดับของถังถูกควบคุมโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังผ่านวาล์วควบคุมขนาด 1 นิ้ว โปรแกรมตัวควบคุมมีคุณลักษณะคือแสดงการพล็อตแบบเทรนด์ เฟซเพลตของตัวควบคุม ไดอะแกรมของกระบวนการ ฟังก์ชันสมาชิกและฐานกฎ ผู้ใช้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ฟังก์ชันสมาชิกและกฎการควบคุม ได้โดยใช้เมาส์และเป็นพิมพ์ กฎการควบคุมถูกออกแบบโดยใช้กลยุทธ์การควบคุมแบบแบ่งย่านการทำงาน คือแบ่งระดับของกระบวนการออกเป็น ย่านเกนสูง 2 ย่านและย่านเกนต่ำ 1 ย่าน แต่ละย่านจะมีชุดของกฎที่ใช้ต่างกันในการคำนวณค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม สมรรถนะของตัวควบคุมกระบวนการแบบฟัซซีถูกประเมินโดยการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบไม่เชิงเส้น (กำหนดค่าเกนต่าง ๆ กัน) ในการเปลี่ยนค่าเซตพอยต์ การเปลี่ยนแปลงโหลด และการทดสอบความทนทาน พบว่าสมรรถนะของตัวควบคุมกระบวนการแบบฟัซซีลอจิกดีกว่าตัวควบคุมพีไอดีแบบไม่เชิงเส้นถึง 5 ใน 6 กรณี

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C516889: CHEMICAL ENGINEERING
MAJOR
KEY WORD: CONTROLLER/FUZZY LOGIC/PROCESS CONTROL
NARUPONT MANMANEE : A FUZZY LOGIC PROCESS CONTROLLER
THESIS ADVISOR : DR.MONTREE WONGSRI, D.Sc,
232 pp. ISBN 974-633-475-1

A fuzzy process controller program was written in C language and runs on a personal computer. It was applied to spherical tank level control. The tank has a diameter of 40 cm; and its level is controlled by adjusting the inflow of water through a 1 inch control valve. The program features are the trend plot, the controller faceplate, the process diagram, the membership function and rule base. By using a mouse and a keyboard, a user can adjust the controller parameters, the membership functions and control rules. The fuzzy process control rules were designed by using the multi-region control strategy, i.e., dividing the process region into 2 high gain regions and 1 low gain region. There are different sets of rules for each region to compute the controller output. The performance of the fuzzy process controller was evaluated by comparing it with that of a nonlinear (gain scheduling) PID controller in set point change, load change and robustness categories. It is found that the fuzzy process controller performance is better than that of the nonlinear PID controller in 5 out of 6 cases.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา.....2538

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น
และแนวความคิดต่าง ๆ ของการวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ กฤษดา วิสวธีรานนท์ ดร.ไพศาล กิตติสุขภกร และ
ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ และน้อง ๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเป็น
อย่างมาก

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีอุปการคุณที่สนับสนุนและเป็น
กำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ.
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ.
สารบัญภาพ.....	ฐ.
สารบัญตาราง.....	ถ.
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ธ.
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	6
1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3. ฟิชชีลอจิกและการควบคุมแบบฟิชชี.....	18
3.1 บทนำ.....	19
3.2 พื้นฐานของฟิชชีเซต.....	22
3.3 การดำเนินการของฟิชชีเซต.....	24
3.4 ฟังก์ชันสมาชิก.....	25
3.5 หลักการยืดยาย.....	28
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิชชีเซต.....	29

3.7	ลอจิกภาคแสดง.....	30
3.7.1	ทอโทโลยี.....	35
3.7.2	ความขัดแย้ง.....	37
3.7.3	การอนุมานแบบนิรนัย.....	37
3.8	พีชชีลอจิก.....	38
3.9	การให้เหตุผลแบบพีชชี.....	40
3.10	ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบอิงกฎพีชชี.....	42
3.10.1	ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบอิงกฎแบบบัญญัติพีชชี.....	45
3.10.2	การแยกกฎแบบผสมไปสู่รูปแบบที่ง่าย.....	47
3.10.3	เทอมทางภาษาและตัวขยายทางภาษา.....	48
3.10.4	การเชื่อมส่วนเงื่อนไขหรือส่วนข้อสรุปด้วย “AND” หรือ “OR”.....	50
3.10.5	ข้อความเงื่อนไขที่มี “ELSE”、“UNLESS”.....	51
3.10.6	กฎ IF-THEN แบบโครงข่าย.....	52
3.10.7	รูปแบบบัญญัติของกฎผู้เชี่ยวชาญพีชชีในรูปของมัลติอินพุท-มัลติเอาต์พุท.....	52
3.11	ระบบสมการความสัมพันธ์พีชชี.....	56
3.11.1	การรวมกันของกฎพีชชี.....	57
3.11.2	การหาความสัมพันธ์พีชชี.....	59
3.11.3	การประกอบความสัมพันธ์พีชชี.....	61
3.12	การหาคำตอบของระบบสมการความสัมพันธ์พีชชี.....	63
3.13	เทคนิคการหาคำตอบจากสมการความสัมพันธ์โดยวิธีกราฟฟิก.....	65
3.14	กระบวนการดีพีชชี.....	71
3.15	การควบคุมแบบพีชชีลอจิกและการออกแบบตัวควบคุม.....	73
3.15.1	ตัวแปรระบบและพารามิเตอร์พีชชี.....	76
3.15.2	กระบวนการพีชชีพีเคชัน.....	77
3.15.3	ฐานความรู้พีชชี.....	77
3.15.5	การให้เหตุผลของตัวควบคุมพีชชี.....	80
3.15.5	กระบวนการดีพีชชี.....	84

บทที่ 4. แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการทดลองและปัญหาในการควบคุม.....	85
4.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการทดลอง.....	85
4.2 ทฤษฎีของตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี.....	91
4.3 ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น.....	97
4.4 เกณฑ์การตัดสินใจสมรรถนะของตัวควบคุม.....	100
4.5 ปัญหาในการควบคุม.....	102
บทที่ 5. การออกแบบตัวควบคุมกระบวนการแบบพีซีลจิก.....	105
5.1 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีซีลจิก.....	105
5.1.1 ขอบเขตของเอกภพ.....	108
5.1.2 ตัวแปรภาษาและพีซีเซต.....	111
5.1.3 ฟังก์ชันสมาชิก.....	113
5.1.4 กระบวนการพีซีพีเคชัน.....	114
5.1.5 กฎการควบคุม.....	116
5.1.6 การอนุมาน.....	122
5.1.7 กระบวนการดีพีซี.....	124
5.2 เทคนิคการปรับจูนตัวควบคุมแบบพีซีลจิก.....	127
บทที่ 6. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	139
6.1 ระบบการทดลอง.....	139
6.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	140
6.3 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม.....	144
6.4 โปรแกรมตัวควบคุมพีซีลจิก.....	145
6.4.1 ข้อมูลจำเพาะของโปรแกรม.....	150
6.4.2 การใช้งานโปรแกรม.....	152
6.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	160
6.5.1 การทดสอบการรักษาชีพโยยท์.....	161

6.5.2 การทดสอบความทนทานของตัวควบคุม.....	162
บทที่ 7. ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	165
7.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	165
7.1.1 ผลการปรับจูนตัวควบคุม.....	165
7.1.2 ผลการควบคุมกระบวนการ.....	172
7.2 สรุปผลการวิจัย.....	190
7.3 วิจัยและข้อเสนอแนะ.....	192
รายการอ้างอิง.....	194
ภาคผนวก	
ก. การอินเทอร์เน็ตเฟสสัญญาณด้วย PCI 812-PG.....	197
ข. ซอสโค้ด.....	206
ประวัติผู้เขียน	232

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบเพนคูล์ม.....	2
3.1 เซ็ตแบบปกติ.....	21
3.2 ฟังก์ชันเซต.....	21
3.3 คริสต์ฟเซตของ A	23
3.4 ฟังก์ชันเซตของ A	23
3.5 ยูเนียนของ A และ B	24
3.6 อินเตอร์เซกของ A และ B	24
3.7 คอมพลีเมนต์ของ A และ B	25
3.8 รายละเอียดของฟังก์ชันสมาชิก.....	25
3.9 ฟังก์ชัน S	27
3.10 ฟังก์ชัน π	27
3.11 ฟังก์ชัน T	28
3.12 การแจกแจงโดยรูปภาพของข้อความ “ P implies Q is true”.....	33
3.13 ปริภูมิคาร์ทีเซียนแสดงการแจกแจงของ IF A , THEN B	34
3.14 ค่าความเป็นจริงของข้อความผสม IF A , THEN B ELSE C	35
3.15 ไดอะแกรมสำหรับระบบที่มี n อินพุต และ m เอาท์พุท.....	42
3.16 รูปแบบบัญญัติของกฎผู้เชี่ยวชาญ.....	45
3.17 ฐานกฎฟuzzyของระบบผู้เชี่ยวชาญในการอธิบายระบบ S	47
3.18 รูปแบบบัญญัติของระบบผู้เชี่ยวชาญฟuzzyสำหรับระบบมัลติอินพุท -มัลติเอาท์พุท.....	52
3.19 ระบบกฎผู้เชี่ยวชาญฟuzzyสำหรับระบบมัลติอินพุท-ซิงเกิลเอาท์พุท.....	53
3.20 กฎฟuzzyสำหรับอินพุท-เอาท์พุทแบบซิงเกิลตัน.....	53
3.21 กฎฟuzzyสำหรับอินพุทอยู่ในรูปคริสต์ฟ-เอาท์พุทแบบซิงเกิลตัน.....	54

3.22	กฎพีชชีสำหรับอินพุตอยู่ในรูปคริสป์-เอาท์พุทแบบซิงเกิลตัน.....	54
3.23	กฎพีชชีสำหรับอินพุท-เอาท์พุทแบบซิงเกิลตัน.....	55
3.24	กฎพีชชีแบบอินพุทเป็นฟังก์ชัน.....	55
3.25	การรวมแบบขนานของความสัมพันธ์พีชชี.....	58
3.26	การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของระบบพีชชีสองระบบ.....	58
3.27	การเชื่อมต่อแบบขนานของระบบพีชชีสองระบบ.....	59
3.28	วิธีอนุমানแบบ <i>Max-Min</i>	68
3.29	วิธีอนุমানแบบ <i>Max-Prod</i>	68
3.30	วิธีอนุমানแบบ <i>Max-Min</i>	69
3.31	วิธีอนุমানแบบ <i>Max-Prod</i>	70
3.32	การดีพีชชีแบบค่าสูงสุด.....	71
3.33	การดีพีชชีแบบจุดศูนย์ถ่วง.....	72
3.34	การดีพีชชีแบบความสูง.....	73
3.35	ความหมายของการควบคุมแบบพีชชี.....	74
3.36	โครงสร้างโดยทั่วไปของตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก.....	75
3.37	แสดงพีชชีพาร์ติชัน.....	79
3.38	แสดงการอนุমানพีชชีแบบ <i>Max-Min</i>	82
3.39	แสดงการอนุমানพีชชีแบบ <i>Max-Prod</i>	83
4.1	ลักษณะของกระบวนการทดลอง.....	87
4.2	แสดงโครงสร้างทางเรขาคณิตของถังทรงกลม.....	88
4.3	ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	91
4.4	การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ.....	94
4.5	การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีดี.....	96
4.6	อัลกอริทึมของตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น.....	98
4.7	คุณลักษณะของผลตอบสนองของกระบวนการ.....	102
5.1	โครงสร้างตัวควบคุมพีชชีลอจิกแบบพื้นฐาน.....	106
5.2	โครงสร้างตัวควบคุมพีชชีลอจิกแบบแบ่งย่านการทำงาน.....	107
5.3	แสดงโครงสร้างฟังก์ชันสมาชิก.....	113

5.4	นิยามฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุม.....	114
5.5	แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต e^*	114
5.6	แผนภูมิสายงานการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต e^*	115
5.7	คุณลักษณะโดยประมาณของกระบวนการทดลอง.....	118
5.8	ผลการตอบสนองของกระบวนการ.....	119
5.9	การอนุมานแบบ <i>Max-Min</i>	123
5.10	การดีฟัซซี่แบบจุดศูนย์ถ่วง.....	124
5.11	ลักษณะการปรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุต.....	129
5.12	ลักษณะการปรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต.....	130
5.13	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{du} = 100$	132
5.14	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{du} = 70$	132
5.15	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{du} = 45$	133
5.16	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{ce} = 80$	134
5.17	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{ce} = 17$	134
5.18	การปรับจูนละเอียดด้วยฟังก์ชันสมาชิก.....	135
5.19	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_{ce} = 17$ (หลังจากปรับฟังก์ชันสมาชิก).....	135
5.20	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_c = 80$	136
5.21	ผลการปรับจูนเมื่อ $S_c = 20$	137
5.22	แผนภูมิสายงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก.....	138
6.1	แสดงระบบและอุปกรณ์การทดลอง.....	141
6.2	การต่อใช้งานของตัววัดระดับของเหลว.....	142
6.3	แสดงแผนภูมิสายงานของโปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก.....	147
6.3	(ต่อ).....	148
6.4	แผนภูมิสายงานของอัลกอริธึมฟัซซี่ลอจิก.....	149
6.4	(ต่อ).....	150
6.5	แสดงหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมตัวควบคุม.....	152
6.6	หน้าจอหลักของตัวควบคุม.....	155
6.7	หน้าจอแสดงการเปลี่ยนพารามิเตอร์.....	155

6.8 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนพารามิเตอร์ปรับจูน.....	156
6.9 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์.....	157
6.10 หน้าจอแสดงกฎฟิชซี.....	157
6.11 หน้าจอแสดงการแก้ไขกฎฟิชซี.....	158
6.12 หน้าจอแสดงฟังก์ชันสมาชิก.....	159
6.13 หน้าจอแสดงการแก้ไขฟังก์ชันสมาชิก NS.....	160
7.1 ผลการทดลองหาค่าเกณฑ์หยุดและคาบเวลา.....	166
7.2 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 85%.....	167
7.3 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 80%.....	168
7.4 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 50%.....	168
7.5 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 30%.....	169
7.6 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 20%.....	169
7.7 ฟังก์ชันสมาชิกภายหลังการปรับจูน.....	171
7.8 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อ การเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป.....	174
7.9 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อ การเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน.....	175
7.10 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยค่าตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงเส็ตพอยท์ เมื่อเปลี่ยน จุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 80%.....	178
7.11 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยค่าตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงเส็ตพอยท์ เมื่อเปลี่ยน จุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 30%.....	179
7.12 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมฟิชซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่า เซ็ทพอยท์แบบสเต็ป.....	182
7.13 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมฟิชซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการ	

เปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป.....	183
7.14 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่า เซ็ทพอยท์แบบสเต็ป.....	184
7.15 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการ เปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป.....	185
7.16 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัว รบกวน.....	186
7.17 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการ เปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน.....	187
7.18 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัว รบกวน.....	188
7.19 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการ เปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน.....	189
ภาคผนวก	
ก.1 ตำแหน่งสวิตช์และจัมป์เปอร์ของการ์ดพีซีแอล812-พีจี.....	198

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าความเป็นจริงของการเชื่อมทางลจิก P และ Q	33
5.1 แสดงพีชชีเซ็ตของแต่ละตัวแปร.....	112
5.2 แสดงกฎพีชชีในย่านการทำงานที่1.....	121
5.3 แสดงกฎพีชชีในย่านการทำงานที่2.....	121
5.4 แสดงกฎพีชชีในย่านการทำงานที่3.....	122
5.5 ผลของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีชชีลจิก.....	128
7.1 พารามิเตอร์ปรับจูนสำหรับตัวควบคุมพีไอดี.....	167
7.2 ผลการหาค่าเกณฑ์กระบวนการที่ระดับความสูงปฏิบัติการต่างๆ.....	170
7.3 พารามิเตอร์ปรับจูนสำหรับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน.....	171
7.4 พารามิเตอร์ปรับจูนสำหรับตัวควบคุมพีชชีลจิก.....	171
7.5 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อ การเปลี่ยนแปลงเส้ตพ์ของค่าเซ็ทพอยท์.....	173
7.6 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อ การเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน.....	173
7.7 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยค่าตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงเส้ตพ์ของเซ็ทพอยท์ เมื่อเปลี่ยน จุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 80%.....	177
7.8 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยค่าตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงเส้ตพ์ของเซ็ทพอยท์ เมื่อเปลี่ยน จุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 30%.....	177
7.9 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีชชีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบเส้ตพ์.....	181

7.10 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน ของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการ เปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน.....	181
--	-----

คำอธิบายสัญลักษณ์

A, B	พีชชีเซต A และ B
μ	ค่าความเป็นสมาชิก
S, U, X, Y, C'	เอกภพ S, U, X, Y, C'
x, y, z	ตัวแปรคริสพ์ x, y, z
R	ความสัมพันธ์พีชชี R
Δt	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล
K_p	เกนกระบวนการ
K_c	เกนสัดส่วน
τ_i	ค่าคงที่เวลาอินทิกรัล
τ_D	ค่าคงที่เวลาอนุพันธ์
co	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม
PV	ค่าตัวแปรกระบวนการ
SP	ค่าเซ็ทพอยท์
e	ความผิดพลาด
ce	การเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด
ΔV	ตัวแปรช่วย
FLC	ตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก
PID	ตัวควบคุมแบบพีไอดี
Gain_Sch PID	ตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกน Gain_Sch PID
S_e	แฟคเตอร์การสเกลของตัวแปร e
S_{ce}	แฟคเตอร์การสเกลของตัวแปร ce
$S_{\Delta t}$	แฟคเตอร์การสเกลของตัวแปร Δt
u_k	สัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุม
y_k	ตัวแปรควบคุม (Controlled variable)