การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับหนึ่ง

นางสาวปริญญาพร รักสวิด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-148-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18767121

APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER FOR CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR WITH FIRST ORDER REACTION

Miss Parinyaporn Ruksawid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 1999

ISBN 974-333-148-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
โดย	นางสาวปริญญาพร รักสวิด
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ทัทยชนก ดุริยะบรรเลง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ปริญญาพร รักสวิด: การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับหนึ่ง (APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER FOR CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR WITH FIRST ORDER REACTION)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ไพศาล กิตติศุภกร ; 339 หน้า, ISBN 974-333-148-4

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับหนึ่งแบบผันกลับได้ ซึ่งแสดงพฤติกรรมที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับหนึ่งแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษา 3 กรณี คือ กรณีแรกระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์อย่างมาก, กรณีที่ 2 ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีหลายสภาวะคงตัวและมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ และกรณีสุดท้าย ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นภายใต้สภาวะปฏิบัติการต่าง ๆ กัน

วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัยนี้คือการออกแบบเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ซึ่งให้สมรรถนะในการควบคุมที่ดีและสามารถรับประกันเสถียรภาพของระบบควบคุมสำหรับระบบเวลาต่อเนื่องที่ไม่เป็นเชิงเส้นภายใต้ขอบเขตจำกัดต่าง ๆ ของการดำเนินการ โดยในงานวิจัยได้พิจารณาถึงปัญหาการควบคุมในด้านต่าง ๆ เป็นต้นว่า สมรรถนะของระบบควบคุมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ, การติดตามค่าเซ็ทพอยท์ และการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง/กระบวนการที่ทำการควบคุม เป็นต้น ซึ่งจากผลการจำลองระบบควบคุมได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ให้สมรรถนะและความทนทานที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุมและเครื่องควบคุมยังให้สมรรถนะในการควบคุมที่ดีในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลอง/กระบวนการที่ทำการควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ปริญญาพร รักสวิด
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ไพศาล กิตติศุภกร
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

#3971009021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD:
MODEL PREDICTIVE CONTROL / STATE AND PARAMETER ESTIMATION/
KALMAN FILTER

PARINYAPORN RUKSAWID: APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER FOR CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR WITH FIRST ORDER REACTION. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D. 339 pp. ISBN 974-333-148-4

This research presents the application of Model Predictive Control (MPC) with Kalman filter for the control of the temperature and the concentration of a reversible exothermic, first order reaction in a continuous stirred tank reactor (CSTR) which exhibits highly nonlinear behavior and an irreversible exothermic, first order reaction in a continuous stirred tank reactor which firstly exhibits extreme parametric sensitivity behavior, secondly cxhibits ignition and extinction behavior for an open-loop system, and finally exhibits nonlinear oscillation at certain operating conditions.

It is the goal of this thesis to design Model Predictive Controller with Kalman filter which can give a good control performance and guarantee the stability of closed-loop nonlinear continuous time systems subject to constraints. Several different problems have been considered, such as control performance, disturbance rejection, setpoint tracking and parametric model/plant mismatch, etc. Simulation results have shown that the Model Predictive Controller with Kalman filter provides better control performances than the conventional PID controller does for the control of the temperature and the concentration of a continuous stirred tank reactor in the cases of disturbance rejection and setpoint tracking. In addition, the Model Predictive Controller is more robust than the PID in presence of model/plant mismatch.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต ปรีญญาพร รักสวิด
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ไพสน กิตติสุภ
ปีการศึกษา 2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือและแนะนำจากท่านตลอดจนข้อเสนอแนะและแนวความคิดต่าง ๆ ของงานวิจัยด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ, อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี และอาจารย์ ตร. หทัยชนก ดุริยะบรรเลง ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้ความสนใจ และได้ให้ข้อคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาค้นคว้าตลอดการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือสนับสนุนทางด้านการเงิน, ในด้านการศึกษาและการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จการศึกษา

ขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ และ น้อง ๆ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้ทำการวิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณบิดามารดาและผู้มีอุปการคุณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญภาพ.....ฎ

สารบัญตาราง.....ฏก

คำอธิบายสัญลักษณ์.....ฐจ

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....4

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....4

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....7

2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....9

2.1 ผลงานการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

ในอุตสาหกรรมเคมีโดยทั่วไป.....9

2.2 ผลงานการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง.....23

2.3 ผลงานการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมี ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....26

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาลมานฟิลเตอร์.....28

3. ทฤษฎีของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....34

3.1 บทนำ.....34

3.2 โครงสร้างของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....37

3.3 หลักการพื้นฐานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....39

3.3.1 แบบจำลองของกระบวนการ.....40

3.3.2 แบบจำลองสำหรับการควบคุม.....42

3.3.3 ออฟเจ็กทีฟฟังก์ชั่น.....46

3.3.4 ขอบเขตจำกัด.....48

3.3.5 รูปแบบของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ในงานวิจัย.....50

4. ทฤษฎีของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับ การประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์.....57

4.1 บทนำ.....57

4.2 การนำใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ร่วมกับการประมาณค่าสเตตและพารา มิเตอร์.....60

4.3 ทฤษฎีของคาลมานฟิลเตอร์ 62

5. การจำลอง, ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการจำลองสำหรับ

เครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....69

5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการที่ใช้ในการจำลอง.....69

5.2 การตอบสนองของกระบวนการเมื่อไม่มีการควบคุม.....73

5.3 การจำลอง, ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลองการควบคุม.....73

6. การจำลอง, ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการจำลองสำหรับ

เครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้.....101

6.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการที่ใช้ในการจำลอง.....102

6.2 การตอบสนองของกระบวนการเมื่อไม่มีการควบคุม.....107

6.3 การจำลอง, ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลองการควบคุม.....109

7. สรุปผลการทดลอง.....250

รายการอ้างอิง.....257

ภาคผนวก.....266

ภาคผนวก ก. โปรแกรมแม็ทแลบ.....267

ก.1 การพัฒนาของโปรแกรมแม็ทแลบ.....267

ก.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมแม็ทแลบ.....268

ก.3 ทูลบ็อกของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....271

ภาคผนวก ข การแก้สมการคณิตศาสตร์ในกระบวนการวิศวกรรมเคมีโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข.....272

ข.1 วิธีการของออยเลอร์ 273

ข.2 วิธีการของรังกัตตา 274

ข.3 การแก้สมการอนุพันธ์โดยใช้โปรแกรมแม็ทแลบ.....276

ภาคผนวก ค ตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีและ

เกณฑ์ในการตัดสินสมรรถนะของการควบคุม.....282

ค.1 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดี.....282

ค.2 การปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี.....287

ค.3 เกณฑ์การตัดสินสมรรถนะของระบบควบคุม.....293

ภาคผนวก ง การประมาณเชิงเส้นของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น, ความควบคุมได้,

ความสังเกตได้และเสถียรภาพของระบบ.....296

ง.1 การประมาณเชิงเส้นของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น.....296

ง.2 ความควบคุมได้.....299

ง.3 ความสังเกตได้ 300

ง.4 เสถียรภาพของระบบ.....300

ภาคผนวก จ การทำให้ระบบอยู่ในรูปของตัวแปรไร้หน่วย.....302

ภาคผนวก ฉ กราฟแสดงผลการทดลอง.....308

ภาคผนวก ช ตัวอย่างการเขียนโค้ดโปรแกรม.....327

ประวัติผู้เขียน.....328

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....37
รูปที่ 3.2 การออฟติไมซ์ของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่เวลา k 38
รูปที่ 4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับ
การประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์.....60
รูปที่ 4.2 แบบจำลองของระบบที่มีสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม.....63
รูปที่ 4.3 การคำนวณตามขั้นตอนของอัลกอริธึมของคาลมานฟิลเตอร์.....66
รูปที่ 5.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องซึ่งมีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....70
รูปที่ 5.2 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....80
รูปที่ 5.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....80
รูปที่ 5.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....81
รูปที่ 5.5 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....81
รูปที่ 5.6 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....82
รูปที่ 5.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....82
รูปที่ 5.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....86

รูปที่ 5.9 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....86
รูปที่ 5.10 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...87
รูปที่ 5.11 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 87
รูปที่ 5.12 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 88
รูปที่ 5.13 ผลการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ(ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 88
รูปที่ 5.14 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 92
รูปที่ 5.15 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 92
รูปที่ 5.16 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 93
รูปที่ 5.17 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ(ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 93
รูปที่ 5.18 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 94
รูปที่ 5.19 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ

และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 94
รูปที่ 5.20 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 98
รูปที่ 5.21 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 98
รูปที่ 5.22 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 99
รูปที่ 5.23 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า ΔH เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 99
รูปที่ 5.24 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 100
รูปที่ 5.25 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า k_1 และ k_{-1} เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 100
รูปที่ 6.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้... 100
รูปที่ 6.2 สภาวะคงตัวของระบบในกรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัว..... 108
รูปที่ 6.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร
รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 116
รูปที่ 6.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า
ตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 116
รูปที่ 6.5 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ τ = 60)..... 117
รูปที่ 6.6 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ

และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ(ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....117
รูปที่ 6.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... .121
รูปที่ 6.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 121
รูปที่ 6.9 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 122
รูปที่ 6.10 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 122
รูปที่ 6.11 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 123
รูปที่ 6.12 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 123
รูปที่ 6.13 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 128
รูปที่ 6.14 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 128
รูปที่ 6.15 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 129
รูปที่ 6.16 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 129

รูปที่ 6.17 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 130
รูปที่ 6.18 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...130
รูปที่ 6.19 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... .131
รูปที่ 6.20 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...131
รูปที่ 6.21 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...132
รูปที่ 6.22 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...132
รูปที่ 6.23 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...136
รูปที่ 6.24 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... ...136
รูปที่ 6.25 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 137
รูปที่ 6.26 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 137

รูปที่ 6.27 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 138
รูปที่ 6.28 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 138
รูปที่ 6.29 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 139
รูปที่ 6.30 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 139
รูปที่ 6.31 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 140
รูปที่ 6.32 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 140
รูปที่ 6.33 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 145
รูปที่ 6.34 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 145
รูปที่ 6.35 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 146
รูปที่ 6.36 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 146

รูปที่ 6.37 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).. ... .147
รูปที่ 6.38 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....147
รูปที่ 6.39 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....153
รูปที่ 6.40 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....153
รูปที่ 6.41 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 154
รูปที่ 6.42 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....154
รูปที่ 6.43 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มที่ $\tau = 0$)..... 155
รูปที่ 6.44 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 155
รูปที่ 6.45 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ(Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยระบบควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มที่ $\tau = 0$)..... ... .156
รูปที่ 6.46 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$]

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาด
ของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....156
รูปที่ 6.47 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....157
รูปที่ 6.48 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 157
รูปที่ 6.49 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....158
รูปที่ 6.50 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... ...158
รูปที่ 6.51 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....159
รูปที่ 6.52 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยน
แปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 159
รูปที่ 6.53 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาด
ของแบบจำลองของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (ควบคุมที่ $\tau = 0$)....160
รูปที่ 6.54 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาด
ของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)

โดยการควบคุมพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....160
รูปที่ 6.55 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 161
รูปที่ 6.56 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 161
รูปที่ 6.57 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....162
รูปที่ 6.58 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....162
รูปที่ 6.59 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....163
รูปที่ 6.60 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 163
รูปที่ 6.61 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....164
รูปที่ 6.62 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบ พีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....164
รูปที่ 6.63 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 168
รูปที่ 6.64 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 168
รูปที่ 6.65 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 171
รูปที่ 6.66 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 171
รูปที่ 6.67 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 172
รูปที่ 6.68 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 172
รูปที่ 6.69 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 173
รูปที่ 6.70 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 173
รูปที่ 6.71 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 174
รูปที่ 6.72 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 174
รูปที่ 6.73 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....179
รูปที่ 6.74 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....179
รูปที่ 6.75 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....180
รูปที่ 6.76 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....180
รูปที่ 6.77 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....181
รูปที่ 6.78 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....181
รูปที่ 6.79 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ(ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....187
รูปที่ 6.80 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....187
รูปที่ 6.81 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....188
รูปที่ 6.82 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบ พีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....188
รูปที่ 6.83 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....189
รูปที่ 6.84 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....189
รูปที่ 6.85 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....190
รูปที่ 6.86 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....190
รูปที่ 6.87 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....191
รูปที่ 6.88 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....191
รูปที่ 6.89 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....192
รูปที่ 6.90 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0,5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....192
รูปที่ 6.91 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....193
รูปที่ 6.92 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....193
รูปที่ 6.93 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....194
รูปที่ 6.94 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....194
รูปที่ 6.95 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 195
รูปที่ 6.96 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 195
รูปที่ 6.97 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 196
รูปที่ 6.98 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 196
รูปที่ 6.99 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 197
รูปที่ 6.100 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 197
รูปที่ 6.101 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 198
รูปที่ 6.102 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้นและ δ ลดลง 30%)

โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 198
รูปที่ 6.103 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 203
รูปที่ 6.104 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 203
รูปที่ 6.105 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 204
รูปที่ 6.106 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 204
รูปที่ 6.107 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 205
รูปที่ 6.108 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 205
รูปที่ 6.109 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 206
รูปที่ 6.110 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 206
รูปที่ 6.111 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 207
รูปที่ 6.112 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)

โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....207
รูปที่ 6.113 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....213
รูปที่ 6.114 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....213
รูปที่ 6.115 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....214
รูปที่ 6.116 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า
ตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....214
รูปที่ 6.117 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า
ตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....215
รูปที่ 6.118 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า
ตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ
(ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....215
รูปที่ 6.119 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....216
รูปที่ 6.120 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....216
รูปที่ 6.121 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ
δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....217
รูปที่ 6.122 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ

δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....217
รูปที่ 6.123 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....221
รูปที่ 6.124 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....221
รูปที่ 6.125 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....222
รูปที่ 6.126 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....222
รูปที่ 6.127 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....223
รูปที่ 6.128 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....223
รูปที่ 6.129 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....224
รูปที่ 6.130 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 224
รูปที่ 6.131 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....225
รูปที่ 6.132 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ

δ ลดลง 20%)โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....225
รูปที่ 6.133 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าการรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....230
รูปที่ 6.134 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....230
รูปที่ 6.135 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....231
รูปที่ 6.136 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....231
รูปที่ 6.137 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....232
รูปที่ 6.138 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....232
รูปที่ 6.139 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....233
รูปที่ 6.140 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....233
รูปที่ 6.141 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....234
รูปที่ 6.142 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (Φ เพิ่มขึ้น และ

δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 234
รูปที่ 6.143 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 238
รูปที่ 6.144 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์ โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 238
รูปที่ 6.145 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 239
รูปที่ 6.146 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 239
รูปที่ 6.147 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 240
รูปที่ 6.148 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 240
รูปที่ 6.149 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 241
รูปที่ 6.150 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 241
รูปที่ 6.151 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 242
รูปที่ 6.152 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%)

โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 242
รูปที่ ค.1 ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ..... 282
รูปที่ ค.2 การวิเคราะห์เส้นโค้งการตอบสนองของกระบวนการ..... 290
รูปที่ ค.3 การจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีเมื่อ $K_c = K_{cu}$..... 291
รูปที่ ค.4 ลักษณะของการตอบสนองของกระบวนการ..... 293
รูปที่ ฉ.1 การตอบสนองของอุณหภูมิและความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้..... 308
รูปที่ ฉ.2 การตอบสนองของอุณหภูมิและความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาที่ 1..... 308
รูปที่ ฉ.3 การตอบสนองของอุณหภูมิและความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่สภาวะคงตัวล่าง..... 308
รูปที่ ฉ.4 การตอบสนองของอุณหภูมิและความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่สภาวะคงตัวบน..... 309
รูปที่ ฉ.5 การตอบสนองของอุณหภูมิและความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาที่ 3..... 309
รูปที่ ฉ.6 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ΔH เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 309
รูปที่ ฉ.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (k_1 และ k_{-1} เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 309

รูปที่ ฉ.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ΔH เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 310

รูปที่ ฉ.9 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (k_1 และ k_{-1} เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 310

รูปที่ ฉ.10 ผลการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน แบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ΔH เพิ่ม 30%)โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 310

รูปที่ ฉ.11 ผลการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน แบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (k_1 และ k_{-1} เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 310

รูปที่ ฉ.12 ผลการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน แบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ΔH เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 311

รูปที่ ฉ.13 ผลการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน แบบผันกลับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (k_1 และ k_{-1} เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 311

รูปที่ ฉ.14 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่ม 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 311

รูปที่ ฉ.15 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ

และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....311
รูปที่ ฉ.16 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....312
รูปที่ ฉ.17 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของ เครื่องควบคุม(Φ เพิ่มขึ้น และ
δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....312
รูปที่ ฉ.18 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่ม 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 312
รูปที่ ฉ.19 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า β เพิ่ม 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....312
รูปที่ ฉ.20 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....312
รูปที่ ฉ.21 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....312
รูปที่ ฉ.22 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 313
รูปที่ ฉ.23 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน
ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 313
รูปที่ 6.24 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่ม 30%)

โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....313
รูปที่ ฉ.25 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....313
รูปที่ ฉ.26 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 313
รูปที่ ฉ.27 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 313
รูปที่ ฉ.28 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 314
รูปที่ ฉ.29 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 314
รูปที่ ฉ.30 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 314
รูปที่ ฉ.31 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....314
รูปที่ ฉ.32 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 314
รูปที่ ฉ.33 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม(ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 314

รูปที่ ฉ.34 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....315
รูปที่ ฉ.35 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม(Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....315
รูปที่ ฉ.36 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 315
รูปที่ ฉ.37 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....315
รูปที่ ฉ.38 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....315
รูปที่ ฉ.39 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....315
รูปที่ ฉ.40 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....316
รูปที่ ฉ.41 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....316
รูปที่ ฉ.42 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 316
รูปที่ ฉ.43 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....316

รูปที่ ฉ.44 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... 316
รูปที่ ฉ.45 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = .8860$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)..... ..317
รูปที่ ฉ.46 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 317
รูปที่ ฉ.47 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 317
รูปที่ ฉ.48 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 317
รูปที่ ฉ.49 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 4.7050$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)... 317
รูปที่ ฉ.50 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....317
รูปที่ ฉ.51 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....317
รูปที่ ฉ.52 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....318
รูปที่ ฉ.53 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 2.7517$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง

ของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 318
รูปที่ ฉ.54 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....318
รูปที่ ฉ.55 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....318
รูปที่ ฉ.56 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....318
รูปที่ ฉ.57 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม(Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....318
รูปที่ ฉ.58 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 319
รูปที่ ฉ.59 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....319
รูปที่ ฉ.60 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%)
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....319
รูปที่ ฉ.61 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%)
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....319
รูปที่ ฉ.62 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....319

รูปที่ ฉ.63 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)....319
รูปที่ ฉ.64 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 320
รูปที่ ฉ.65 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 320
รูปที่ ฉ.66 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$) 320
รูปที่ ฉ.67 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 320
รูปที่ ฉ.68 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....320
รูปที่ ฉ.69 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....320
รูปที่ ฉ.70 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....321
รูปที่ ฉ.71 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.2354$] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$)....321
รูปที่ ฉ.72 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....321
รูปที่ ฉ.73 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....321
รูปที่ ฉ.74 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....321
รูปที่ ฉ.75 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.5528$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....321
รูปที่ ฉ.76 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....322
รูปที่ ฉ.77 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....322
รูปที่ ฉ.78 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8560$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%)(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....322
รูปที่ ฉ.79 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่เซ็ทพอยท์ [$x_2 = 0.8860$]
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
ของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$).....322
รูปที่ ฉ.80 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 30%)
(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 322
รูปที่ ฉ.81 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์
และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 30%)

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 322
รูปที่ ฉ.82 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 323
รูปที่ ฉ.83 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 30%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 323
รูปที่ ฉ.84 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน ระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$)..... 323
รูปที่ ฉ.85 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน ระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....323
รูปที่ ฉ.86 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่ม 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.87 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.88 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวน ระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.89 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของ เครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.90 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่ม 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.91 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Φ เพิ่มขึ้น 20%)

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 324
รูปที่ ฉ.92 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 325
รูปที่ ฉ.93 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 325
รูปที่ ฉ.94 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....325
รูปที่ ฉ.95 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 60$).....325
รูปที่ ฉ.96 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 325
รูปที่ ฉ.97 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 325
รูปที่ ฉ.98 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326
รูปที่ ฉ.99 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร รบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม(Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง20%)(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326
รูปที่ ฉ.100 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องควบคุม (ค่า β เพิ่มขึ้น 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326
รูปที่ ฉ.101 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า Φ เพิ่มขึ้น 20%)

(เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326
รูปที่ ฉ.102 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (ค่า δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326
รูปที่ ฉ.103 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม(ค่า Φ เพิ่มขึ้น และ δ ลดลง 20%) (เริ่มควบคุมที่ $\tau = 0$) 326

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลงานที่เกี่ยวกับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ.....31
ตารางที่ 5.1 สภาวะปฏิบัติการของระบบที่สภาวะคงตัวสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....72
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....77
ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....77
ตารางที่ 5.4 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อตัวรบกวนระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็ป.....83
ตารางที่ 5.5 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป.....85
ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....89
ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้.....89
ตารางที่ 5.8 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมความเข้มข้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อตัวรบกวนระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็ป.....95
ตารางที่ 5.9 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมความเข้มข้นในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับได้เมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป.....95
ตารางที่ 6.1 สภาวะปฏิบัติการของระบบที่สภาวะคงตัวในกรณีศึกษา 3 กรณี สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้.....105

ตารางที่ 6.2. สัญลักษณ์ของพารามิเตอร์และตัวแปรของกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์เคมี ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้.....106
ตารางที่ 6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....112
ตารางที่ 6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....112
ตารางที่ 6.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....113
ตารางที่ 6.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....113
ตารางที่ 6.7 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็บในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....118
ตารางที่ 6.8 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่ระบบมีความว่องไวการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....124
ตารางที่ 6.9 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็บในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....127
ตารางที่ 6.10 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมความเข้มข้นเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....135
ตารางที่ 6.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัว.....141
ตารางที่ 6.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่ระบบระบบมีหลายสภาวะคงตัว.....I41
ตารางที่ 6.13 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัว.....142

ตารางที่ 6.14 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุม
ความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัว.....142
ตารางที่ 6.15 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิ
เมื่อตัวรบกวนระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็บในกรณีที่ระบบ
มีหลายสภาวะคงตัว.....165
ตารางที่ 6.16 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิ
เมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่ระบบ
มีหลายสภาวะคงตัว.....175
ตารางที่ 6.17 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุม
ความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่ระบบ
มีหลายสภาวะคงตัว.....199
ตารางที่ 6.18 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมความเข้มข้น
เมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่ระบบ
มีหลายสภาวะคงตัว.....208
ตารางที่ 6.19 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการ
ควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....209
ตารางที่ 6.20 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการ
ควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....209
ตารางที่ 6.21 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุม
อุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....210
ตารางที่ 6.22 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุม
ความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....210
ตารางที่ 6.23 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิ
เมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็บในกรณีที่
ระบบการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....218
ตารางที่ 6.24 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมอุณหภูมิ
เมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บในกรณีที่
ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....226

ตารางที่ 6.25 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุม
ความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็บในกรณีที่
ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....235
ตารางที่ 6.26 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุม
ความเข้มข้นเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็บกรณีที่
ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น.....243
ตารางที่ 6.27 ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุม
ความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยา
คายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้.....244
ตารางที่ ค.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบพีไอดี.....291

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ของแบบจำลองกระบวนการ

C = ความเข้มข้นของสารภายในถังปฏิกรณ์

C_1 = สัมประสิทธิ์ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า

C_{-1} = สัมประสิทธิ์ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

C_A = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A

C_B = ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ B

C_{Ai} = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น A

C_{Bi} = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารผลิตภัณฑ์ B

C_f = ความเข้มข้นของสารขาเข้าถังปฏิกรณ์

C_p = ค่าความจุความร้อนของสาร

ΔH = ค่าความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยา

$k(T)$ = ค่าคงที่อัตราของ Arrhenius

k_0 = ค่าคงที่ของ Arrhenius

q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร

Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสายป้อน

Q_1 = พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไปข้างหน้า

Q_{-1} = พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาย้อนกลับ

r_1 = อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

r_{-1} = อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

dt = ช่วงเวลาสุ่ม

t = เวลา

T = อุณหภูมิของระบบ

T_c = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น

T_l = อุณหภูมิของสายป้อน

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

V = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์

ρ = ความหนาแน่นของสาร

τ = ค่าคงที่เวลา

สัญลักษณ์เทอมตัวแปรไร้หน่วย

q = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอัตราการไหลของสายป้อน

q_c = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

u = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น

x_1 = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของความเข้มข้น

x_2 = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอุณหภูมิ

Φ = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา

β = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าความร้อนของปฏิกิริยา

γ = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา

δ = เทอมตัวแปรไร้หน่วยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัญลักษณ์ของเครื่องควบคุม

IAE = ค่าอินทีกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด

K = ค่าเมตริกซ์เกนคาลมาน

K_c = ค่าเกนของตัวควบคุมแบบพีไอดี

M = แกนของอินพุทหรือแกนการควบคุม

P = แกนของเอาท์พุทหรือแกนการทำนาย

$\hat{P}$ = ค่าเมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วมของความผิดพลาดจากการประมาณ

Q = ค่าความแปรปรวนร่วมของแบบจำลองของกระบวนการ

R = ค่าความแปรปรวนร่วมของสัญญาณรบกวนค่าวัด

τ_i = ค่าคงที่เวลาอินทีกรัลของตัวควบคุมแบบพีไอดี

τ_d = ค่าคงที่เวลาเดอริเวทีฟของตัวควบคุมแบบพีไอดี

u = ตัวแปรปรับกระบวนการ

Uwt = ค่าถ่วงดุลน้ำหนักของอินพุท

x = ตัวแปรสเตต

$\hat{x}$ = ค่าประมาณของสเตต

$\tilde{x}$ = ค่าความผิดพลาดจากการประมาณ

Ywt = ค่าถ่วงดุลน้ำหนักของเอาท์พุท

สัญลักษณ์อักษรกรีก

η = สัญญาณรบกวนค่าวัด

ζ = สัญญาณรบกวนกระบวนการ

ξ = Slack variable

Φ = สเตตทรานซิทชั่นเมตริกซ์

Γ = โควาเรียนซ์เมตริกซ์ของอินพุทในระบบเวลาดิสครีต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย