การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน โดยใช้เจเนริกโมเดลคอนโทรลเลอร์

นางสาวสุณี นิธิกาญจนธาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0415-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17617870

TEMPERATURE CONTROL ON AN EMULSION POLYMERIZATION REACTOR BY A GENERIC MODEL CONTROLLER

Miss Sunee Nithikanjanathran

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-13-0415-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน โดยใช้เจเนริกโมเดลคอนโทรลเลอร์
โดย	นางสาวสุณี นิธิกาญจนธาร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นางสาวสุพร ลีละทัศนาธร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางสาวสุพร ลีละทัศนาธร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

สุณี นิธิกาญจนธาร : การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชันโดยใช้เจเนริกโมเดลคอนโทรลเลอร์. (TEMPERATURE CONTROL ON AN EMULSION POLYMERIZATION REACTOR BY A GENERIC MODEL CONTROLLER). อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นางสาวสุพร ลีละทัศนาธร : 120 หน้า, ISBN 974-13-0415-3.

ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอีมัลชันในกลุ่มของอะคริลิคอีมัลชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสูงและเกิดการคายความร้อนอย่างต่อเนื่อง หลังจากเริ่มป้อนโมโนเมอร์ อุณหภูมิจะสูงขึ้นเกินค่าเซ็ตพอยต์และเกิดโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิ โดยปกติการผลิตอะคริลิคอีมัลชันจะเกิดคราบสะสมที่พื้นผิวของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารในเครื่องปฏิกรณ์และน้ำหล่อเย็นในแจ็คเก็ตไม่ดี ปัจจุบันใช้การควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบอีมัลชัน ซึ่งพบว่าในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของกระบวนการและแบบจำลองจะทำการควบคุมได้ไม่ดี

งานวิจัยนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดล (จีเอ็มซี) เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน เนื่องจากการควบคุมแบบจีเอ็มซีเป็นตัวควบคุมที่ขึ้นกับแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งต้องทราบค่าสเตทและพารามิเตอร์ของระบบเพื่อใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรปรับ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเทคนิคการประมาณค่ามาใช้ร่วมกับการสร้างการควบคุมแบบจีเอ็มซีในการประมาณค่าสเตทที่ไม่สามารถวัดได้ และพารามิเตอร์ที่ไม่รู้หรือไม่ทราบ ในงานวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าความร้อนออนไลน์เพื่อประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา ผลการวิจัยพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี นอกจากนี้สมรรถนะความทนทานของการควบคุมแบบจีเอ็มซีดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของกระบวนการและแบบจำลอง เช่นความผิดพลาดของอัตราการเกิดปฏิกิริยา สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และอัตราการป้อนโมโนเมอร์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4071497021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD : PROCESS CONTROL / EMULSION POLYMERIZATION / SEMI- BATCH REACTOR

SUNEE NITHIKANJANATHRAN : TEMPERATURE CONTROL ON AN EMULSION POLYMERIZATION REACTOR BY A GENERIC MODEL CONTROLLER. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, PhD., THESIS COADVISOR : SUPORN LELATASANATRON : 120 pp, ISBN 974-13-0415-3.

Emulsion polymerization reactions of acrylic emulsion in a semi-batch reactor are highly exothermic reactions and heat of reaction is released continuously. After monomer is initially feeding, temperature is increased over set point and temperature overshoot occurs. The production of acrylic emulsion normally gives fouling on surface area of reactor, therefore heat transfer between reactant in the reactor and cooling water in the jacket is decreased. Presently, a PID controller is applied to control the temperature of an emulsion polymerization reactor, but the performance of the PID controller process control may be poor particularly in the presence of plant/model mismatch

The thesis presents of the application of Generic model control (GMC) to control the temperature of an emulsion polymerization reactor. Since the GMC is a model-based controller, it needed states and parameters of a system to determine control action. Therefore, an estimation technique is incorporated into the GMC control formulation to estimate unmeasurable state and unknown/uncertain parameters. In this thesis, an on-line heat released estimator is used to estimate the heat released of the reactions. Simulation, shown that the GMC with the estimator gives better control performance than that of the PID controller. Furthermore, the GMC is much more robust than the PID in the presence of plant/model mismatch in rate of reaction, heat transfer coefficient and monomer feed rate mismatch.

Department Chemical Engineering
Field of study Chemical Engineering
Academic 2000

Student's signature Sunee Nithikanjanathran
Advisor's signature Paisan Kittisupakorn
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษาและคำแนะนำอย่างดีจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี และนางสาวสุพร ลีละทัศนาธร กรรมการในการสอบโครงร่างและการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างมาก

ขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือทางด้านต่าง ๆ

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่น้องในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สุณี นิธิกาญจนธาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญภาพ.....ช
สารบัญตาราง.....ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ฐ

บทที่

1. บทนำ.....1
   1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
   1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....3
   1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
   1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....4
   1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....4

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....7
   2.1 ความรู้พื้นฐานโพลิเมอร์.....7
      2.1.1 การสังเคราะห์โพลิเมอร์.....7
   2.2 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์.....12
      2.2.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....12
   2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....17
      2.3.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์.....17
      โพลิเมอร์ไรเซชัน
      2.3.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล.....18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3. การควบคุมแบบเจเนริกโมเดล.....20
3.1 การออกแบบตัวควบคุมแบบจีเอ็มซี.....20
3.2 การประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์.....23
3.3 การจูนสำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....25
3.4 การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบจีเอ็มซี.....25
3.4.1 การประมาณค่าความร้อนสำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....26
3.4.2 การประมาณค่าความร้อนออนไลน์ร่วมกับการควบคุม.....27
แบบจีเอ็มซี

4. กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชันและการออกแบบตัวควบคุม.....28
4.1 กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน.....30
4.1.1 ขั้นตอนการผลิตโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน.....30
4.1.2 องค์ประกอบในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์แบบอีมัลชัน.....32
4.2 กลไกของการเกิดปฏิกิริยา.....33
4.3 การวิเคราะห์แบบจำลองของกระบวนการ.....35
4.3.1 ไดนามิกส์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์.....38
4.4 การประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....41
4.5 การประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา.....43
4.6 การจูนสำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....46
4.7 การทดสอบความทนทานและสมรรถนะของตัวควบคุม.....47

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....51
5.1 กระบวนการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิต.....52
5.2 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....54
5.2.1 กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของ.....54
แจ็คเก็ตเท่ากับ 80°C
5.2.2 กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของ.....59
แจ็คเก็ตเท่ากับ 60°C

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5.3 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ กรณีที่สภาวะการดำเนินการผิดพลาด 62
5.3.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา 62
5.3.2 การเปลี่ยนแปลงที่สัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อน 74
5.3.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกัน 82
5.3.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์ 87

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 97
6.1 ผลการจำลองแบบจำลองของกระบวนการ 97
6.2 ผลการควบคุมแบบจีเอ็มซีและการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ 97
6.3 ข้อเสนอแนะ 99
รายการอ้างอิง 101
ภาคผนวก ก. การสร้างแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ 103
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการควบคุมแบบจีเอ็มซี 110
ภาคผนวก ค. การจูนสำหรับการควบคุมแบบจีเอ็มซี 113
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบแบบจีเอ็มซีและการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ 115
ประวัติผู้เขียน 120

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....13
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....14
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.....15
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์.....16
รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมแบบจีเอ็มซีร่วมกับการประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์.....24
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์.....31
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของระบบการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์.....32
รูปที่ 4.3 แสดงการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกิริยาแบบเซมิแบตช์โดยการควบคุม.....45
แบบจีเอ็มซี
รูปที่ 4.4 แสดงการควบคุมแบบจีเอ็มซีร่วมกับการประมาณความร้อนออนไลน์.....46
รูปที่ 5.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากระบบการผลิต.....53
รูปที่ 5.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการจำลอง.....53
รูปที่ 5.3 ผลการตอบสนองของลูฟเปิดที่สภาวะการดำเนินการปกติ 55
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 80 $^{\circ}$C
รูปที่ 5.4 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....56
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 80 $^{\circ}$C
รูปที่ 5.5 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....56
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 80 $^{\circ}$C
รูปที่ 5.6 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....58
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 80 $^{\circ}$C
รูปที่ 5.7 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....60
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 60 $^{\circ}$C
รูปที่ 5.8 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ.....60
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 60 $^{\circ}$C

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.9 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....61
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ต 60 °C
รูปที่ 5.10 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....64
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10 %
รูปที่ 5.10.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....64
รูปที่ 5.10.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....64
รูปที่ 5.11 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....66
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20 %
รูปที่ 5.11.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....66
รูปที่ 5.11.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....66
รูปที่ 5.12 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....67
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10 %
รูปที่ 5.12.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....67
รูปที่ 5.12.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....67
รูปที่ 5.13 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....68
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20 %
รูปที่ 5.13.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....68
รูปที่ 5.12.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....68
รูปที่ 5.14 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....70
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
ปกติและอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10,20,30% ตามลำดับ
รูปที่ 5.14.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ.....70
รูปที่ 5.14.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10 %.....70
รูปที่ 5.14.3 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20 %.....71
รูปที่ 5.14.4 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 30 %.....71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.15 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....72
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
ปกติและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10, 20, 30% ตามลำดับ
รูปที่ 5.15.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ.....72
รูปที่ 5.15.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10 %.....72
รูปที่ 5.15.3 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20 %.....73
รูปที่ 5.15.4 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 30 %.....73
รูปที่ 5.16 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....76
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10%
รูปที่ 5.16.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....76
รูปที่ 5.16.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....76
รูปที่ 5.17 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....77
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20%
รูปที่ 5.17.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....77
รูปที่ 5.17.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....77
รูปที่ 5.18 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....79
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%
รูปที่ 5.18.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....79
รูปที่ 5.18.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....79
รูปที่ 5.19 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....80
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเท
ความร้อนปกติและลดลง 10, 20, 30% ตามลำดับ
รูปที่ 5.19.1 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติ.....80
รูปที่ 5.19.2 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10%.....80
รูปที่ 5.19.3 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20%.....81
รูปที่ 5.19.4 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%.....81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.20 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....83
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%และอัตราการเกิดปฏิกิริยา
ลดลง 30 %
รูปที่ 5.20.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....83
รูปที่ 5.20.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....83
รูปที่ 5.21 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....84
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%และอัตราการเกิดปฏิกิริยา
เพิ่มขึ้น 30 %
รูปที่ 5.21.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....84
รูปที่ 5.21.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....84
รูปที่ 5.22 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....86
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเท
ความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงหรือเพิ่มขึ้น 30 %
รูปที่ 5.22.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20 %.....86
รูปที่ 5.22.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20 %.....86
รูปที่ 5.23 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....88
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5 %
รูปที่ 5.23.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....88
รูปที่ 5.23.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....88
รูปที่ 5.24 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....89
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 10 %
รูปที่ 5.24.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....89
รูปที่ 5.24.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....89
รูปที่ 5.25 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....90
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5 %
รูปที่ 5.25.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....90
รูปที่ 5.25.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.26 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....91
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 10 %
รูปที่ 5.26.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี.....91
รูปที่ 5.26.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี.....91
รูปที่ 5.27 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....93
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์
ปกติและอัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5% และ 10 %
รูปที่ 5.27.1 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติ.....93
รูปที่ 5.27.2 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5 %.....93
รูปที่ 5.27.3 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 10 %.....94
รูปที่ 5.28 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง (Qr) และค่าความร้อนที่เกิดจากการ.....95
ประมาณ (Qref) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์
เพิ่มขึ้น 5% และ 10 %
รูปที่ 5.25.1 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5%.....95
รูปที่ 5.25.2 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 10 %.....95
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ξ และ τ.....113

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	เทคนิคโพลิเมอร์ไรเซชันที่นิยมใช้ในการผลิตโพลิเมอร์ที่สำคัญในเชิงการค้า	11
ตารางที่ 4.1	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจูน	48
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการปฏิกิริยาอีมัลชันโพลิเมอร์	48
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์	49
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสารในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลาเริ่มต้น	50
ตารางที่ 4.5	ขนาดรูปร่างและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์	50
ตารางที่ 5.1	ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลองที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ตเท่ากับ 80°C	57
ตารางที่ 5.2	ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลองที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเก็ตเท่ากับ 60°C	59
ตารางที่ 5.3	ค่าไอเออีที่วัดได้จากการทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี	63
ตารางที่ 5.4	ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี	74
ตารางที่ 5.5	ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลองทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาพร้อมกันของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี	82
ตารางที่ 5.6	ค่าไอเออีที่วัดได้จากการทดลองทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์ของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี	87

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ความหมายของตัวแปร

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย
X	ตัวแปรสภาวะ (State Variable)	
U	ตัวแปรปรับ (Manipulate Variable)	
Y	ค่าเอาท์พุทที่ได้ของกระบวนการ	
Y*	ค่าเอาท์พุทที่ต้องการหรือตัวแปรที่ต้องควบคุม	
K_1	ค่าคงที่ในการปรับ (Turning Parameter)	ต่อนาที
K_2	ค่าคงที่ในการปรับ (Turning Parameter)	ต่อนาที
R*	ฟรีแรดิกัลที่เกิดจากการสลายตัวของตัวริเริ่ม (Initiator)	
M*	ฟรีแรดิกัลที่เกิดจากโมโนเมอร์	
f	ประสิทธิภาพของตัวริเริ่ม	
I	ตัวริเริ่ม (Initiator)	
t	เวลา (Time)	นาที
T	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส
Q	ความร้อนที่เกิดขึ้น	กิโลแครอรี-กิโลโมล/นาที
n	จำนวนโมโนเมอร์	กิโลโมล
k	ค่าคงที่เฉพาะของการเกิดปฏิกิริยา	ต่อนาที
ko	ค่าคงที่เฉพาะของการเกิดปฏิกิริยาที่ 60°C	ต่อนาที
ki	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราของขั้นตอนการริเริ่ม	ต่อนาที
kp	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราโปรปาเกชัน	ต่อนาที
ktc	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราเทอร์มิเนชันแบบการรวมตัว	ต่อนาที
ktd	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราเทอร์มิเนชันแบบแตกตัว	ต่อนาที
kfm	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราการเกิด Chain Transfer	ต่อนาที
kt	ค่าคงที่เฉพาะของอัตราเทอร์มิเนชันรวม	ต่อนาที

ความหมายของตัวแปร (ต่อ)

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย
M/[ ]	ความเข้มข้นหรือจำนวนโมลของโพลิเมอร์	กิโลกรัม-โมล
Vi	อัตราการเกิดฟรีแรดิกัล	กิโลโมล/นาที
Vt	อัตราการหายไปของฟรีแรดิกัล	กิโลโมล/นาที
Vp	อัตราการโพลิเมอร์ไรเซชัน	กิโลโมล/นาที
Ea	พลังงานกระตุ้น	กิโลแครอรี/นาที
R	ค่าคงที่ของแก๊สสมมติ (Ideal gas)	กิโลแครอรี-กิโลโมล/อาศาเคลวิน
MW	น้ำหนักโมเลกุล	กิโลกรัม/กิโลกรัม-โมล
W	น้ำหนัก	กิโลกรัม
Cp	ความจุความร้อน	กิโลแครอรี-กิโลกรัม/องศาเซลเซียส
F	อัตราการไหลเชิงโมล	กิโลกรัม-โมล/นาที
Fj	อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	ลูกบาศก์เมตร/นาที
m_m	อัตราการไหลเชิงมวลของสายป้อน	กิโลกรัม/นาที
i	Impurity Factor	ไม่มีหน่วย
fm	สัดส่วนของโมโนเมอร์ในสายป้อน	ไม่มีหน่วย
fw	สัดส่วนของน้ำในสายป้อน	ไม่มีหน่วย
fs	สัดส่วนของของแข็งในสายป้อน	ไม่มีหน่วย
Ur	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	กิโลแคลลอรี/ตารางเมตร-นาที-องศาเซลเซียส
A	พื้นที่	ตารางเมตร
V	ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร
R	รัศมี	เมตร
h	ความสูง	เมตร
ΔH_p	ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา	กิโลแครอรี/กิโลกรัมโมล

ความหมายของอักษรกรีก

สัญลักษณ์	ตัวแปร	หน่วย
ρ	ความหนาแน่น	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
τ	ค่าคงที่เวลาที่ถูกประมาณขึ้น	นาที

ความหมายของอักษรห้อย

สัญลักษณ์	ตัวแปร
m	โมโนเมอร์
w	น้ำ
s	ของแข็ง
r	เครื่องปฏิกรณ์
j	น้ำหล่อเย็นในแจ็คเก็ต
sp	เซ็ตพอยต์
amb	ล้อมรอบ (Ambient)
f	ตัวแปรที่ผ่านตัวกรอง

ความหมายของอักษรยก

สัญลักษณ์	ตัวแปร
k	ตัวแปรในรูปดิสกริต
•	ฟรีแรดิกัลที่เกิดขึ้น