

การพัฒนาตัวควบคุมกระบวนการฟิชซีแบบฐานแบบจำลอง
สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนต่อเนื่อง

นางสาวทัศนีย์ วัฒนเชาว์พิสุทธิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-832-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEVELOPMENT OF MODEL-BASED FUZZY CONTROLLER FOR
A CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR**

Miss Tasanee Watanachaopisut

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University**

Academic Year 1998

ISBN 974-331-832-1

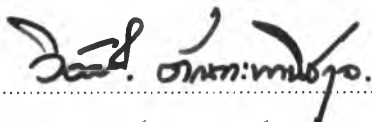
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาตัวควบคุมกระบวนการฟิชซีแบบฐานแบบจำลอง
สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนต่อเนื่อง
โดย นางสาวทัศนีย์ วัฒนเขวณพิสุทธิ์
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. หทัยชนก ดุริยะบรรเลง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญามหาบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

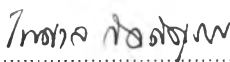
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. หทัยชนก ดุริยะบรรเลง)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย ชรินพานิชกุล)

ทัศนีย์ วัฒนเชาว์พิสุทธิ์: การพัฒนาตัวควบคุมกระบวนการฟิชซีแบบฐานแบบจำลอง สำหรับ
เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนต่อเนื่อง (DEVELOPMENT OF MODEL-BASED FUZZY
CONTROLLER FOR A CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR) อาจารย์ที่ปรึกษา:
ดร.หทัยชนก ดุริยะบรรเลง, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ดร.ไพศาล กิตติศุภกร; 151 หน้า.
ISBN 974-331-832-1.

การควบคุมกระบวนการทางเคมีในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นลักษณะของการควบคุมแบบฐานแบบ
จำลอง แต่ในหลายครั้งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทางเคมีมักเป็นกระบวนการที่ไม่เป็นเชิง
เส้น มีสมการทางคณิตศาสตร์ที่ยังยากซับซ้อนไม่สามารถทำได้ และบางครั้งการตั้งสมมติฐานที่มากเกินไปทำให้ได้
แบบจำลองที่ขาดความแม่นยำและใช้เวลานาน แบบจำลองความสัมพันธ์ฟิชซีเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการสร้างแบบ
จำลอง แบบจำลองความสัมพันธ์ฟิชซีนั้นสร้างโดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาต์พุทของกระบวนการ และเลือกโครงสร้างของ
แบบจำลองฟิชซีที่เหมาะสม

กระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนต่อเนื่องเป็นกระบวนการหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมีที่มี
ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นที่ต้องการพัฒนาการควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เป็นสร้างแบบจำลองความ
สัมพันธ์ฟิชซีเพื่อใช้เป็นแบบจำลองภายในสำหรับการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายใน (IMC) โดยการเขียน
โปรแกรมซิมูเลทกระบวนการและการควบคุมเพื่อทดสอบตัวควบคุมที่ได้ใน 2 กรณีคือ กรณีที่ค่าเป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลง
เป็นแบบสเต็ป และกรณีที่มีตัวรบกวนแบบสเต็ป เปรียบเทียบการควบคุมในลักษณะนี้กับตัวควบคุมแบบดั้งเดิม
และการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในที่เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยสมมติว่าสามารถวัดค่าตัวแปรทุกตัวได้
อย่างต่อเนื่อง ผลการวิจัยพบว่าการควบคุมในลักษณะนี้สามารถควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม
และสามารถใช้แทนการควบคุมแบบฐานแบบจำลองที่เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ ทั้งในการควบคุมระดับของ
ของเหลวของกระบวนการของถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้นและการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการของเครื่อง
ปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

การควบคุมโดยใช้แบบจำลองฟิชซีนีมีประโยชน์ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในกรณีที่
สามารถระบุแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ หรือมีความยุ่งยากซับซ้อนในการระบุแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต ทัศนีย์ วัฒนเชาว์พิสุทธิ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา หทัยชนก ดุริยะบรรเลง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ไพศาล กิตติศุภกร

C817357 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: CONTROLLER / FUZZY RELATIONAL MODEL

TASANEE WATANACHAOPISUT: DEVELOPMENT OF MODEL-BASED
FUZZY CONTROLLER FOR A CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR.
THESIS ADVISOR: HATAICHANOK DURIYABUNLANG, Ph.D. THESIS
CO-ADVISOR: ASSIST. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D. 151 pp.
ISBN 974-331-832-1

Presently, the controlling chemical process has a trend to use "Model-based control" approach. However, mostly mathematics models of the chemical process are non-linear which consist of the complicated mathematics equations and sometimes unable to be written. Setting up many hypothesis may result in the impreciseness of model and even time-consuming. Fuzzy relational model is an alternative that is used in building up the model. Fuzzy relational models are identified by the use of an input-output process data and the selection of an appropriate fuzzy model structure.

The process of a continuous stirred tank reactors (CSTR) is one of the process in a chemical industry whose characteristic is usually non-linear so that the more effective development control is necessary. In the research, the fuzzy relational model is selected as the internal model for an internal model controller (IMC). MATLAB program is used to simulate the process and the controller in order to investigate the control performance. The controller tests are performed in 2 categories i.e. step change in setpoint and step change in disturbance. The simulation results are clearly shown that the fuzzy controller can be used to control the process with a higher performance than the conventional control. In addition, the model-based controller can be used without using mathematics model both in the level control of non-linear flow tank and the temperature control of CSTR which is the more difficult process.

To be concluded, the application of the fuzzy model in the control is found profoundly impressive to use in the non-linear process particularly whose mathematics model is unable to be defined.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... *ทาสanee*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Uttam*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Prof. Pisan*



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ก็โดยอาศัยความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจจากบุคคลรอบข้างมากมาย ซึ่งถือเป็นพระคุณกับข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ดร.หทัยชนก ดุริยะบรรเลง สำหรับการรับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ให้แก่ข้าพเจ้า พร้อมทั้งความเมตตาดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีของท่าน และขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะได้ให้ความสนใจและได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำหรับเงินทุนอุดหนุนเพื่อสนับสนุนการทำการวิจัยนี้เป็นเวลา 1 ปี

ขอขอบคุณ The Andersonian Library, University of Strathclyde ที่ได้เอื้อเฟื้อ เอกสารอ้างอิงที่ใช้ในงานวิจัยโดยไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น และขอขอบคุณ Dr. Bruce E. Postlethwaith, Department of Chemical and Process Engineering, University of Strathclyde ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อมูลในการทำวิจัย

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และคนอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วยทุกคนที่ได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และเป็นกำลังใจให้ไม่ขาด

ขอขอบคุณบุพการี ที่ได้ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา และขอขอบคุณองค์พระผู้เป็นเจ้าที่ได้ทรงโปรดดูแลชีวิต และประทานสิ่งดีให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมาและตลอดไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญตาราง	ด

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีฟัชซี.....	4
2.1 ความเป็นมาของทฤษฎีฟัชซี.....	6
2.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	7
2.3 จำนวนฟัชซี.....	11
2.4 ฟัชซีเซต.....	17
2.5 การดำเนินการของฟัชซีเซต.....	23
2.6 ความสัมพันธ์ฟัชซี.....	26
2.6.1 การดำเนินการของฟัชซีเซต.....	31
2.6.2 การขยายทรงกระบอกและการโปรเจคชั่น.....	32
2.6.3 การดำเนินการประกอบของความสัมพันธ์ฟัชซี.....	34
2.7 การทำฟัชซีฟิเคชันและการทำดีฟัชซีฟิเคชัน.....	36
2.7.1 การทำฟัชซีฟิเคชัน.....	36
2.7.2 การทำดีฟัชซีฟิเคชัน.....	37

บทที่ 3 การควบคุมแบบฐานแบบจำลอง.....	40
3.1 การระบุหาแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซี	40
ฟัซซีเซตอ้างอิง.....	41
โครงสร้างของแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซี.....	42
อาร์เรย์ของความสัมพันธ์.....	42
3.2 การควบคุมฟัซซีแบบใช้แบบจำลองภายใน (Fuzzy Internal Model Control)	44
บทที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Surveys)	47
4.1 กำเนิดฟัซซี (Fuzzy Initiation)	47
4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลอง (Fuzzy Modeling Development)	49
4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมฟัซซีกระบวนการเคมี (Fuzzy Control in Chemical Process)	52
บทที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง	58
5.1 กระบวนการไหลของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น	58
5.2 กระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง	63
5.3 บทสรุป	65
บทที่ 6 การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	67
6.1 การเลียนแบบกระบวนการ	67
6.2 การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซี	67
6.3 การทดสอบตัวควบคุม	74
6.3.1 การควบคุมกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสตีพ.....	75
6.3.1.1 กระบวนการไหลของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น	75
6.3.1.2 กระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง	77
6.3.2 การควบคุมกรณีที่ตัวรบกวนกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ	79
6.3.2.1 กระบวนการไหลของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น	79
6.3.2.2 กระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง	81
6.4 รูปแสดงผลการทดลองต่างๆ	82

หน้า

6.5	สรุปผลการชิมูเลท.....	119
6.5.1	การทำแบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซีที่เหมาะสม	119
6.5.2	การทดสอบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสแต็ป	120
6.5.3	การทดสอบกรณีที่มีตัวรบกวนกระบวนการ	121
6.6	บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ.....	122
	รายการอ้างอิง	124
ภาคผนวก ก.	การอินทิเกรตเชิงตัวเลข	128
ภาคผนวก ข.	การควบคุมและการปรับจูนตัวควบคุมแบบพีไอดี	132
ภาคผนวก ค.	ตัวอย่างโค้ดโปรแกรมที่สำคัญ	141
	ประวัติผู้เขียน	151

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงขอบเขตของทฤษฎีฟัซซีและการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ	5
รูปที่ 2.1-1 รูปแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ a) เซ็ตของวัยรุ่น b) เซ็ตของคนหนุ่ม	8
รูปที่ 2.2-2 แสดงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจำนวนจริงที่มีค่าประมาณ 6	10
รูปที่ 2.3-1 รูปแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของจำนวนฟัซซี A	12
รูปที่ 2.3-2 รูปแสดงจำนวนฟัซซี ของจำนวนจริงที่มีค่าเข้าใกล้ 1.5	12
รูปที่ 2.3-3 จำนวนฟัซซีแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า (Central Triangular Fuzzy Numbers)	13
รูปที่ 2.3-4 ฟังก์ชันของจำนวนฟัซซีแบบต่างๆ	
a.) แบบรูปสามเหลี่ยม triangle(x;20,60,80)	
b.) แบบรูปแทrapezoid trapezoid(x;10,20,60,95)	
c.) แบบรูปเกาส์เซียน gaussian(x;50,2f)	
d.) แบบรูประฆัง bell(x;20,4,50)	15
รูปที่ 2.3-5 ฟังก์ชันจำนวนฟัซซีแบบที่มีส่วนแบน (Fuzzy Numbers With a Flat)	16
รูปที่ 2.4-1 รูปแสดงถึง คอรั, ซัพพอร์ท, จุดคอรัสโอเวอร์ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A ที่อธิบาย "วัยกลางคน" และแสดง ฟัซซีซิงเกิลตัน ของ "อายุ 45 ปี"	20
รูปที่ 2.5-1 ฟัซซีเซต A เป็นสับเซตของฟัซซีเซต B ($A \subseteq B$)	23
รูปที่ 2.5-2 แสดงการดำเนินการฟัซซีเซตแบบต่างๆ	
a.) แสดงฟัซซีเซต A และ ฟัซซีเซต B	
b.) ฟัซซีเซต A คอมพลีเมนต์	
c.) ฟัซซีเซต A ยูเนียน B	
d.) ฟัซซีเซต A อินเตอร์เซก B	25
รูปที่ 2.6-1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ฟัซซีในลักษณะของการใช้แผนผังแมปปิงส์ (Mapping diagram)	29
รูปที่ 2.6-2 รูปแสดงความสัมพันธ์ฟัซซีในลักษณะของ ไดเรกท์เกรฟ (Direct graph)	30
รูปที่ 2.6-3 แสดงฟัซซีเซต A การขยายแบบทรงกระบอกของฟัซซีเซต A ไปบน $X \times Y$	32

หน้า

รูปที่ 2.6-4 แสดงการโปรเจคของความสัมพันธ์ฟัซซี Q บน ปริภูมิ X และ Y ตามลำดับ	34
รูปที่ 2.7-1 แสดงการดีฟัซซิฟิเคชันแบบต่างๆ	39
รูปที่ 3.1-1 แสดงฟัซซีเซตอ้างอิงของแบบจำลองฟัซซีของกระบวนการไหลของถังแรงโน้มถ่วง	41
รูปที่ 3.2-1 ลักษณะของโครงสร้างการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในโดยทั่วไป	44
รูปที่ 3.2-2 โครงสร้างของการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในของตัวควบคุมฟัซซี	45
รูปที่ 5.1-1 ลักษณะของกระบวนการแบบไม่เชิงเส้นของการไหลของของเหลวในถัง	58
รูปที่ 5.1-2 แสดงความแตกต่างของการใช้แบบจำลองที่ไม่เชิงเส้น และแบบจำลองประมาณเชิงเส้น	62
รูปที่ 5.2-1 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR))	63
รูปที่ 5.2-2 การตอบสนองของระบบถังกวนต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิ T_c เปลี่ยนแปลง +/- 5 K (Open-Loop)	65
รูปที่ 5.2-3 การตอบสนองของระบบถังกวนต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิ T_r เปลี่ยนแปลง +/- 10% (Open-Loop)	65
รูปที่ 6.2-1 แสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆที่ลดลงเมื่อใช้จำนวนฟัซซีเซตอ้างอิงที่มากขึ้น	69
รูปที่ 6.2-2 แสดงการจำลองกระบวนการโดยแบบจำลองฟัซซี ของกระบวนการการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น	70
รูปที่ 6.2-3 แสดงการจำลองกระบวนการโดยแบบจำลองฟัซซี ของกระบวนการของ เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง	73
รูปที่ 6.3-1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวบวกรกระบวนการที่เวลาต่างๆ	79
รูปที่ 6.3-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาเข้า T_i ที่เวลาต่างๆ	81
รูปที่ 6.4-1 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมฟัซซี กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในช่วงปฏิบัติการต่ำ a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	82

- รูปที่ 6.4-2 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ
กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในระดับสูง
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 83
- รูปที่ 6.4-3 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 84
- รูปที่ 6.4-4 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 85
- รูปที่ 6.4-5 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 86
- รูปที่ 6.4-6 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 87
- รูปที่ 6.4-7 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม
FIMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 88
- รูปที่ 6.4-8 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม
FIMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 89
- รูปที่ 6.4-9 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม
FIMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)
- a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 90

หน้า

รูปที่ 6.4-10 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	91
รูปที่ 6.4-11ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุมพีไอดี กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285-320]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	92
รูปที่ 6.4-11ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุมพีไอดี กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,310]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	93
รูปที่ 6.4-12ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,320]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	94
รูปที่ 6.4-12ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,310]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	95
รูปที่ 6.4-13ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,320]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	96
รูปที่ 6.13ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,310]$	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	97
รูปที่ 6 14 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	98

รูปที่ 6.4-15 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	99
รูปที่ 6.4-16 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	100
รูปที่ 6.4-17 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	101
รูปที่ 6.4-18 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=1) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	102
รูป 6.4-19 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=2) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	103
รูปที่ 6.4-20 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	104
รูปที่ 6.2-21 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	105
รูปที่ 6.4-22 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	106

รูปที่ 6.4-23 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	107
รูปที่ 6.4-24 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม IMC (H=1) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	108
รูปที่ 6.4-25 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม IMC (H=2) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	109
รูปที่ 6.4-26 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=1) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 15 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	110
รูปที่ 6.4-27 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=2) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 15 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	111
รูปที่ 6.4-28 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=1) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	112
รูปที่ 6.4-29 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC (H=2) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	113
รูปที่ 6.4-30 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม พีไอดี กรณีที่มีตัวรบกวน	
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ	114

รูปที่ 6.4-31 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม
 IMC (H = 1) กรณีที่มีตัวรบกวน
 a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 115

รูปที่ 6.4-32 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม
 IMC (H = 2) กรณีที่มีตัวรบกวน
 a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 116

รูปที่ 6.4-33 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม
 FIMC (H = 1) กรณีที่มีตัวรบกวน
 a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 117

รูปที่ 6.4-34 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม
 FIMC (H = 2) กรณีที่มีตัวรบกวน
 a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ 118

รูปที่ ข.1 ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) 132

รูปที่ ข.2 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ 135

รูปที่ ข.3 ลักษณะการตอบสนองของกระบวนการ 138

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.2-1 แสดงการนำเสนอค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในรูปแบบของตาราง	9
ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปการประยุกต์ใช้หลักการฟuzzy ในการควบคุมกระบวนการเคมี	52
ตารางที่ 5.2-1 สภาวะในการปฏิบัติการของระบบ เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่สภาวะคงตัว	64
ตารางที่ 6.2-1 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟuzzy ของ กระบวนการไหลของถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ที่มีจำนวนฟuzzyเซตอ้างอิงเป็น 5.....	68
ตารางที่ 6.2-2 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆ ของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟuzzy $H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$ ที่มีจำนวนฟuzzyเซตอ้างอิงต่างๆ.....	68
ตารางที่ 6.2-3 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟuzzy ของ กระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีจำนวนฟuzzyเซตอ้างอิงเป็น 5	71
ตารางที่ 6.3-1 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย แบบสเต็ปใน (10-15 cm).....	76
ตารางที่ 6.3-2 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย แบบสเต็ปใน (75-80 cm).....	76
ตารางที่ 6.3-3 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง กรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ปใน (350-345).....	77
ตารางที่ 6.3-4 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องกรณีมีการเปลี่ยนแปลง ค่าเป้าหมายแบบสเต็ปใน (350-340)	78
ตารางที่ 6.3-5 ผลการควบคุมระดับของของเหลว กรณีที่ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป ที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตร	80
ตารางที่ 6.3-6 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อกรณีที่ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบแบบสเต็ป ที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตร	80
ตารางที่ 6.3-7 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องกรณีมีการตัวรบกวน กระบวนการ ที่อุณหภูมิ 350 K	81