การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบเซมิแบทช์โดยใช้ตัวควบคุมจีเอ็มซี

นาย ธนากร บุตรถาราม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-369-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I14806909

TEMPERATURE CONTROL OF A SEMIBATCH POLYMER REACTOR USING THE GMC CONTROLLER

Mr. Thanakorn Boottaram

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

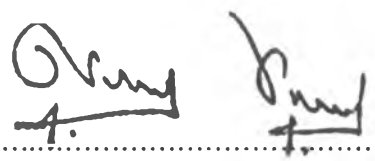
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-369-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบเซมิแบทช์ โดยใช้ตัวควบคุมจีเอ็มซี
โดย	นาย ธนากร บุตรถาราม
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



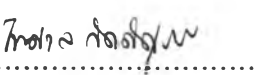
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์. ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

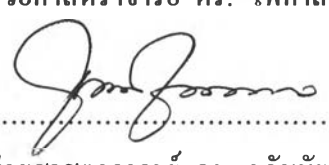
.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ธนากร บุตรถาราม : การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบเซมิแบทช์ด้วยตัวควบคุมจีเอ็มซี (TEMPERATURE CONTROL OF A SEMIBATCH POLYMER REACTOR USING THE GMC CONTROLLER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ไพศาล กิตติศุภกร : 127 หน้า.
ISBN 974-332-369-4

การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดพอลิเมอร์แบบเซมิแบทช์เป็นสิ่งที่ยากมากเพราะ ข้อแรก.) ไม่รู้ค่าที่แท้จริงของความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ข้อสอง.) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงตามเวลาและแปรตามคุณสมบัติของพอลิเมอร์ข้างในเครื่องปฏิกรณ์ สุดท้าย.) ตัวควบคุมพีไอดีต้องถูกปรับจูนใหม่เมื่อมีการปลี่ยนเกรดของพอลิเมอร์ เพราะปัญหาเหล่านี้จึงจำเป็นต้องประยุกต์เทคนิคการควบคุมที่มีความทนทานมาใช้ในอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้อธิบายการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดล(จีเอ็มซี) เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดพอลิเมอร์แบบเซมิแบทช์ โดยใช้แบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของ Teymour และ Ray(1989) มาประยุกต์เพื่อจำลองการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์

จีเอ็มซีเป็นการควบคุมแบบใช้โมเดลที่ต้องการการวัดและการประมาณค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ สำหรับงานนี้ความร้อนที่คายออกมาจากปฏิกิริยาไม่สามารถวัดได้ จึงกำหนดการประมาณค่าออนไลน์เพื่อใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่คายออกมาจากปฏิกิริยา ผลการจำลองได้แสดงให้เห็นว่าจีเอ็มซีสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์ให้อยู่ที่เซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ ซึ่งสมรรถนะของจีเอ็มซีดีกว่าตัวควบคุมพีไอดีอย่างมาก โดยเฉพาะกรณีที่มีความผิดพลาดของแพลนต์และโมเดล

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวแผ่นเดียว

C817729 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: PROCESS COTROL / BATCH REACTOR / POLYMER REACTOR / MODEL BASED CONTROL

THANAKORN BOOTTARAM : TEMPERATURE CONTROL OF SEMIBATCH POLYMER REACTOR USING GMC CONTROLLER. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PAISAN KITTISUPRAKORN, Ph.D. 127 pp.
ISBN 974-332-369-4

The temperature control of semi-batch polymerization reactor faces many difficulties because firstly, the exothermic chemical reactions of a polymerization are not known exactly. Secondly, the heat transfer coefficiently of the reactor decreases with time due to the deposition of polymers inside the reactor. Finally, frequently change in polymer grades needs to be retune a PID cotroller. This has stirred the need in the application of robust control technigues in industries. This paper presents the application of a Generic Model Control (GMC) for the temperature control of a semi-batch polymerization reactor. The kinetic models addressed by Teymour and Ray (1989) is applied to simulate the chemical reaction occuring inside the reactor.

Since GMC is a model-based controller, it needs the measurement/estimate of process variable and parameters. Here, the heat released of reaction is unmeasurable, therefore, the deterministic on-line estimator is used to estimate the heat released of reactions. Simulation results show that the GMC can control the temperature of the semi-batch reactor at a desired setpoint. Its performance is remarkably better than that of the PID controller in the presense of plant/model mismatches.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้าน และคำแนะนำในการพัฒนางานวิจัยด้วยดีมาตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และ อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ สำหรับกำลังใจที่ให้มา และความช่วยเหลือหลายๆ ด้าน

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่น้องในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญรูปภาพ.....ญ
สารบัญตาราง.....ฑ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 คำนำ.....1
1.2 มูลเหตุแรงจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์.....3
1.3 วัตถุประสงค์.....5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....5
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....6
1.6 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์.....6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....7
2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....8
2.1-1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....10
2.1-2 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....16
2.1-2.1 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ด้วยตัวควบคุมที่เป็นเชิงเส้น.....17
2.1-2.2 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ด้วยตัวควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้น.....27
2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....37
2.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....37
2.3-1 แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....39
บทที่ 3 ปัญหาการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....40

3.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....41
3.2 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน.....42
3.2-1 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา.....42
3.2.2 ความสัมพันธ์ของความหนืด.....44
3.2.3 ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อน.....45
3.2.4 เครื่องปฏิกรณ์และลูพการวนน้ำของแจ็กเก็ต.....46
บทที่ 4 การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลหรือตัวควบคุมจีเอ็มซี.....54
4.1อัลกอริธึมของจีเอ็มซี.....54
4.2 การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลร่วมกับตัวประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์.....58
4.3 การปรับจูนค่าพารามิเตอร์.....59
4.4 การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดล.....61
4.4-1การประมาณค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาสำหรับตัวควบคุมจีเอ็มซี.....62
4.4-2การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลร่วมกับตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์.....63
4.4-3การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลร่วมกับเอกซ์เทนด์คามานฟิลเตอร์.....65
บทที่ 5 กระบวนการที่ใช้ทำการทดลองและการออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุม.....69
5.1 รายละเอียดของกระบวนการที่ใช้ศึกษาทดลอง.....69
5.2 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการ.....70
5.2-1 กฎอัตราและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา.....70
5.2-2 ไดนามิกส์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....72
5.3 การประยุกต์การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....78
5.4 การประมาณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา.....80
5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้และพารามิเตอร์ที่ได้จากการจูนตัวควบคุม.....82
บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....86
6.1 วิเคราะผลการทดลอง.....86
6.1-1 กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....87
6.1-2 กรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์.....90

6.1-3 กรณีที่ระบบมีผลของการเจลในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์ 95
6.2 สรุปผลการทดลอง.....100
6.3 ข้อเสนอแนะ.....102
รายการอ้างอิง.....102
ภาคผนวก ก. การปรับจูนหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี.....103
ภาคผนวก ข. ผลการจำลองเพื่อหาจุดที่จำกัดความผิดพลาดของระบบ.....108
ภาคผนวก ค. ลักษณะผลการตอบสนองที่ถูกบันทึกจากระบบจริง.....112
ประวัติผู้แต่ง.....116

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินการแบบแบทช์และโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....9
รูปที่ 2.1-ก ขั้นตอนการดำเนินการแบบแบทช์.....9
รูปที่ 2.1-ข โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบแบทช์.....9
รูปที่ 2.2 โปรไฟล์ของสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....11
รูปที่ 2.2-ก โปรไฟล์ของอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์.....11
รูปที่ 2.2-ข โปรไฟล์ของความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์...11
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆของตัวควบคุมดูออลโมด.....25
รูปที่ 2.4 โปรไฟล์อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสม.....32
รูปที่ 2.5 บล๊อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบจีแอลซี.....36
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนอย่างต่อเนื่องและโครงสร้าง
ของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....38
รูปที่ 2.6-ก โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนอย่างต่อเนื่อง.....38
รูปที่ 2.6-ข โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์.....38
รูปที่ 4.1 แสดงการควบคุมแบบเจเนริกโมเดลร่วมกับการประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์.....58
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการประยุกต์ใช้การควบคุมจีเอ็มซีร่วมกับตัวประมาณค่า
ความร้อนคาลมาน.....67
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้ตัวควบคุมจีเอ็มซีร่วมกับการประมาณ
ค่าความร้อนออนไลน์.....82
รูปที่ 6.1 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....87
รูปที่ 6.2 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....88
รูปที่ 6.3 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้.....88
รูปที่ 6.4 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่ออัตราการป้อนสายป้อนเพิ่มขึ้น 40 %.....91
รูปที่ 6.5 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้
เมื่ออัตราการป้อนสายป้อนเพิ่มขึ้น 40 %.....91

รูปที่ 6.6 เปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุมทั้ง 2 ตัว
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50%.....92
รูปที่ 6.7 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50 %.....92
รูปที่ 6.8 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20 %.....93
รูปที่ 6.9 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20 %.....93
รูปที่ 6.10 เปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุมทั้ง 2 ตัวที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50%
และ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20 %.....94
รูปที่ 6.11 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้
เมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ในกรณีที่ 4.....93
รูปที่ 6.12 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อคำนึงถึงผลของการเกิดเจล
และความร้อนของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50 %.....96
รูปที่ 6.13 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมจีเอ็มซีเมื่อคำนึงถึงผลของการเกิดเจล
และความร้อนของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50 %.....97
รูปที่ 6.14 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง และค่าความร้อนที่ประมาณได้.....97
รูปที่ 6.15 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมของตัวควบคุมเมื่อความร้อนของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50%..98
รูปที่ 6.16 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อกำหนดให้อัตราการป้อนสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น 50%.....98
รูปที่ 6.17 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50%.....99
รูปที่ 6.18 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อกำหนดให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 50%
และค่าสัมประสิทธิ์การถ่าเทความร้อนลดลง 20 %.....99
รูปที่ ก-1 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=3.5, T_i=6.5 นาที.....104
รูปที่ ก-2 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=4.0, T_i=6.5 นาที.....105
รูปที่ ก-3 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=5.0, T_i=6.5 นาที.....105
รูปที่ ก-4 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=5.5, T_i=6.5 นาที.....106
รูปที่ ก-5 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=4.5, T_i=6.0 นาที.....106
รูปที่ ก-6 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดีเมื่อ K_C=3.5, T_i=6.5 นาที.....107
รูปที่ ข-1 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารตั้งต้นขึ้น 60 %.....108

รูปที่ ข-2 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารตั้งต้นขึ้น 70 %.....109
รูปที่ ข-3 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
เริ่มต้น 30 %.....109
รูปที่ ข-4 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
เริ่มต้น 35 %.....110
รูปที่ ข-5 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
เริ่มต้น 40 %.....110
รูปที่ ข-6 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้น 80 %.....111
รูปที่ ข-7 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมเมื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้น 90 %.....111
รูปที่ ค-1 ลักษณะผลการตอบสนองที่บันทึกจากระบบจริง 1.....113
รูปที่ ค-2 ลักษณะผลการตอบสนองที่บันทึกจากระบบจริง 2.....114
รูปที่ ค-3 ลักษณะผลการตอบสนองที่บันทึกจากระบบจริง 3.....115

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ และค่าเริ่มต้นสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบแบทช์ในหัวข้อ 2.1-1.....19
ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และค่าเริ่มต้นของเครื่องปฏิกรณ์
เคมีแบบแบทช์.....25
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ที่ถูกใช้ในตัวควบคุมดูออลโมด.....26
ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลอง.....31
ตารางที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับจูน.....36
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์และลูพการวนน้ำ.....47
ตาราง ที่ 3.2 ข้อมูลสำหรับแบบจำลองของลูพการวนน้ำ.....48
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ A.....49
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ B.....50
ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิล
อะซีเตตโมโนเมอร์.....72
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างและสภาวะการดำเนินการของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบทช์
ที่ใช้ในการทดลอง.....77
ตารางที่ 5.3 รายละเอียดของสายป้อนที่ถูกป้อนลงสู่เครื่องปฏิกรณ์.....78
ตารางที่ 5.4 ขนาดรูปร่างและพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์.....78
ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในตัวควบคุมและตัวประมาณแบบออนไลน์.....83
ตารางที่ 6.1 ค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลองที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....87
ตารางที่ 6.2 ค่าไอเอสอีที่วัดได้ในกรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ต่างๆ.....90
ตารางที่ ก-1 ค่าไอเอสอีของตัวควบคุมพีไอดีตอนปรับจูน.....104