

ซีมูเลเตอร์ของการควบคุมเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์



นางสาว เกิดศิริ ศิริรัตน์กุลชัย

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2226-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FURNACE AND REACTOR CONTROL SIMULATOR



Miss Kuedsiri Sirirattanakunchai

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

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2226-5

4270677721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: FURNACE / REACTOR / SIMULATOR / JAVA / CONTROL

KUEDSIRI SIRIRATTANAKUNCHAI : FURNACE AND REACTOR CONTROL SIMULATOR. THESIS ADVISOR : MONTREE WONGSRI, Ph.D., 98 pp. ISBN 974-17-2226-5.

This research is the development of a program for process dynamic and control training for furnace and continuous stirred tank reactor (CSTR). Computer language for development is Java. Furnace and CSTR are nonlinear processes, which controlled by PID controller. Users can adjust percent of controller output and disturbance in both processes. Controller output and disturbance are step, sine wave, ramp and square wave. Users can select furnace and CSTR which can be connected. The process response which indicates its dynamics in graphics and value.

The results show the program can be used for training process dynamic and control for furnace and CSTR.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Engineering Student's signature.....

Field of study.....Chemical Engineering.. Advisor's signature.....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวความคิดต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติสุขภกร และรองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิด และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือหลาย ๆ ด้านด้วยดีเสมอมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณคุณย่า บิดา คุณอา และน้อง ๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	6
2.1 การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้น.....	6
2.2 การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง.....	7
2.3 การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลิ้นโดยใช้โปรแกรมสปีดอัป	7
2.4 การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้นแบบหลายองค์ประกอบ.....	8
2.5 การจำลองทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง.....	8
2.6 โปรแกรมคอนโทรลสเตชัน.....	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. เตาเผา.....	10
3.1 เตาเผา.....	10
3.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผา.....	11
3.2.1 ดุลมวลสาร.....	13
3.2.2 ดุลพลังงาน.....	13
3.3 วาล์วควบคุม.....	16
4. เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	17
4.1 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	17
4.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	18
4.2.1 ดุลมวลสาร.....	18
4.2.2 ดุลพลังงาน.....	19
4.3 วาล์วควบคุม.....	21
5. ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	22
5.1 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	22
5.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน....	23
5.2.1 ดุลมวลสาร.....	25
5.2.2 ดุลพลังงาน.....	26
5.3 วาล์วควบคุม.....	31
6. ตัวควบคุม.....	32
6.1 ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี.....	32
6.2 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในกระบวนการเตาเผา.....	33
6.3 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวน แบบต่อเนื่อง.....	34
6.4 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.5	วิธีจูนตัวควบคุม.....	35
7.	โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	38
7.1	โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	38
7.2	โครงสร้างของโปรแกรม.....	40
7.2.1	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	41
7.2.1.1	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเตาเผา.....	41
7.2.1.2	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	44
7.2.1.3	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	48
7.2.2	ส่วนการประมวลผล.....	52
7.2.2.1	ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมเตาเผา.....	52
7.2.2.2	ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	54
7.2.2.3	ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	56
7.2.3	ส่วนแสดงผล.....	58
7.2.3.1	ส่วนแสดงผลของโปรแกรมเตาเผา.....	58
7.2.3.2	ส่วนแสดงผลของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	60
7.2.3.3	ส่วนแสดงผลของโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	61
7.3	ผลการทดสอบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมที่ได้พัฒนาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์.....	63
7.3.1	กรณีศึกษาที่ 1 เตาเผา.....	63
7.3.2	กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	71
7.3.3	กรณีศึกษาที่ 3 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8. สรุปผลการวิจัย.....	81
8.1 ข้อสรุปสำหรับโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบ ต่อเนื่องต่อกัน.....	81
8.2 เงื่อนไขการทดสอบโปรแกรมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันกับโปรแกรม เชิงพาณิชย์.....	82
8.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน เปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์.....	82
8.3.1 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมเตาเผา.....	82
8.3.2 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	83
8.3.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมระบบในโปรแกรมระบบเตาเผาและ เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	83
8.4 ขีดจำกัดของโปรแกรม.....	84
8.5 ข้อเสนอแนะ.....	85
รายการอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก ภาษาจาวา.....	89
ภาคผนวก ข ไฟล์ซาร์ทโปรแกรมเตาเผา.....	92
ภาคผนวก ค ไฟล์ซาร์ทโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	94
ภาคผนวก ง ไฟล์ซาร์ทโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ต่อกัน.....	96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา.....	15
ตารางที่ 3.2 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา (ต่อ).....	16
ตารางที่ 4.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวน แบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้.....	20
ตารางที่ 5.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา.....	28
ตารางที่ 5.2 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา (ต่อ).....	29
ตารางที่ 5.3 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวน แบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยา $n\text{-C}_4\text{H}_{10} \rightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10}$	30
ตารางที่ 6.1 สูตรการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับ โดยวิธีของ Ziegler – Nichols.....	37
ตารางที่ 7.1 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา.....	42
ตารางที่ 7.2 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง	46
ตารางที่ 7.3 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	50

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเตาเผา.....	10
รูปที่ 4.1 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	17
รูปที่ 5.1 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	22
รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบป้อนกลับในเตาเผา.....	33
รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	34
รูปที่ 6.3 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	34
รูปที่ 6.4 Process reaction curve หรือ ผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการทดสอบแบบสเตป.....	35
รูปที่ 6.5 ผลตอบสนองจากการทดสอบสเตปเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูนตัวควบคุม.....	36
รูปที่ 7.1 การเลือกโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผาเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	40
รูปที่ 7.2 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา.....	42
รูปที่ 7.3 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา (ต่อ).....	43
รูปที่ 7.4 โปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	45
รูปที่ 7.5 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	46
รูปที่ 7.6 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (ต่อ).....	47
รูปที่ 7.7 โปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	49
รูปที่ 7.8 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	50
รูปที่ 7.9 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน (ต่อ).....	51
รูปที่ 7.10 โพลาร์ซาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเตาเผา.....	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.11 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบ ต่อเนื่อง.....	55
รูปที่ 7.12 โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	57
รูปที่ 7.13 การแสดงผลด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟของโปรแกรมเตาเผา.....	59
รูปที่ 7.14 การแสดงผลด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	60
รูปที่ 7.15 การแสดงผลด้วยรูปภาพ และค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	61
รูปที่ 7.16 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวน แบบต่อเนื่องต่อกัน.....	62
รูปที่ 7.17 ผลการเลียนแบบเตาเผา.....	64
รูปที่ 7.18 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 15 K.....	65
รูปที่ 7.19 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมาย เพิ่มขึ้น 15 K.....	65
รูปที่ 7.20 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 15 K.....	66
รูปที่ 7.21 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมาย ลดลง 15 K.....	66
รูปที่ 7.22 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 25%.....	67
รูปที่ 7.23 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนกระบวนการ เพิ่มขึ้น 25%.....	67
รูปที่ 7.24 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อตัวรบกวนกระบวนการลดลง 50%.....	68
รูปที่ 7.25 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนกระบวนการ การลดลง 50%.....	68
รูปที่ 7.26 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของ อากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 16.9.....	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 7.27 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่ออัตราส่วนระหว่าง อัตราการใช้ของอากาศกับอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงเท่ากับ 16.9.....	69
รูปที่ 7.28 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้ของ อากาศกับอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.0.....	70
รูปที่ 7.29 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่ออัตราส่วนระหว่าง อัตราการใช้ของอากาศกับอัตราการใช้ของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.0.....	70
รูปที่ 7.30 ผลการเลียนแบบเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง.....	71
รูปที่ 7.31 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 22°C	72
รูปที่ 7.32 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ ในโปรแกรม Matlab เมื่อเปลี่ยนแปลง ค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 22°C	72
รูปที่ 7.33 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 6°C	73
รูปที่ 7.34 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมาย ลดลง 6°C	73
รูปที่ 7.35 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 75%. 74	
รูปที่ 7.36 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวน กระบวนการเพิ่มขึ้น 75%.....	74
รูปที่ 7.37 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อตัวรบกวนกระบวนการลดลง 75%... 75	
รูปที่ 7.38 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวน กระบวนการลดลง 75%.....	75
รูปที่ 7.39 ผลการเลียนแบบระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	76
รูปที่ 7.40 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน เมื่อค่าเป้าหมาย เพิ่มขึ้น 5°C	77
รูปที่ 7.41 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 5°C	77
รูปที่ 7.42 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน เมื่อค่าเป้าหมาย ลดลง 5°C	78

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.43 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 5 °C	78
รูปที่ 7.44 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน เมื่อตัวรบกวนระบบเพิ่มขึ้น 20%.....	79
รูปที่ 7.45 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนระบบเพิ่มขึ้น 20%.....	79
รูปที่ 7.46 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน เมื่อตัวรบกวนระบบลดลง 20%.....	80
รูปที่ 7.47 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนระบบลดลง 20%.....	80
รูปที่ ข.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผา.....	92
รูปที่ ข.2 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเตาเผา.....	93
รูปที่ ข.3 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผา... ..	93
รูปที่ ค.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	94
รูปที่ ค.2 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	95
รูปที่ ค.3 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....	95
รูปที่ ง.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	96
รูปที่ ง.2 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	97
รูปที่ ง.3 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน.....	97

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การศึกษากระบวนการทางวิศวกรรมทางเคมีในปัจจุบันนี้ มีการใช้โปรแกรมการเลียนแบบกระบวนการแทนการปฏิบัติการกับกระบวนการจริง ซึ่งโปรแกรมส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายนั้น มีราคาแพง เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวประกอบด้วยแบบจำลองที่มีความแม่นยำ (Rigorous) และฐานข้อมูล (Database) เป็นจำนวนมาก และต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ให้กับผู้ที่ทำการพัฒนาโปรแกรมอีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบโปรแกรมที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าด้วยการตั้งสมมติฐานต่าง ๆ แต่สามารถที่จะให้พฤติกรรมทางพลวัตในแนวทางเดียวกันกับโปรแกรมที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปได้โดยโปรแกรมที่ทำการออกแบบนี้จะช่วยให้วิศวกร และพนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต มีมโนทัศน์ทางด้านพลวัต อีกทั้งยังสามารถเรียนรู้พลวัตของกระบวนการและการควบคุม และสามารถเข้าใจปรากฏการณ์ของหน่วยการผลิตนั้น ๆ ซึ่งจะช่วยให้มีทักษะและสามารถควบคุมกระบวนการได้แทนการปฏิบัติการกับกระบวนการจริง และสามารถขจัดปัญหา (Trouble Shooting) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ เรียกว่า โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา (Furnace) และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาโปรแกรมการศึกษาพลวัตและการควบคุมหน่วยปฏิบัติการ นั่นคือ เตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง มีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. ขอบเขตงานวิจัยในเตาเผา

- 1.1 ผู้ใช้สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิของของเหลวที่ออกจากท่อเตาเผาได้เท่านั้น โดย สมมติฐานว่า ความดันและสมบัติของสารภายในกระบวนการมีค่าคงที่
- 1.2 ผู้ใช้สามารถกำหนดพารามิเตอร์สำหรับเตาเผาได้ เช่น ประสิทธิภาพของเตาเผา
- 1.3 ผู้ใช้สามารถใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิของของเหลวภายในท่อเตาเผา
- 1.4 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ ภาษาจาวา
- 1.5 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของเหลวที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิเตาเผา ตัวแปรปรับกระบวนการ ตัวรบกวนกระบวนการ และค่าเป้าหมายด้วยกราฟ เมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม
- 1.6 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้ใช้มีการป้อนค่าที่ไม่ถูกต้อง เช่น ผู้ใช้ป้อนค่าตัวรบกวนกระบวนการเกินกว่าที่กำหนด และแสดงสัญญาณเตือนเมื่อผลตอบสนองของการควบคุมมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด

2. ขอบเขตงานวิจัยในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

- 2.1 ผู้ใช้สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องได้เท่านั้น โดยสมมติฐานว่า ความดันและสมบัติของสารภายในระบบมีค่าคงที่
- 2.2 ผู้ใช้สามารถใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง
- 2.3 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ ภาษาจาวา
- 2.4 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ตัวแปรปรับกระบวนการ และตัวรบกวนกระบวนการ และค่าเป้าหมายด้วยกราฟ เมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม

- 2.5 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้ใช้งานมีการป้อนค่าที่ไม่ถูกต้อง เช่น ผู้ใช้ป้อนค่าตัวแปรปรับกระบวนการเกินกว่าที่กำหนด และแสดงสัญญาณเตือนเมื่อผลตอบสนองของการควบคุมมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้งานกำหนด
3. ขอบเขตงานวิจัยในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน
- 3.1 ผู้ใช้สามารถทำการควบคุมได้เฉพาะอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องเท่านั้น โดยสมมติฐานว่า ความดัน และสมบัติของสารภายในระบบมีค่าคงที่
- 3.2 ผู้ใช้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ของเตาเผาได้ เช่น ประสิทธิภาพของเตาเผา
- 3.3 ผู้ใช้สามารถใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง
- 3.4 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ ภาษาจาวา
- 3.5 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของเหลวที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ตัวแปรปรับกระบวนการ ตัวรบกวนกระบวนการ และค่าเป้าหมายด้วยกราฟ เมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม
- 3.6 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้ใช้งานมีการป้อนค่าที่ไม่ถูกต้อง เช่น ผู้ใช้ป้อนค่าพารามิเตอร์เกินกว่าที่กำหนด และแสดงสัญญาณเตือนเมื่อผลตอบสนองของการควบคุมมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้งานกำหนด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โปรแกรมการฝึกอบรมนี้ นิสิต นักศึกษา วิศวกร พนักงานในกระบวนการอุตสาหกรรม และผู้สนใจสามารถใช้ในการศึกษา เรียนรู้ และฝึกทักษะทางพลวัตของกระบวนการและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันได้โดยไม่ต้องทำการทดลองจริง

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษา และรวบรวมข้อมูล และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาที่ผ่านมา
 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนรวบรวมผลงานวิจัยที่ผ่านมา และศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี
2. ศึกษาวิธีการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวา
 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการศึกษาภาษาจาวา ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์อ้างอิงเชิงวัตถุ โดยศึกษาถึงวิธีการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาจาวา การนำวัตถุที่มีในภาษาจาวาไปพัฒนาโปรแกรม เช่น การสร้างเมนู การสร้างวัตถุสำหรับให้ผู้ใช้ป้อนค่า ศึกษาถึงวิธีการเขียนกราฟฟิกเคลื่อนไหว 2 มิติ เช่น ภาพการเปลี่ยนแปลงเปลวไฟภายในเตาเผา การหมุนของใบกวนภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และการพล็อตกราฟตามเวลา
3. พัฒนาโปรแกรมการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน
 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม โดยพัฒนาโปรแกรมในส่วนของกราฟฟิกในเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน พัฒนาโปรแกรมในส่วนของแบบจำลองกระบวนการ และตัวควบคุมกระบวนการ
4. ทดสอบโปรแกรมการฝึกอบรมทางด้านพลวัต และการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน
 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดสอบกระบวนการเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถึงกวน และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันที่ได้พัฒนาขึ้นมาพร้อมกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษา Matlab เพื่อทดสอบแนวโน้มความถูกต้องของโปรแกรม และตรวจสอบแก้ไขโปรแกรมให้ถูกต้องสวยงาม
5. สรุปผลงานวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยเนื้อหาต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 8 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมา งานที่เกี่ยวข้องกับการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม ได้แก่ การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรม Speedup การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับแบบหลายองค์ประกอบ การจำลองทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถัง และโปรแกรม Control Station

บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้างของเตาเผาที่ใช้ในการศึกษาพลวัตของการควบคุมในงานวิจัย แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผา วาล์วควบคุม ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

บทที่ 4 กล่าวถึงโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่ใช้ในการศึกษาพลวัตของการควบคุมในงานวิจัย แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ วาล์วควบคุม ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

บทที่ 5 กล่าวถึงโครงสร้างของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ศึกษาถึงอันตรกิริยาที่มีต่อกันของเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ แบบจำลองเชิงพลวัตของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

บทที่ 6 กล่าวถึงตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ใช้ในควบคุมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน และวิธีในการจูนตัวควบคุม

บทที่ 7 กล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องต่อกัน รายละเอียดของโปรแกรมในส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล ผลการเลียนแบบการควบคุมของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

บทที่ 8 กล่าวถึงบทสรุปเกี่ยวกับโปรแกรม รวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในงานวิจัย

บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

บทนี้กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลงานที่เกี่ยวข้องกับการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม ได้แก่ การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้น การจำลองระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลิ้นโดยใช้โปรแกรมสปีดอัพ (Speedup) การจำลองทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถัง การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้นแบบหลายองค์ประกอบ และโปรแกรม Control Station

2.1 การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้น

การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้น โดย อรรถนพ ลิ้มไพบูลย์ (1994) อรรถนพใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยโครงสร้างการควบคุมหลายแบบ ระบบหอกลิ้นจะกลั่นแยกสารไฮโดรคาร์บอน 2 สาร ตัวแปรที่ต้องการควบคุม คือ สัดส่วนโดยโมลของสารเบาในผลิตภัณฑ์ที่ออกมาด้านบนหรือด้านล่างของหอกลิ้น ระดับของเหลวในหอบ้อนกลับ และระดับของเหลวที่ด้านล่างหอกลิ้น โปรแกรมการจำลองที่ได้จะมีส่วนเมนูหน้าจอที่ใช้ติดต่อกับเมาส์เพื่อช่วยในการเปลี่ยนข้อมูลและใช้งานโปรแกรม ผลที่ได้จากการรันโปรแกรมแสดงในรูปกราฟ จากการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมกับโปรแกรมสำเร็จรูป HYSIM ผลที่ได้จากการคำนวณที่สภาวะคงตัว คุณสมบัติแต่ละเทอร์ย์ของหอกลิ้นที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างกันไม่เกิน 3 องศาฟาเรนไฮต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง

การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง โดย สุรัตน์ (1995) สุรัตน์ได้เขียนโปรแกรม TTLSIM ด้วยภาษาซี เพื่อหาข้อสรุปว่า ระบบที่ทำการจำลองซึ่งเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น สามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีโอดีได้หรือไม่ และนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนในวิชาพลศาสตร์และการควบคุมกระบวนการ การทดสอบการควบคุมกระบวนการโดยหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม (แบบแกนสุดยอด) และแบบทดลองสอบผล การทดสอบการใช้งานเป็นโปรแกรมช่วยสอน กระทำโดยให้ผู้เกี่ยวข้องทดลองใช้ จากการทดสอบพบว่า ระบบที่ถูกจำลองสามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอดีได้ทุกโหมดและสามารถนำไปใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนได้

2.3 การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรมสปีดอัป (Speedup)

การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรมสปีดอัป (Speedup) โดย สมหวัง (1997) สมหวังได้เลียนแบบการทำงานของระบบควบคุมหอกลับ โดยใช้โปรแกรมสปีดอัป ระบบหอกลับจะกลั่นแยกสาร 3 องค์ประกอบ คือ เบนซีน โทลูอีน และไซลีน การควบคุมหอกลับเป็นการควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โครงสร้างการควบคุมที่ศึกษา คือ วิธี VD, VL และ LV ตัวแปรที่ต้องการควบคุม คือ สัดส่วนโดยโมลของสารเบาในผลิตภัณฑ์ยอดหอ หรือของสารหนักในผลิตภัณฑ์ก้นหอ ระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์ และระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ สมรรถนะของแต่ละโครงสร้างเปรียบเทียบกันโดยใช้ค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด พบว่าโครงสร้างการควบคุมวิธี VD เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการควบคุมระดับของเหลว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ทำการทดสอบกับแบบจำลองหอกลับที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัส (Aspen Plus) โปรแกรมสปีดอัปที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถปรับเปลี่ยนและใช้สำหรับการประเมินหาเมื่อใช้โครงสร้างการควบคุมอื่น ๆ และใช้เทคนิคการควบคุมในขั้นสูง แบบจำลองของหอกลับสามารถเปลี่ยนจำนวนเทรย์, ตำแหน่งของสารป้อน และสามารถขยายให้มีการตั้งผลิตภัณฑ์ออกด้านข้างได้

2.4 การจำลองพลศาสตร์ และการควบคุมหอกลิ้นแบบหลายองค์ประกอบ

การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้นแบบหลายองค์ประกอบ โดย ธนันดร (2000) ธนันดรได้เขียนโปรแกรม PACS-i ใช้ภาษาจาวาในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยระบบหอกลิ้นแบบเทอร์ย์ มีสารป้อนเข้าหนึ่งสาย และสายผลิตภัณฑ์สองสาย ระบบหอกลิ้นเป็นระบบหลายองค์ประกอบ ป้อนสารได้ไม่เกิน 5 สาร ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิยอดท่อ อุณหภูมิกันห่อ ระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์ และระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ โครงสร้างการควบคุมเป็นแบบหนึ่งตำแหน่ง และสองตำแหน่ง โปรแกรมการจำลองที่ได้จะมีส่วนเมนูหน้าจอที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้เพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและการใช้งานโปรแกรม ผลจากการรันโปรแกรมแสดงในรูปภาพที่รันตามเวลา จากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนานี้กับโปรแกรมแอสเพนพลัส (Aspen Plus) พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้มีความถูกต้อง โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุด 3.6% และให้แนวโน้มเชิงพลวัตในแนวทางเดียวกัน

2.5 การจำลองทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง

การจำลองทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง โดย วิภา (2001) วิภาใช้ภาษาจาวาในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วย การเลียนแบบกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง กระบวนการแบบกำหนดเองเป็นกระบวนการแบบเชิงเส้นมีอันดับไม่เกินสาม โดยสามารถป้อนค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตัวรบกวนกระบวนการ กระบวนการ และสิ่งรบกวนกระบวนการ ส่วนระบบระดับถัง สามารถเลือกจำนวนถังเพื่อนำมาต่ออนุกรมได้ไม่เกินสามถัง โดยสามารถต่อแบบมีอันตรกิริยาต่อกัน และแบบไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลออกของของเหลวและทิศทางการไหลของของเหลวว่าจะไปในทิศทางใด ตัวแปรที่ควบคุม คือ ระดับของเหลวในถังแต่ละใบ โปรแกรมการจำลองที่ได้จะมีส่วนเมนูหน้าจอที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้เพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและการใช้งานโปรแกรม ผลที่ได้จากการรันโปรแกรมแสดงในรูปภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จากการทดสอบกับแบบจำลองที่ได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Simulink และโปรแกรม Control Station พบว่าการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถังนั้นให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน รูปภาพที่ได้เหมือนกัน และมีค่าที่สภาวะคงที่ไม่แตกต่างกัน

2.6 โปรแกรม Control Station

โปรแกรม Control Station เป็นโปรแกรมการจำลองการฝึกอบรมการควบคุมกระบวนการและเครื่องมือในการออกแบบตัวควบคุม โดย Douglas J. Cooper (1987-1999) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยคอนเนตทิคัต โปรแกรมสามารถใช้งานในลักษณะ Hands-on process control training, modeling process dynamics, control loop analysis and tuning และ performance and capability studies ซึ่งประกอบด้วย 3 module ได้แก่

ก. Case Studies Module เป็นส่วนการจำลองการฝึกอบรมการควบคุมกระบวนการ ประกอบด้วย การควบคุมระดับของเหลวในถัง การควบคุมอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การควบคุมความเข้มข้นของสารภายในเครื่องปฏิกรณ์ การควบคุมความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ภายในหอกลั่น โดยใช้ตัวควบคุมพื้นฐาน P, PI และ PID รวมถึงตัวควบคุมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ได้แก่ Cascade Control, Feed Forward Control, Digital Control และ Model Predictive Control

ข. Design Tools Module เป็นส่วนที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม รวมถึงความสามารถในการคำนวณหาแบบจำลองกระบวนการพลวัตเชิงเส้นที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริง เมื่อข้อมูลที่นำมาคำนวณมาจากกระบวนการจริง ดังนั้นจึงสามารถใช้แก้ปัญหาได้จริงจากการออกแบบตัวควบคุม การวิเคราะห์ และการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

ค. Custom Process Module เป็นส่วนที่เราสามารถกำหนดกระบวนการและตัวควบคุมที่ต้องการศึกษาได้ ทำให้เราทราบถึงผลดีและผลเสียของตัวควบคุมที่แตกต่างกัน ความว่องไวในการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เป็นต้น

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

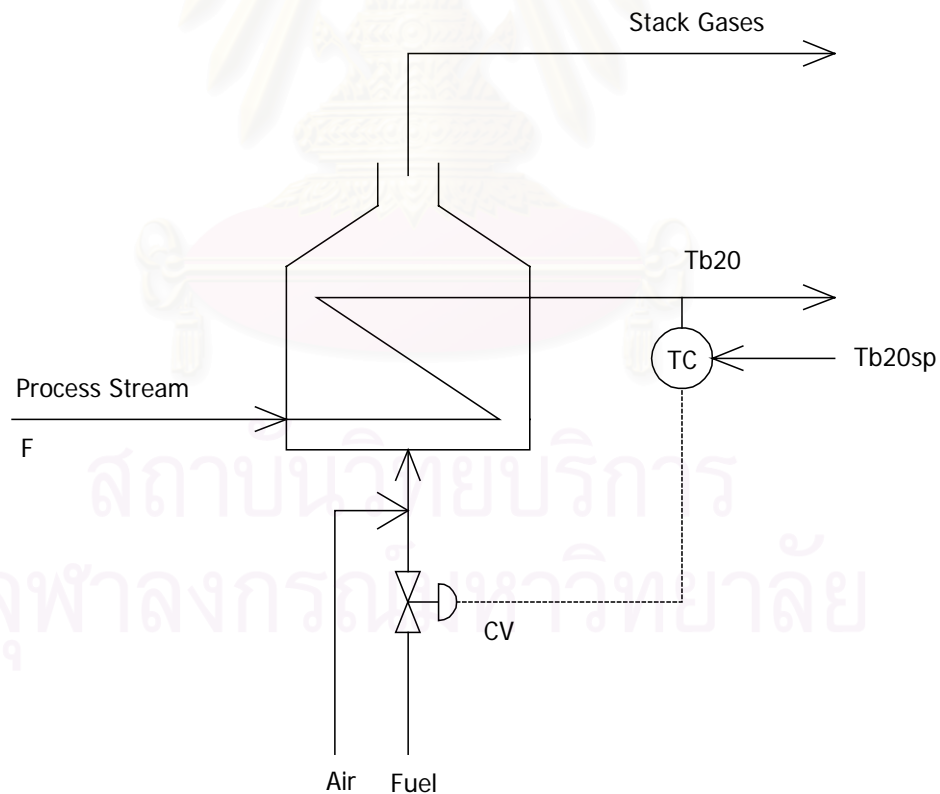
บทที่ 3

เตาเผา

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของเตาเผาที่ใช้ในการศึกษาพลวัตของการควบคุมในงานวิจัยแบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผา วาล์วควบคุม ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

3.1 เตาเผา

เตาเผา เป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย เพื่อให้พลังงานที่อุณหภูมิสูง จริง ๆ แล้วเตาเผาคือเครื่องปฏิกรณ์เคมีตัวหนึ่งที่มีสารตั้งต้น 2 ชนิด คือ เชื้อเพลิงและอากาศ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเตาเผา

โดยที่จลนพลศาสตร์เกือบเป็นแบบเกิดขึ้นทันที (Instantaneous) และความร้อนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสูง เชื้อเพลิงที่ใช้มีทั้งเชื้อเพลิงที่เป็น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยการให้ความร้อนแก่กระแสของของไหลที่ไหลผ่านเข้าเตาเผาเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ต้องการเท่าที่ประสิทธิภาพของเตาเผาจะสามารถทำได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นเชื้อเพลิง

3.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผา

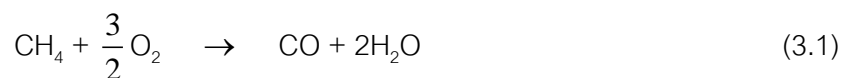
แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผา สามารถหาได้จากสมการความต่อเนื่อง โดยผลการตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา ตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการเปิดปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผา ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่เข้ามาตามอัตราส่วนที่กำหนดให้ และตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของไหลในท่อเตาเผา อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการเตาเผานั้นมีความซับซ้อน แบบจำลองที่ศึกษานี้จึงไม่ได้ลงลึกในรายละเอียดต่าง ๆ เช่น วาล์ว และตัววัด เป็นต้น เนื่องจากจะทำให้แบบจำลองที่ศึกษามีความยุ่งยาก โดยได้นัยสำคัญของผลตอบสนองของกระบวนการเท่าเดิม

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาเตาเผา ดังนี้

- ก. ไม่มีการสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตาเผาออกสู่สิ่งแวดล้อม
- ข. อุณหภูมิภายในห้องเผาใหม่เท่ากันหมด
- ค. อุณหภูมิของของเหลวในท่อเตาเผาเป็นฟังก์ชันกับเวลาและความยาวท่อเท่านั้น
- ง. ไม่คิดการนำความร้อนตามผนังท่อในทิศทางเดียวกับการไหลของของเหลวภายในท่อ
- จ. ความดัน และสมบัติทางกายภาพของสารภายในกระบวนการมีค่าคงที่
- ฉ. อุณหภูมิผนังท่อเตาเผาเท่ากันหมด
- ช. สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่

แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผาในงานวิจัยนี้จะอาศัยข้อมูลจาก Doyle III (1999) ในการจำลองกระบวนการ สามารถแสดงได้ดังนี้

การเผาไหม้ภายในเตาเผา เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนและไฮโดรเจน โดยจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ดังสมการ



ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ภายในเตาเผาจะถูกนำไปใช้เพื่อให้ความร้อนแก่สารป้อนซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูง (C_{16} - C_{26}) เพื่อส่งเข้าสู่หน่วยแครกกิ่งในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพปิโตรเลียม (Petroleum Refinery)

สมการความต่อเนื่อง คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสะสมของ} &= \text{อัตรามวลสาร (พลังงาน)} - \text{อัตรามวลสาร (พลังงาน)} \\ \text{มวลสาร (พลังงาน)} & \quad \text{ที่ไหลเข้าระบบ} \quad \quad \quad \text{ที่ไหลออกจากระบบ} \\ & + \text{อัตรามวลสาร (พลังงาน)} - \text{อัตรามวลสาร (พลังงาน)} \\ & \quad \text{ที่เกิดขึ้นภายในระบบ} \quad \quad \quad \text{ที่ใช้ภายในระบบ} \end{aligned}$$

สามารถเขียนดุลมวลสารและดุลพลังงานของเตาเผาได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 ดุลมวลสาร

$$\frac{dC_{CH_4}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{CH_4,i} - V_G^* C_{CH_4}) - k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} \quad (3.3)$$

$$\frac{dC_{H_2O}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{H_2O,i} - V_{FG}^* C_{H_2O}) + 2k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} \quad (3.4)$$

$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{O_2,i} - V_{FG}^* C_{O_2}) - \frac{3}{2} k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} k_2 C_{CO} C_{O_2}^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

$$\frac{dC_{CO}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{CO,i} - V_{VG}^* C_{CO}) + k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} - k_2 C_{CO} C_{O_2}^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

$$\frac{dC_{CO_2}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{CO_2,i} - V_{FG}^* C_{CO_2}) + k_2 C_{CO} C_{O_2}^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

โดยที่

$$V_G^* = \frac{2n_{O_2,i} + n_{H_2O,i}}{C_{H_2O} + 2C_{O_2} + C_{CO} + 2C_{CO_2}}$$

$$n_{CH_4,i} = x_{CH_4} F_{fuel} \rho_{ig}$$

$$n_{H_2O,i} = (1 - x_{CH_4}) F_{fuel} \rho_{ig}$$

$$n_{O_2,i} = 0.21 F_{air} \rho_{ig}$$

$$\rho_{ig} = \frac{P}{RT_{air}}$$

3.2.2 ดุลพลังงาน

ก. ดุลพลังงานรวม

$$\frac{dT_f}{dt} = \left(q_{rxn1} - q_{rxn2} - (q_f - q_i) - hddL\pi \left(nT_f - \sum_{i=1}^{20} T_{bi} \right) \right) / c_{pfurn} \quad (3.8)$$

โดยที่

$$q_{rxn1} = \eta k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} V_C h_{rxn1}$$

$$q_{rxn2} = \eta k_2 C_{CO} C_{O_2}^{\frac{1}{2}} V_C h_{rxn2}$$

$$q_i = \sum n_i c_{pi} T_{air}$$

$$q_f = \sum n_f c_{pf} T_f$$

ข. ดุลพลังงานของก๊าซเผาไหม้ และของเหลวในท่อ

เนื่องจาก อุณหภูมิของของเหลวในท่อเตาเผาเป็นฟังก์ชันกับเวลา และระยะทางตามความยาวท่อ ดังนั้นจึงแบ่งท่อเป็น 20 ส่วน เพื่อดุลพลังงานในแต่ละส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

$$\frac{dT_{b1}}{dt} = \frac{V_{fl}}{dL} (T_{fl} - T_{b1}) + \frac{4h}{\rho_{fl} c_{pfl} d} (T_f - T_{b1}) \quad (3.9)$$

ส่วนที่ 2 - 20

$$\frac{dT_{bi}}{dt} = \frac{V_{fl}}{dL} (T_{bi} - T_{bi-1}) + \frac{4h}{\rho_{fl} c_{pfl} d} (T_f - T_{bi}) \quad (3.10)$$

โดยที่

$$i = 2, \dots, 20$$

$$V_{fl} = \frac{F_{fl}}{A}$$

ดังนั้น สามารถเขียนแบบจำลองของกระบวนการนี้ได้ โดยมีสภาวะในการปฏิบัติการของกระบวนการดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
η	ประสิทธิภาพของเตาเผา	0.8712	-
$c_{p\text{fum}}$	ค่าความจุความร้อนของเตาเผา	1.05×10^5	J/K
V_c	ปริมาตรในการเกิดปฏิกิริยา	250	m^3
n	จำนวนท่อที่แบ่งออก	20	-
L	ความยาวของท่อเตาเผา	40	m
dL	ความยาวของท่อที่แบ่ง	2	m
d	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อเตาเผา	0.08	m
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	400	$\text{J/m}^2\text{-min-K}$
ρ_{fl}	ความหนาแน่นของของเหลว	786.6	kg/m^3
c_{pfl}	ค่าความจุความร้อนของของเหลว	463.31	J/kg-K
k_1	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.1)	120	$\text{m}^{4.5}/\text{mol}^{1.5}\text{-min}$
k_2	ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.2)	75	$\text{m}^{1.5}/\text{mol}^{0.5}\text{-min}$
h_{rxn1}	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.1)	6.0443×10^5	J/mol
h_{rxn2}	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.2)	2.8498×10^5	J/mol
C_{CH_4}	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน	5.3685×10^{-4}	mol/m^3
$C_{\text{H}_2\text{O}}$	ความเข้มข้นของไอน้ำ	1.6626	mol/m^3
C_{O_2}	ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน	0.9221	mol/m^3
C_{CO}	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	9.8887×10^{-4}	mol/m^3
C_{CO_2}	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.83031	mol/m^3
T_{air}	อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเตาเผา	310	K
T_f	อุณหภูมิของเตาเผา	417	K
T_b	อุณหภูมิของท่อเตาเผา	417	K
F_{fl}	อัตราการไหลของของเหลวในท่อเตาเผา	0.15	m^3/min

ตารางที่ 3.2 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
F_{air}	อัตราการไหลของอากาศที่เข้าเตาเผา	23.0	m^3/min
ratio	อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิง	13.45	-
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อเตาเผา	5.0265×10^{-3}	m^2
P	ความดันของระบบ	1	atm
R	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ	8.205×10^{-5}	$m^3 \cdot atm / mol \cdot K$
x_{CH_4}	สัดส่วนโดยโมลของก๊าซมีเทนในเชื้อเพลิง	1	-
n_{CO_i}	จำนวนโมลเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	0	mol
$n_{CO_2_i}$	จำนวนโมลเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0	mol
$F_{fuel,max}$	อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงสุด	4.0	m^3/min
α	พารามิเตอร์ของการเปิดปิดวาล์ว	50	-
m	สัญญาณควบคุม	0-1	-

3.3 วาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม เพื่อเปิดปิดวาล์วตามที่ตัวควบคุมสั่ง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้วาล์วควบคุมเป็นชนิดปกติเปิด โดยตัวแปรปรับกระบวนการคือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (F_{fuel}) สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรับกระบวนการและสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม (m) ดังสมการ

$$F_{fuel} = F_{fuel,max} \alpha^{-m} \quad (3.11)$$

ในงานวิจัยนี้ ผู้ใช้สามารถป้อนสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม และตัวรบกวนกระบวนการได้ 4 แบบ คือ ฟังก์ชันสเตป ฟังก์ชันซายน์ ฟังก์ชันแรม และฟังก์ชันสแควร์เวฟ

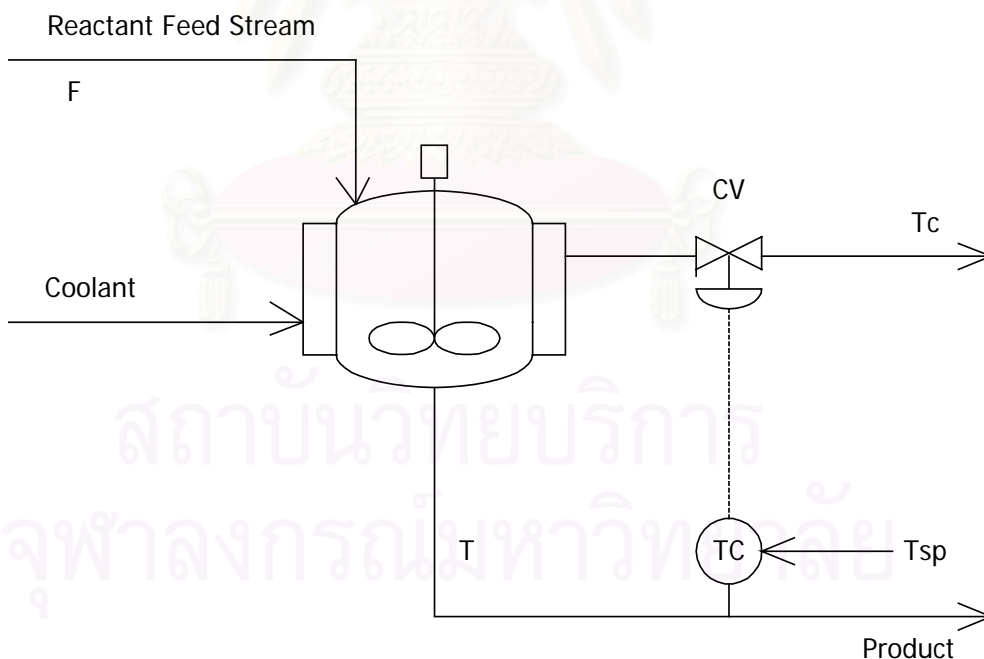
บทที่ 4

เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่ใช้ในการศึกษาพลวัตของการควบคุมในงานวิจัย แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง วาล์วควบคุมชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

4.1 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

กระบวนการนี้เป็นการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับสองแบบผันกลับไม่ได้ ซึ่งให้พลังงานความร้อนจำนวนหนึ่งถูกปล่อยออกมา ทำให้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น ในการระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีนั้นใช้น้ำหล่อเย็นไหลภายในแจ็คเก็ตที่หุ้มอยู่ด้านนอกเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 4.1 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

4.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง สามารถหาได้จากสมการความต่อเนื่อง นั่นคือ ดุลมวลสารและดุลพลังงาน โดยผลตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการเปิดปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากแจ๊คเก็ต และตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ดังนี้

- ก. ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ และสมบัติทางกายภาพของสารในกระบวนการมีค่าคงที่
- ข. ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกนอกระบบ
- ค. มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ในเครื่องปฏิกรณ์ และในแจ๊คเก็ต

แบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะอาศัยข้อมูลจาก Smith และ Corripio (1984) สามารถหาแบบจำลองเชิงพลวัตของกระบวนการได้จากการดุลมวลสาร และดุลพลังงาน ดังนี้

4.2.1 ดุลมวลสาร

อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร คือ

$$r = kC_A^2 \quad (4.1)$$

และสัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส คือ

$$k = k_0 e^{\left(\frac{E}{RT}\right)} \quad (4.2)$$

ดังนั้น ดุลมวลสารของสารตั้งต้น คือ

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V}(C_{Ai} - C_A) - k_0 e^{\left(\frac{E}{RT}\right)} C_A^2 \quad (4.3)$$

4.2.2 ดุลพลังงาน

ก. ดุลพลังงานรอบเครื่องปฏิกรณ์

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T_i - T) - \frac{\Delta H_R}{\rho c_p} k C_A^2 - \frac{UA}{V\rho c_p}(T - T_C) \quad (4.4)$$

ข. ดุลพลังงานรอบแจ็กเก็ต

$$\frac{dT_C}{dt} = \frac{UA}{V_C \rho_C c_{pC}}(T - T_C) - \frac{F_C}{V_C}(T_C - T_{Ci}) \quad (4.5)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์	7.08	m ³
ρ	ความหนาแน่นของสารตั้งต้น	19.2	kgmole/m ³
c_p	ค่าความจุความร้อนของสารตั้งต้น	1.815×10^5	J/kgmole-C
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	5.40	m ²
ρ_C	ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็น	1000	kg/m ³
c_{pC}	ค่าความจุความร้อนของน้ำหล่อเย็น	4184	J/kg-C
k_0	สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา	0.0744	m ³ /kgmole-s
ΔH_R	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา	-9.86×10^7	J/kgmole
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	3550	J/s-m ² -°C
V _C	ปริมาตรของแจ็กเก็ต	1.82	m ³
E	พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา	1.182×10^7	J/kgmole
F _{Cmax}	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นสูงสุด	0.02	m ³ /s
R	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ	8314.39	J/kgmole-K
F	อัตราการไหลของสารตั้งต้น	0.0075	m ³ /s
C _{Ai}	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น	2.88	kgmole/m ³
C _A	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น	1.133	kgmole/m ³
T _i	อุณหภูมิของสายป้อน	66.0	°C
T	อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	88.0	°C
T _{Ci}	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าแจ็กเก็ต	27.0	°C
T _C	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น	50.5	°C
α	พารามิเตอร์ของการเปิดปิดวาล์ว	50	-
m	สัญญาณควบคุม	0-1	-

4.3 วาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม เพื่อเปิดปิดวาล์วตามที่ตั้งค่าตัวควบคุมสั่ง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้วาล์วควบคุมเป็นชนิดปกติเปิด โดยมีตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากแจ๊คเก็ต (F_C) สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรับกระบวนการและสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม (m) ดังนี้

$$F_C = F_{C_{\max}} \alpha^{-m} \quad (4.6)$$

ในงานวิจัยนี้ ผู้ใช้สามารถป้อนสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม และตัวรบกวนกระบวนการได้ 4 แบบ คือ ฟังก์ชันสเตป ฟังก์ชันซายน์ ฟังก์ชันแรม และฟังก์ชันสแควร์เวฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

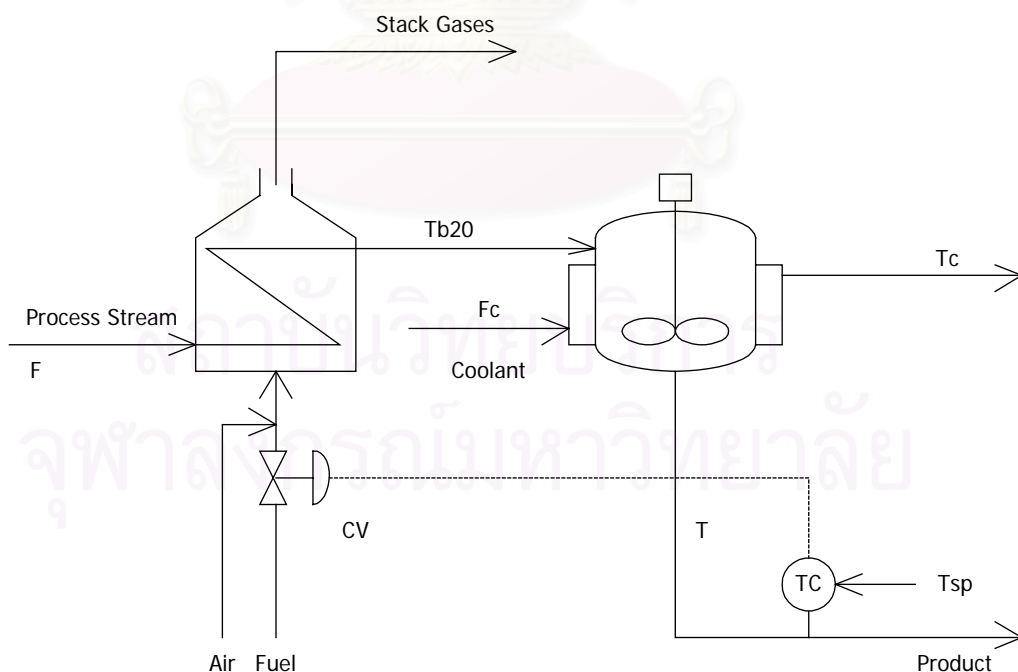
บทที่ 5

ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ศึกษาถึงอันตรกิริยาที่มีต่อกันของเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ แบบจำลองเชิงพลวัตของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน วาล์วควบคุม ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้

5.1 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

การต่อกันของกระบวนการเตาเผาและกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องนั้น ทำให้กระบวนการทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน นั่นคือ เตาเผาจะให้ความร้อนแก่สายป้อนก่อนที่จะเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง โดยให้ความร้อนแก่สายป้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งที่เหมาะสม จากนั้นสายป้อนจะเข้าเครื่องปฏิกรณ์เพื่อให้สารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงเป็นสารผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.1 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

5.2 แบบจำลองเชิงพลวัตของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

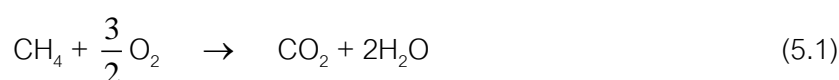
แบบจำลองเชิงพลวัตของระบบนี้สามารถหาได้จากสมการความต่อเนื่อง นั่นคือ ดุลมวลสารและดุลพลังงาน โดยผลตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการเปิดปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผา และตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของไหลในท่อเตาเผา

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษา

- ก. ไม่มีการสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตาเผาออกสู่สิ่งแวดล้อม
- ข. อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เท่ากันหมด
- ค. อุณหภูมิของของไหลในท่อเตาเผาเป็นฟังก์ชันกับเวลาและความยาวท่อเท่านั้น
- ง. ไม่คิดการนำความร้อนตามผนังท่อในทิศทางเดียวกับการไหลของของไหลภายในท่อเตาเผา
- จ. ความดัน และสมบัติทางกายภาพของสารภายในกระบวนการมีค่าคงที่
- ฉ. อุณหภูมิผนังท่อเตาเผาเท่ากันหมด
- ช. สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่
- ซ. ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ และสมบัติทางกายภาพของสารภายในระบบมีค่าคงที่
- ฅ. ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกนอกเครื่องปฏิกรณ์
- ญ. มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ในเครื่องปฏิกรณ์ และในแจ็กเก็ต

แบบจำลองเชิงพลวัตของเตาเผาในงานวิจัยนี้ จะอาศัยข้อมูลจาก Doyle III (1999) และแบบจำลองเชิงพลวัตของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องในงานวิจัยนี้ จะอาศัยข้อมูลจาก Smith และ Corripio (1984) สามารถหาแบบจำลองเชิงพลวัตของระบบได้จากดุลมวลสาร และดุลพลังงาน ดังนี้

การเผาไหม้ภายในเตาเผา เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน และไอน้ำ โดยจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ดังสมการ



ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ภายในเตาเผาจะถูกนำไปใช้เพื่อให้ความร้อนแก่สารป้อน คือ นอร์มอลบิวเทน (n-Butane) แล้วเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง เพื่อเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน จะได้สารผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ดังสมการ



โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ อาศัยข้อมูลจาก Luyben และ Tyreus (1998) สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ คือ

$$k = 6.6666 \times 10^6 \exp\left(-\frac{6.978 \times 10^7}{RT}\right) \quad (5.4)$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของปฏิกิริยานี้ คือ

$$r = kC_{n-C_4H_{10}} \quad (5.5)$$

สามารถเขียนดุลมวลสาร และดุลพลังงานของระบบ ได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1 ดุลมวลสาร

ก. ดุลมวลสารรอบเตาเผา

$$\frac{dC_{\text{CH}_4}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{\text{CH}_4 i} - V_G^* C_{\text{CH}_4}) - k_1 C_{\text{CH}_4} C_{\text{O}_2}^{\frac{3}{2}} \quad (5.6)$$

$$\frac{dC_{\text{H}_2\text{O}}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{\text{H}_2\text{O} i} - V_G^* C_{\text{H}_2\text{O}}) + 2k_1 C_{\text{CH}_4} C_{\text{O}_2}^{\frac{3}{2}} \quad (5.7)$$

$$\frac{dC_{\text{O}_2}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{\text{O}_2 i} - V_G^* C_{\text{O}_2}) - \frac{3}{2} k_1 C_{\text{CH}_4} C_{\text{O}_2}^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} k_2 C_{\text{CO}} C_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \quad (5.8)$$

$$\frac{dC_{\text{CO}}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{\text{CO} i} - V_G^* C_{\text{CO}}) + k_1 C_{\text{CH}_4} C_{\text{O}_2}^{\frac{3}{2}} - k_2 C_{\text{CO}} C_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \quad (5.9)$$

$$\frac{dC_{\text{CO}_2}}{dt} = \frac{1}{V_C} (n_{\text{CO}_2 i} - V_G^* C_{\text{CO}_2}) + k_2 C_{\text{CO}} C_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \quad (5.10)$$

โดยที่

$$V_G^* = \frac{2n_{\text{O}_2 i} + n_{\text{H}_2\text{O} i}}{C_{\text{H}_2\text{O}} + 2C_{\text{O}_2} + C_{\text{CO}} + 2C_{\text{CO}_2}}$$

$$n_{\text{CH}_4 i} = x_{\text{CH}_4} F_{\text{fuel}} \rho_{\text{ig}}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O} i} = (1 - x_{\text{CH}_4}) F_{\text{fuel}} \rho_{\text{ig}}$$

$$n_{\text{O}_2 i} = 0.21 F_{\text{air}} \rho_{\text{ig}}$$

$$\rho_{\text{ig}} = \frac{P}{RT_{\text{air}}}$$

ข. ดุลมวลสารรอบเครื่องปฏิกรณ์

$$\frac{dC_{\text{nC}_4\text{H}_{10}}}{dt} = \frac{F}{V} (C_{\text{nC}_4\text{H}_{10} i} - C_{\text{nC}_4\text{H}_{10}}) - k C_{\text{nC}_4\text{H}_{10}} \quad (5.11)$$

5.2.2 คูลพลังงาน

ก. คูลพลังงานรวมรอบเตาเผา

$$\frac{dT_f}{dt} = q_{rxn1} - q_{rxn2} - (q_f - q_i) - hddL\pi \left(nT_f - \sum_{i=1}^{20} T_{bi} \right) \quad (5.12)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} q_{rxn1} &= \eta k_1 C_{CH_4} C_{O_2}^{\frac{3}{2}} V_C h_{rxn1} \\ q_{rxn2} &= \eta k_2 C_{CO} C_{O_2}^{\frac{1}{2}} V_C h_{rxn2} \\ q_i &= \sum n_i c_{pi} T_{air} \\ q_f &= \sum n_f c_{pf} T_f \end{aligned}$$

ข. คูลพลังงานของก๊าซเผาไหม้ และของไหลในท่อเตาเผา

เนื่องจากอุณหภูมิของของไหลในท่อเตาเผาเป็นฟังก์ชันกับเวลา และระยะทางตามความยาวท่อ ดังนั้นจึงแบ่งท่อเป็น 20 ส่วน เพื่อคูลพลังงานในแต่ละส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

$$\frac{dT_{b1}}{dt} = \frac{V_{fl}}{dL} (T_{fl} - T_{b1}) + \frac{4h}{\rho_{fl} c_{pfl} d} (T_f - T_{b1}) \quad (5.13)$$

ส่วนที่ 2 - 20

$$\frac{dT_{bi}}{dt} = \frac{V_{fl}}{dL} (T_{bi} - T_{bi-1}) + \frac{4h}{\rho_{fl} c_{pfl} d} (T_f - T_{bi}) \quad (5.14)$$

โดยที่

$$i = 2, \dots, 20$$

$$V_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{A}$$

ค. ดุลพลังงานรอบเครื่องปฏิกรณ์

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T_{b20} - T) - \frac{\Delta H_R}{\rho c_p} k C_{nC_4H_{10}} - \frac{UA}{V\rho c_p}(T - T_C) \quad (5.15)$$

ง. ดุลพลังงานรอบแจ็คเก็ต

$$\frac{dT_C}{dt} = \frac{UA}{V_C \rho_C c_{pC}}(T - T_C) - \frac{F_C}{V_C}(T_C - T_{Ci}) \quad (5.16)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
η	ประสิทธิภาพของเตาเผา	0.8712	-
$c_{p\text{fum}}$	ค่าความจุความร้อนของเตาเผา	1.05×10^5	J/K
V_c	ปริมาตรในการเกิดปฏิกิริยา	250	m^3
n	จำนวนท่อที่แบ่งออก	20	-
L	ความยาวของท่อเตาเผา	40	m
dL	ความยาวของท่อที่แบ่ง	2	m
d	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อเตาเผา	0.08	m
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	400	$\text{J/m}^2\text{-min-K}$
ρ_{fl}	ความหนาแน่นของของเหลว	257.808	kg/m^3
c_{pfl}	ค่าความจุความร้อนของของเหลว	3253.981	J/kg-K
k_1	ค่าคงที่อัตราการผลิตปฏิกิริยาในสมการที่ (3.1)	120	$\text{m}^{4.5}/\text{mol}^{1.5}\text{-min}$
k_2	ค่าคงที่อัตราการผลิตปฏิกิริยาในสมการที่ (3.2)	75	$\text{m}^{1.5}/\text{mol}^{0.5}\text{-min}$
h_{rxn1}	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.1)	6.0443×10^5	J/mol
h_{rxn2}	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ (3.2)	2.8498×10^5	J/mol
C_{CH_4}	ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน	5.3685×10^{-4}	mol/m^3
$C_{\text{H}_2\text{O}}$	ความเข้มข้นของไอน้ำ	1.6626	mol/m^3
C_{O_2}	ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน	0.9221	mol/m^3
C_{CO}	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	9.8887×10^{-4}	mol/m^3
C_{CO_2}	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.83031	mol/m^3
T_{air}	อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเตาเผา	310	K
T_f	อุณหภูมิของเตาเผา	417	K
T_b	อุณหภูมิของท่อเตาเผา	417	K
F_{fl}	อัตราการไหลของของเหลวในท่อเตาเผา	0.06	m^3/min

ตารางที่ 5.2 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเตาเผา (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
F_{air}	อัตราการไหลของอากาศที่เข้าเตาเผา	23.0	m^3/min
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อเตาเผา	5.0265×10^{-3}	m^2
P	ความดันของระบบ	1	atm
R	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ	8.205×10^{-5}	$m^3 \cdot atm / mol \cdot K$
x_{CH_4}	สัดส่วนโดยโมลของก๊าซมีเทนในเชื้อเพลิง	1	-
n_{CO_i}	จำนวนโมลเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	0	mol
$n_{CO_2_i}$	จำนวนโมลเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0	mol
$F_{fuel\ max}$	อัตราการไหลของเชื้อเพลิงสูงสุด	3.5	m^3/min
α	พารามิเตอร์ของการเปิดปิดวาล์ว	50	-
m	สัญญาณควบคุม	0-1	-

ตารางที่ 5.3 สภาวะการปฏิบัติการของกระบวนการที่สภาวะคงตัวสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยา $n\text{-C}_4\text{H}_{10} \rightarrow i\text{-C}_4\text{H}_{10}$

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
V	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์	8.5	m ³
ρ	ความหนาแน่นของสารตั้งต้น	1.40472	kgmole/m ³
c_p	ค่าความจุความร้อนของสารตั้งต้น	1.38272×10^5	J/kgmole-C
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	4.3	m ²
ρ_C	ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็น	1000	kg/m ³
c_{pC}	ค่าความจุความร้อนของน้ำหล่อเย็น	4184	J/kg-C
k_0	สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา	6.6666×10^6	m ³ /kgmole-min
ΔH_R	ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา	-8.3736×10^6	J/kgmole
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	51000	J/min-m ² -°C
V _C	ปริมาตรของแจ็กเก็ต	1.5	m ³
E	พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา	6.978×10^7	J/kgmole
F _C	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	0.01	m ³ /min
R	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ	8314.39	J/kgmole-K
F	อัตราการไหลของสารตั้งต้น	0.06	m ³ /min
C _{Ai}	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น	2.5	kgmole/m ³
C _A	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น	2.5	kgmole/m ³
T _i	อุณหภูมิของสายป้อน	144.0	°C
T	อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์	190.0	°C
T _{Ci}	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าแจ็กเก็ต	190	°C
T _C	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น	190	°C

5.3 วาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม เพื่อเปิดปิดวาล์วตามที่ตัวควบคุมสั่ง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้วาล์วควบคุมเป็นชนิดปกติเปิด โดยตัวแปรปรับกระบวนการคือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (F_{fuel}) สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรับกระบวนการและสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม (m) ดังสมการ

$$F_{\text{fuel}} = F_{\text{fuelmax}} \alpha^{-m} \quad (5.17)$$

ในงานวิจัยนี้ ผู้ใช้สามารถป้อนสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุม และตัวรบกวนกระบวนการได้ 4 แบบ คือ ฟังก์ชันสเตป ฟังก์ชันซายน์ ฟังก์ชันแรม และฟังก์ชันสแควร์เวฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ตัวควบคุม

บทนี้กล่าวถึงตัวควบคุมที่ใช้ในเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ซึ่งใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบแบบพีไอดีในการควบคุม และวิธีในการจูนตัวควบคุม

6.1 ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี

ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวควบคุมพีไอดีแบบดิจิทัล ซึ่งมีรูปแบบมาจากสมการตัวควบคุมพีไอดีแบบอนาลอก ดังสมการที่ (6.1)

$$CO(k) = CO_0 + K_C \left(e(k) + \frac{1}{\tau_i} \int edt + \tau_d \frac{de}{dt} \right) \quad (6.1)$$

ตัวควบคุมพีไอดีแบบดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นตัวควบคุมพีไอดีเวโลซิตีฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด ดังสมการ (6.2)

$$\Delta CO(k) = K_C \left[(e(k) - e(k-1)) + \frac{\Delta t}{\tau_i} e(k) + \frac{\tau_d}{\Delta t} (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \right] \quad (6.2)$$

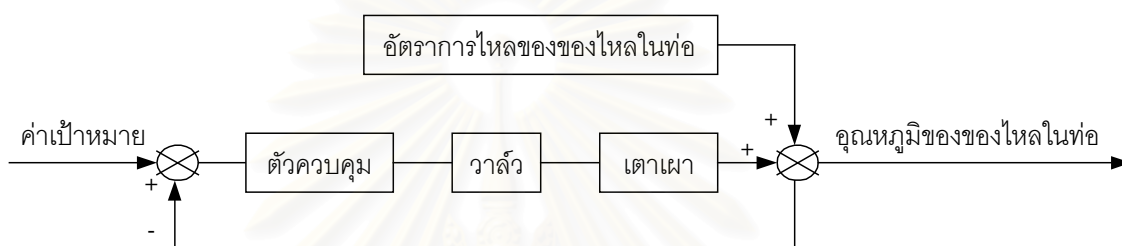
ในการควบคุมแบบพีไอดีนั้น สามารถที่จะเลือกการควบคุมแบบพี หรือพีไอก็ได้ ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ทำการควบคุม

ผลการตอบสนองของการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีจะได้ค่าเป้าหมายตามที่ต้องการ ต้องมีการกำหนดค่าเกนสัดส่วน (K_C) ค่าคงที่เวลาอินทิกรัล (τ_i) ค่าคงที่เวลาเดริเวทีฟ (τ_d) และค่าไบแอส (CO_0) ของตัวควบคุมให้เหมาะสม

เมื่อ $K_c > 0$ ตัวแปรปรับกระบวนการจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการมีค่าลดลง เรียกว่า Reverse-Acting

เมื่อ $K_c < 0$ ตัวแปรปรับกระบวนการจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า Direct-Acting

6.2 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในเตาเผา

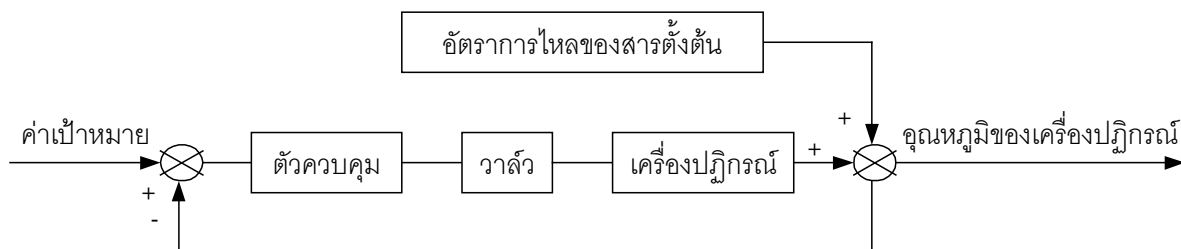


รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบป้อนกลับในเตาเผา

โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในกระบวนการเตาเผา มีตัวแปรปรับกระบวนการ คือ วาล์วที่ทำหน้าที่ปรับการเปิดปิดวาล์ว เพื่อปรับให้ผลตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาให้มีผลตอบสนองตามค่าเป้าหมาย จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองกระบวนการเป็นผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการ และกระบวนการรบกวน โดยสัญญาณรบกวนมาจากตัวแปรรบกวน คือ อัตราการไหลของของไหลในท่อเตาเผาที่ผ่านกระบวนการรบกวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

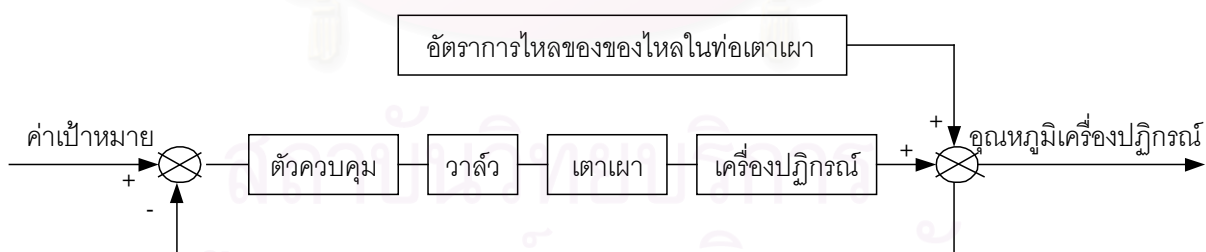
6.3 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในกระบวนการนี้ มีตัวแปรปรับกระบวนการ คือ วาล์วที่ทำหน้าที่ปรับการเปิดปิดวาล์ว เพื่อปรับให้ผลตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้มีผลตอบสนองตามค่าเป้าหมาย จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ผลตอบสนองของกระบวนการเป็นผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการ และกระบวนการบกพร่อง โดยสัญญาณรบกวนมาจากตัวแปรรบกวน คือ อัตราการใช้ของสารป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์

6.4 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน



รูปที่ 6.3 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

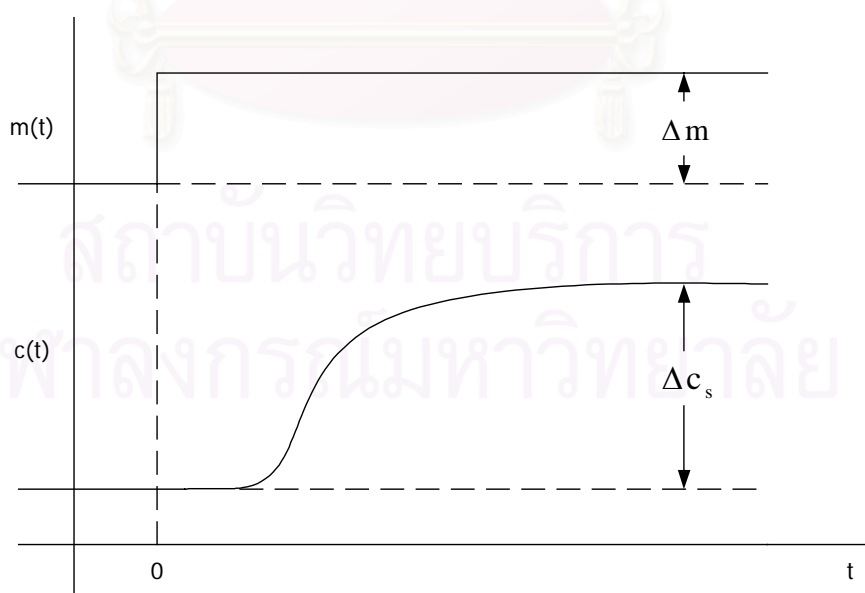
โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีในระบบนี้ มีตัวแปรปรับกระบวนการ คือ วาล์วที่ทำหน้าที่ปรับการเปิดปิดวาล์ว เพื่อปรับให้ผลตอบสนองของกระบวนการ คือ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้มีผลตอบสนองตามค่าเป้าหมาย จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของกระบวนการเป็นผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการ และกระบวนการรบกวน โดยสัญญาณรบกวนมาจากตัวแปรรบกวน คือ อัตราการไหลของของไหลในท่อเตาเผา

6.5 วิธีจูนตัวควบคุม

การจูนตัวควบคุมในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการทดสอบแบบสเตพ (Process Step Testing) ซึ่งมีขั้นตอนในการจูนตัวควบคุม ดังนี้

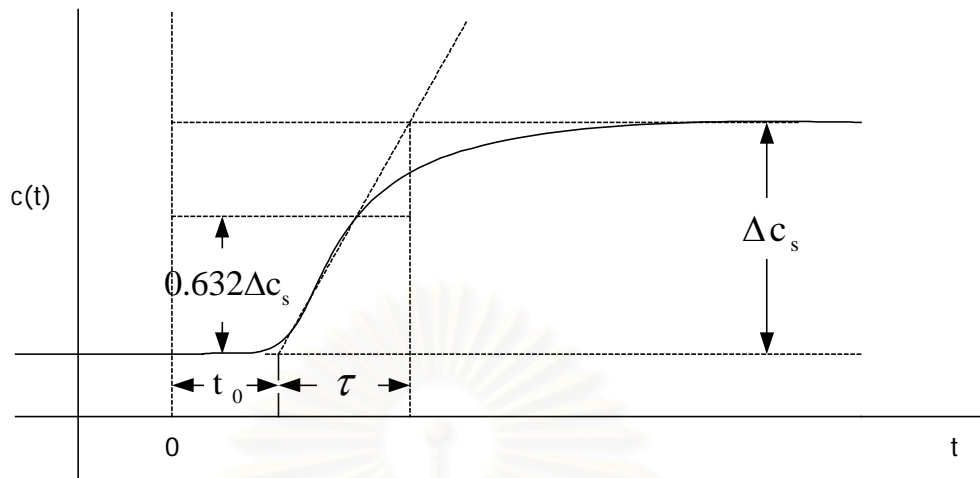
1. ปรับตัวควบคุมอยู่ในโหมดแมนนวล (manual) ให้สัญญาณควบคุมที่ออกจากตัวควบคุม (controller output signal, $m(t)$) มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเตพ
2. บันทึกผลตอบสนองของสัญญาณที่ออกจากทรานสมิตเตอร์, $c(t)$ จากนั้นพล็อต $c(t)$ กับเวลาตั้งแต่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเตพจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใหม่

ในระหว่างที่ทำการจูนตัวควบคุมโดยวิธีนี้ ในระบบจะไม่มีตัวรบกวนเข้ามารบกวนระบบเลย กราฟที่ได้จากการพล็อตนี้ เรียกว่า process reaction curve ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 Process reaction curve หรือ ผลตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากการทดสอบแบบสเตพ

3. หาค่าพารามิเตอร์ในการจูนตัวควบคุมจาก process reaction curve ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ผลตอบสนองจากการทดสอบสเตปเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูนตัวควบคุม

จากรูปที่ 6.5 จะได้ค่าพารามิเตอร์ในการจูนตัวควบคุม คือ t_0 และ τ ส่วนค่า K หาได้

จาก

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (6.3)$$

4. จากนั้นคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับ จากสูตรในตารางที่ 6.1 โดยวิธีของ Ziegler - Nichols (1942)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 สูตรการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
โดยวิธีของ Ziegler – Nichols

Controller Type	Proportional Gain, K_c	Integral Time, τ_I	Derivative Time, τ_D
Proportional-only, P	$\frac{1}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	-	-
Proportional-integral, PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	$3.33t_0$	-
Proportional-integral- Derivative, PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{t_0}{\tau} \right)^{-1}$	$2.0t_0$	$\frac{1}{2}t_0$

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบป้อนกลับวิธีนี้ ควรใช้โดยพิจารณาค่าของ t_0/τ ให้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.0 จึงจะเหมาะสม

บทที่ 7

โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล ผลการทดสอบการเลียนแบบกระบวนการของโปรแกรมที่พัฒนานี้กับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นิสิต นักศึกษา บุคลากรในภาคอุตสาหกรรม และผู้ที่สนใจสามารถใช้โปรแกรมสำหรับการเรียนรู้ พลวัตของการควบคุมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องทำการทดลองจริง

7.1 โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

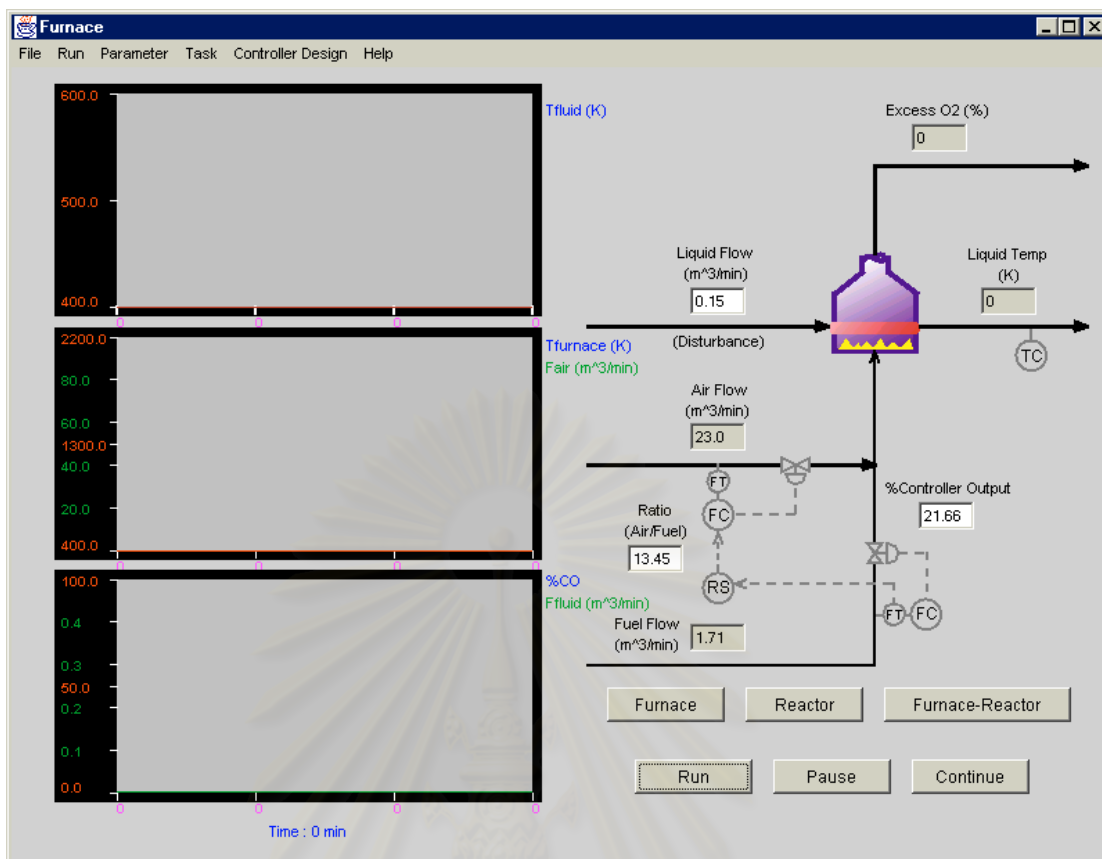
โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมนี้ ใช้ภาษาจาวา JDK 1.3.1 ในการพัฒนาโปรแกรม มีความต้องการทางด้านระบบ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium II ขึ้นไป หรือเทียบเท่า พร้อมหน่วยความจำอย่างน้อย 64 MB และเนื้อที่ว่างในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 MB ระบบปฏิบัติการที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ Window98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกันนี้ ประกอบด้วย 3 ไฟล์ คือ

1. โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา ไฟล์ Furnace.java
2. โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ไฟล์ Reactor.java
3. โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ไฟล์ FurnaceReactor.java

ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมทั้งสามโปรแกรมนี้ได้โดยทำการเรียกโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการในเตาเผาขึ้นมาทำงาน แล้วสามารถเลือกโปรแกรมอื่น ๆ ได้จากหน้าจอหลักของโปรแกรมใด ๆ ก็ได้ทั้งสามโปรแกรม โดยการกดปุ่มเลือกโปรแกรมได้ที่ปุ่ม “Furnace”, “Reactor” และ “Furnace - Reactor” ทางด้านล่างของหน้าจอหลัก เช่น เมื่อเข้าโปรแกรมเตาเผาแล้วจะสามารถเลือกโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ หรือระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ ได้ที่ปุ่ม “Reactor” และ “Furnace – Reactor” ตามลำดับ ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 การเลือกโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

7.2 โครงสร้างของโปรแกรม

โครงสร้างของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ส่วนการประมวลผล และส่วนแสดงผล ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

7.2.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

โครงสร้างของโปรแกรมในส่วนนี้เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่รับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผู้ใช้งาน และส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าสู่กระบวนการ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

7.2.1.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเตาเผา

เมื่อผู้ใช้ทำการประมวลผลโปรแกรมแล้ว จะปรากฏหน้าจอหลักของเตาเผา ดังรูปที่ 7.1 ซึ่งประกอบด้วย

- File
- Run
- Parameter
- Task
- Controller Design
- Help

สำหรับเมนูแต่ละเมนู ประกอบด้วยเมนูย่อย ดังนี้

เมนู “File” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Exit”

เมนู “Run” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Run”, “Pause” และ “Continue”

เมนู “Parameter” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Parameter”

เมนู “Task” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Change Process Disturbance”, “Change Controller Output”, “Change Set Point”, “Change Air/Fuel Ratio” และ “Change Measurement Noise”

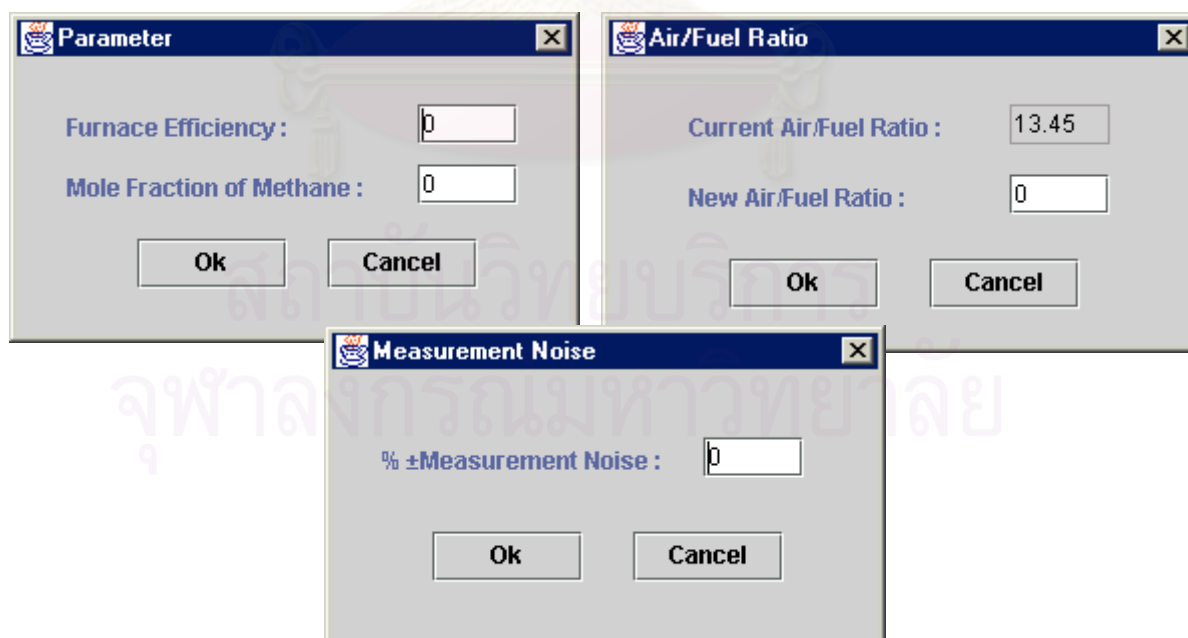
เมนู “Controller Design” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Manual Control” และ “PID Controller”

เมนู “Help” ประกอบด้วยเมนูย่อย “About”

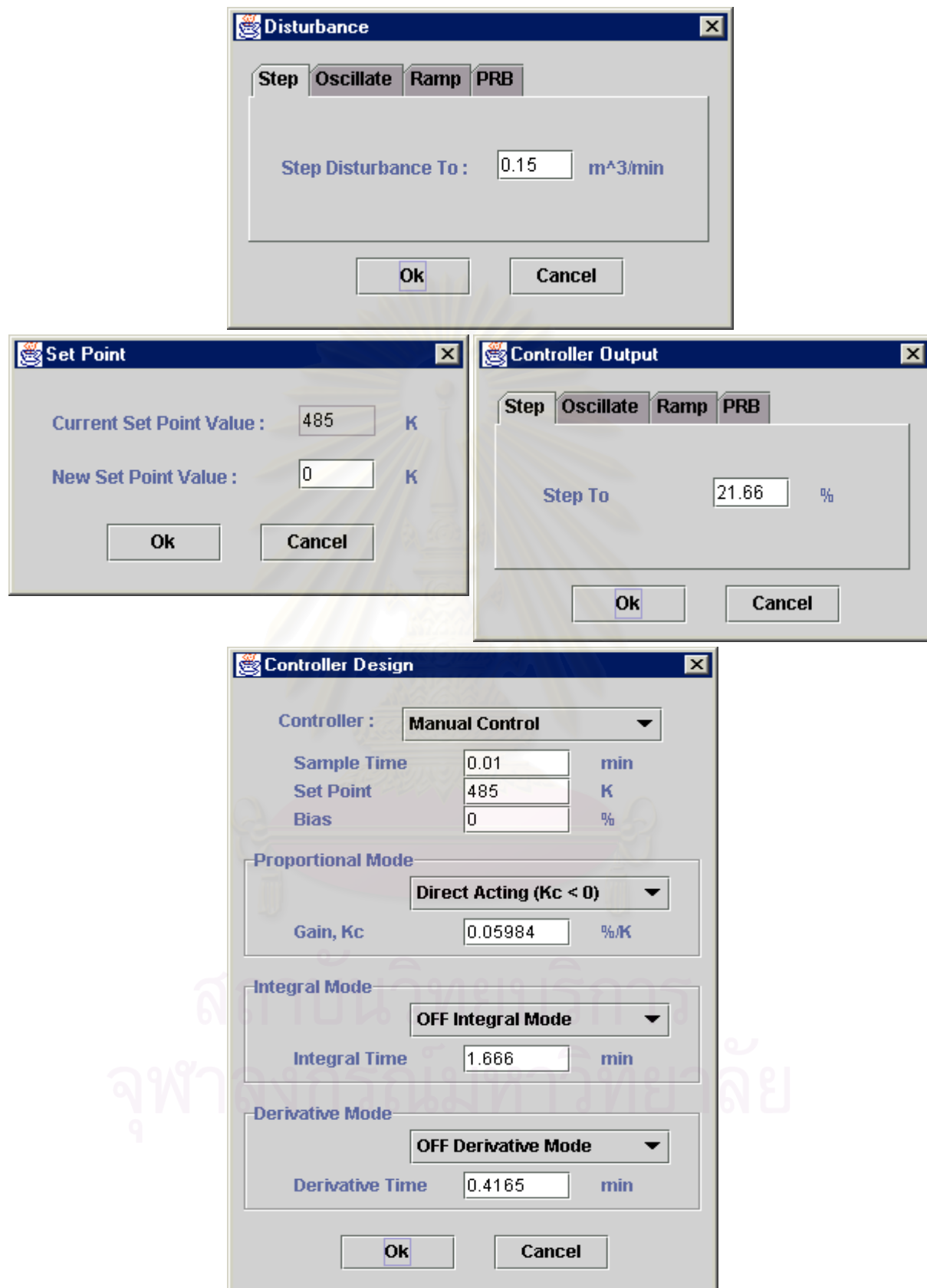
รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา ดูได้จากตารางที่ 7.1 และหน้าจอของเมนูย่อย แสดงได้ดังรูปที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา

เมนูย่อย	ผู้ใช้งานเลือกเมื่อต้องการที่จะ
“Exit”	ออกจากโปรแกรม
“Run”	ประมวลผลโปรแกรม
“Pause”	หยุดประมวลผลโปรแกรมชั่วคราว
“Continue”	ประมวลผลโปรแกรมต่อ
“Parameter”	กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ
“Change Process Disturbance”	เปลี่ยนแปลงค่าตัวรบกวนกระบวนการ
“Change Controller Output”	เปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุมที่มาจากตัวควบคุม
“Change Set Point”	เปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย
“Change Air/Fuel Ratio”	เปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง
“Change Measurement Noise”	เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์รบกวนการวัดตัวแปรกระบวนการ
“Manual Control”	เมื่อไม่ต้องการตัวควบคุม
“PID Controller”	กำหนดพารามิเตอร์ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี
“About”	บอกถึงชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม และอาจารย์ที่ปรึกษา



รูปที่ 7.2 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา



รูปที่ 7.3 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเตาเผา (ต่อ)

7.2.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในเครื่องปฏิบัติการถึงกวนแบบต่อเนื่อง

เมื่อผู้ใช้เลือกโปรแกรมเครื่องปฏิบัติการถึงกวนแบบต่อเนื่องแล้ว จะปรากฏหน้าจอหลักของโปรแกรมเครื่องปฏิบัติการถึงกวนแบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 7.4 ซึ่งประกอบด้วยเมนู

- File
- Run
- Task
- Controller Design
- Help

สำหรับเมนูแต่ละเมนู ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

เมนู “File” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Exit”

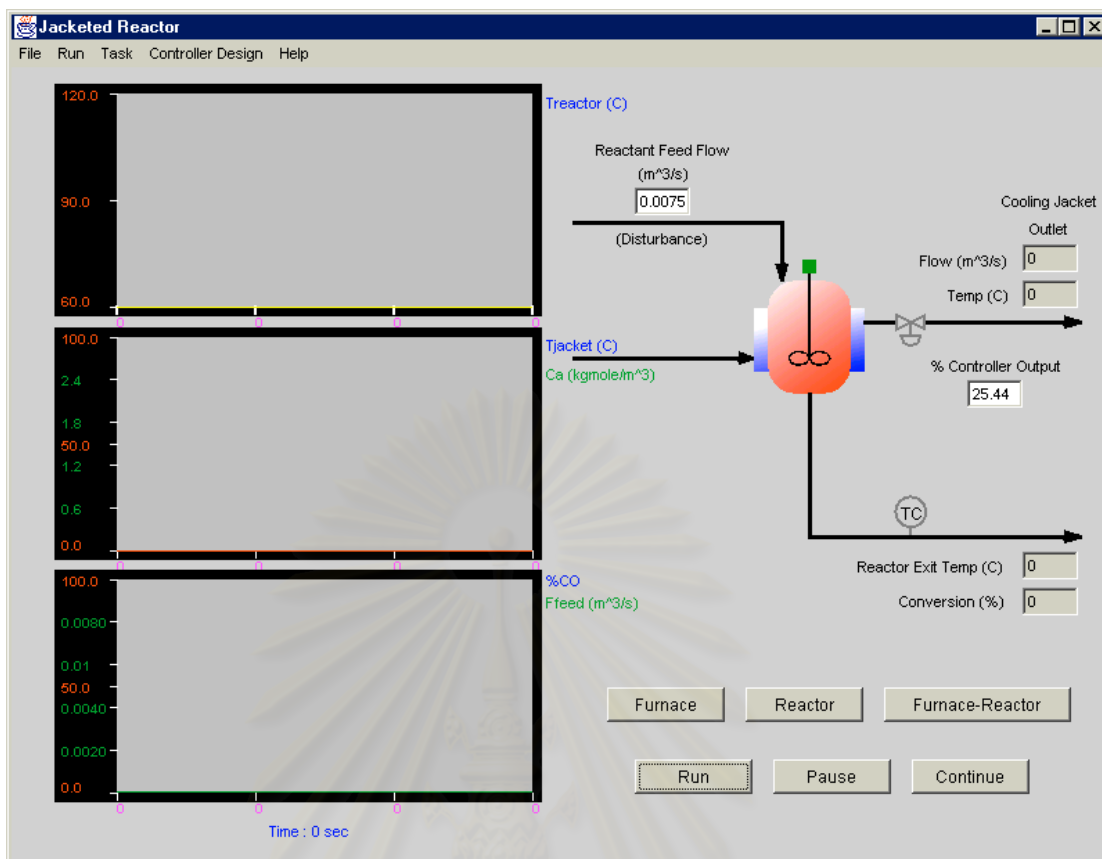
เมนู “Run” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Run”, “Pause” และ “Continue”

เมนู “Task” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Change Process Disturbance”, “Change Controller Output”, “Change Set Point” และ “Change Measurement Noise”

เมนู “Controller Design” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Manual Control” และ “PID Controller”

เมนู “Help” ประกอบด้วยเมนูย่อย “About”

รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิบัติการถึงกวนแบบต่อเนื่อง ดูได้จากตารางที่ 7.2 และหน้าจอของเมนูย่อย แสดงดังรูปที่ 7.5

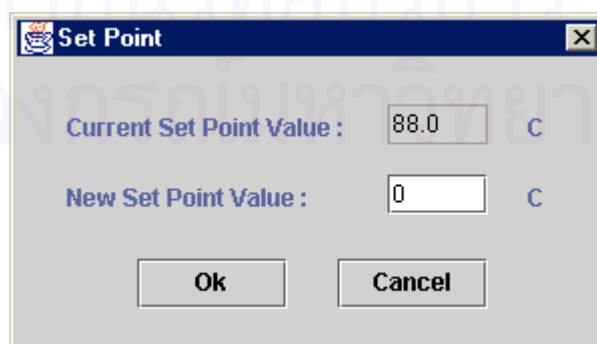
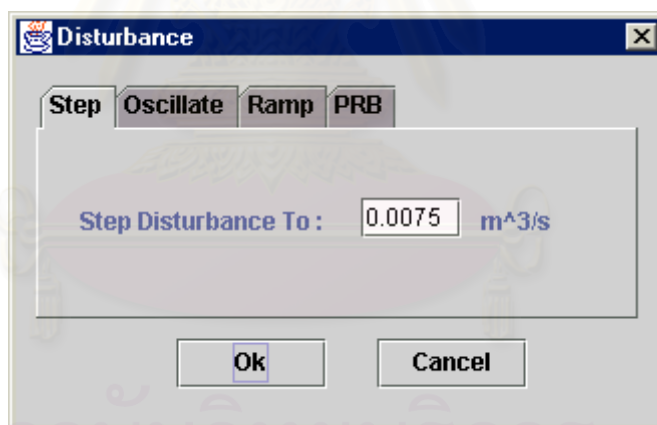


รูปที่ 7.4 โปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

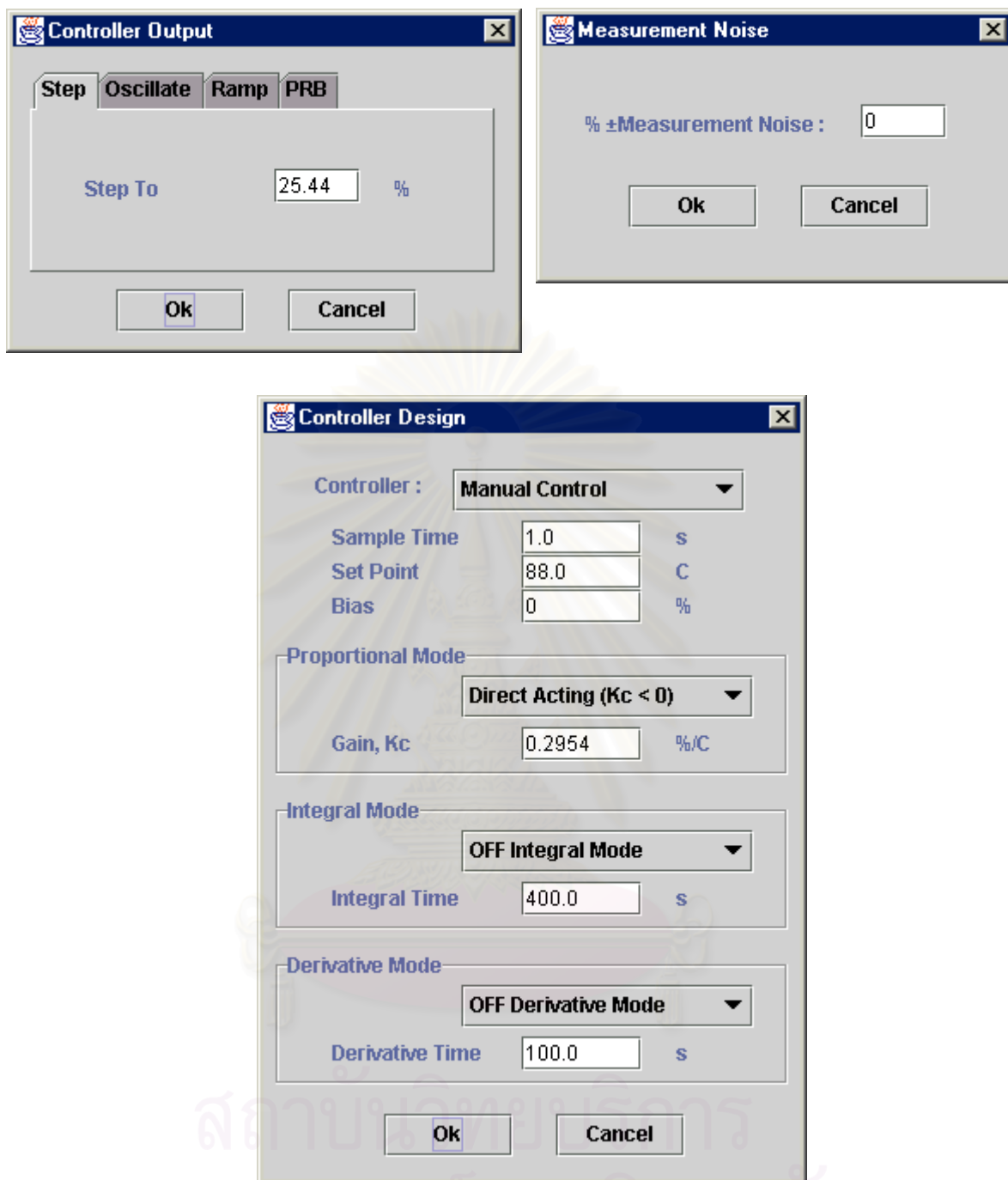
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.2 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง

เมนูย่อย	ผู้ใช้งานเลือกเมื่อต้องการที่จะ
“Exit”	ออกจากโปรแกรม
“Run”	ประมวลผลโปรแกรม
“Pause”	หยุดประมวลผลโปรแกรมชั่วคราว
“Continue”	ประมวลผลโปรแกรมต่อ
“Change Process Disturbance”	เปลี่ยนแปลงค่าตัวรบกวนกระบวนการ
“Change Controller Output”	เปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุมที่มาจากตัวควบคุม
“Change Set Point”	เปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย
“Change Measurement Noise”	เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์รบกวนการวัดตัวแปรกระบวนการ
“Manual Control”	เมื่อไม่ต้องการตัวควบคุม
“PID Controller”	กำหนดพารามิเตอร์ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี
“About”	บอกถึงชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม และอาจารย์ที่ปรึกษา



รูปที่ 7.5 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 7.6 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง (ต่อ)

7.2.1.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

เมื่อผู้ใช้งานทำการประมวลผลโปรแกรมแล้ว จะปรากฏหน้าจอหลักของระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ดังรูปที่ 7.7 ซึ่งประกอบด้วยเมนู

- File
- Run
- Parameter
- Task
- Controller Design
- Help

สำหรับเมนูแต่ละเมนู ประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

เมนู “File” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Exit”

เมนู “Run” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Run”, “Pause” และ “Continue”

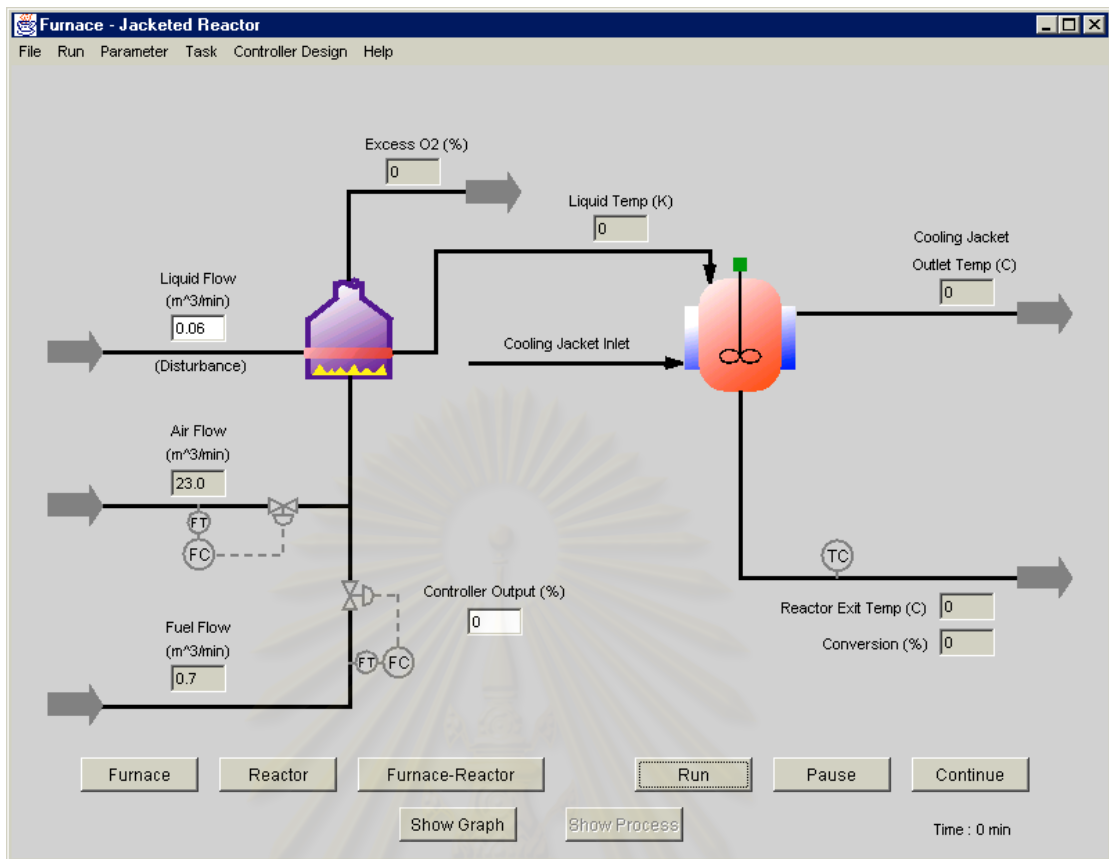
เมนู “Parameter” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Parameter”

เมนู “Task” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Change Process Disturbance”, “Change Controller Output”, “Change Set Point” และ “Change Measurement Noise”

เมนู “Controller Design” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Manual Control” และ “PID Controller”

เมนู “Help” ประกอบด้วยเมนูย่อย “About”

รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกันได้จากตารางที่ 7.3 และหน้าจอของเมนูย่อยแสดงได้ดังรูปที่ 7.8

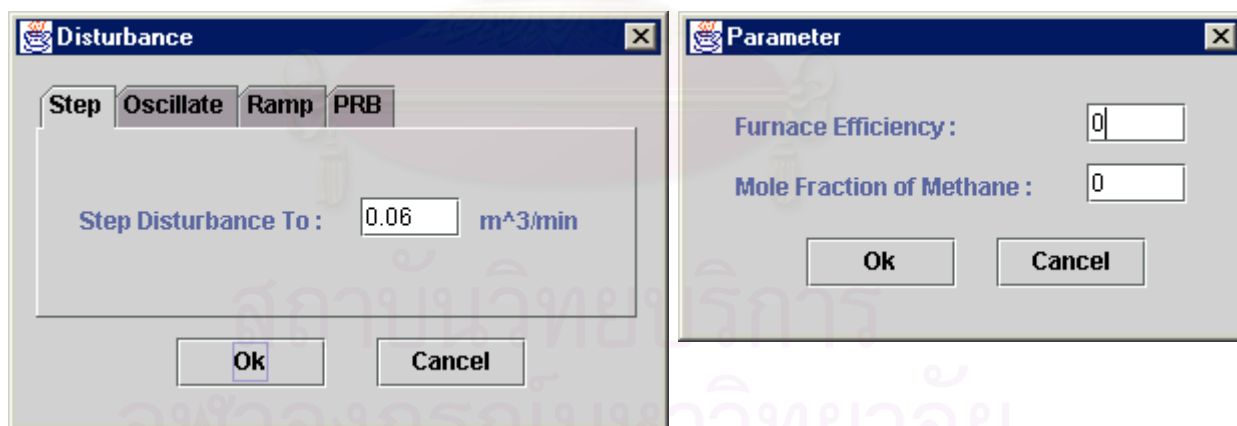


รูปที่ 7.7 โปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

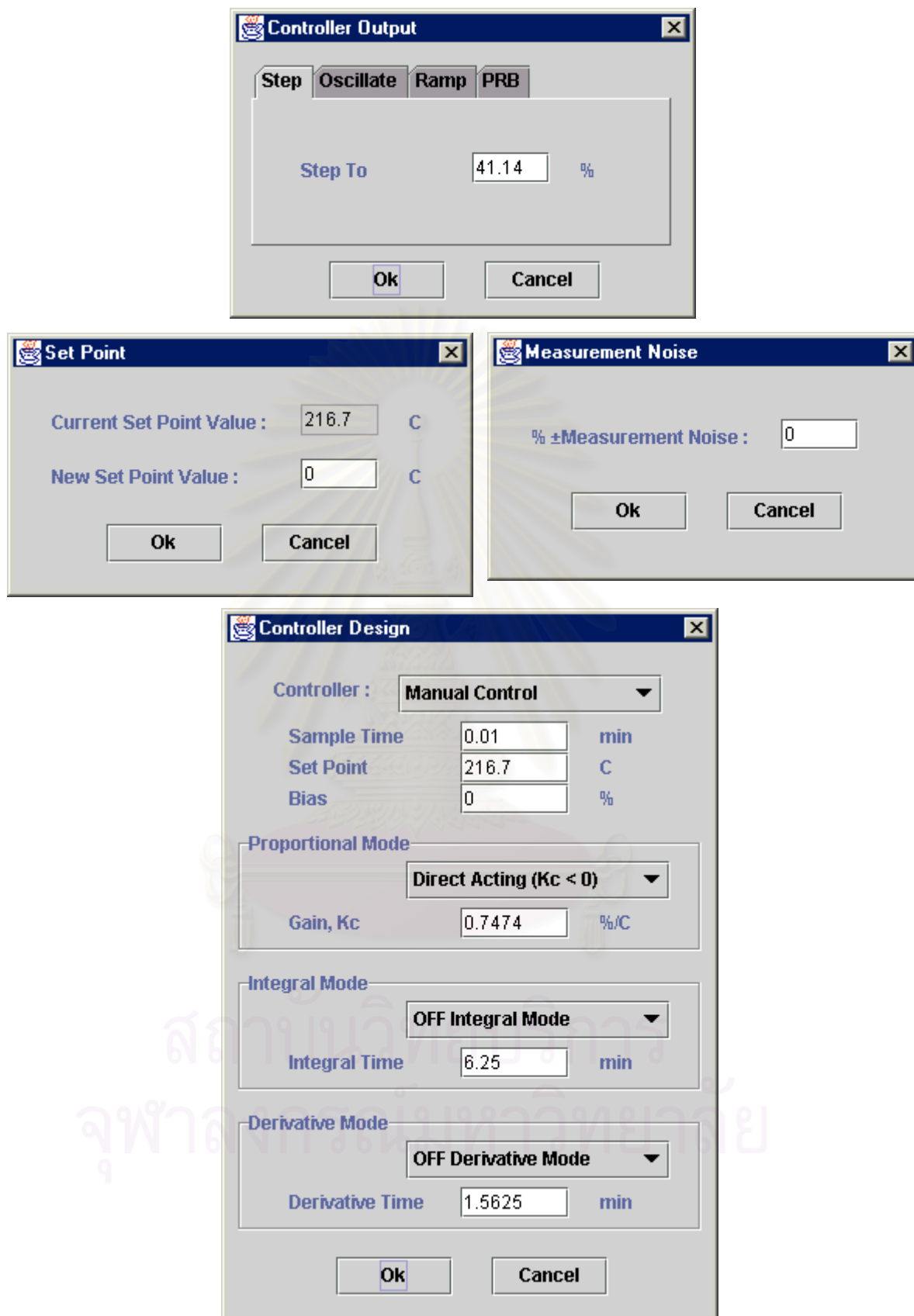
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.3 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

เมนูย่อย	ผู้ใช้ทำการเลือกเมื่อต้องการที่จะ
“Exit”	ออกจากโปรแกรม
“Run”	ประมวลผลโปรแกรม
“Pause”	หยุดประมวลผลโปรแกรมชั่วคราว
“Continue”	ประมวลผลโปรแกรมต่อ
“Parameter”	กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ
“Change Process Disturbance”	เปลี่ยนแปลงค่าตัวรบกวนกระบวนการ
“Change Controller Output”	เปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุมที่มาจากตัวควบคุม
“Change Set Point”	เปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย
“Change Measurement Noise”	เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์รบกวนการวัดตัวแปรกระบวนการ
“Manual Control”	เมื่อไม่ต้องการตัวควบคุม
“PID Controller”	กำหนดพารามิเตอร์ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี
“About”	บอกถึงชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม และอาจารย์ที่ปรึกษา



รูปที่ 7.8 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน



รูปที่ 7.9 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องต่อกัน (ต่อ)

7.2.2 ส่วนการประมวลผล

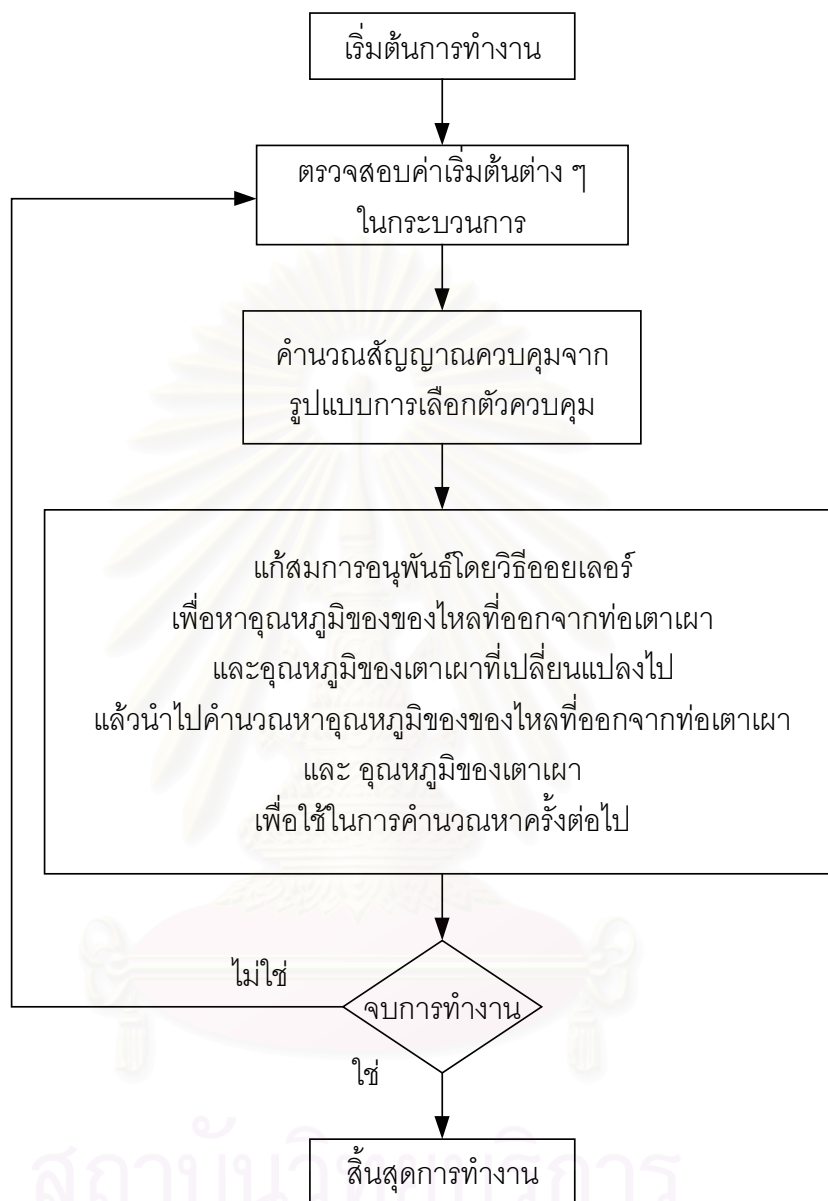
ส่วนประมวลผลนี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณหาผลตอบสนองของกระบวนการ หรือตัวแปรกระบวนการจากการเลียนแบบกระบวนการหลังจากที่ผู้ใช้ป้อนพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้าไปในโปรแกรม และเลือกเมนูย่อย “Run” หรือกดปุ่ม “Run” จากหน้าจอหลักในโปรแกรม ถ้าผู้ใช้ไม่ทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ โปรแกรมจะใช้ค่า default โดยอัตโนมัติหลังจากเลือกเมนูย่อย “Run” หรือกดปุ่ม “Run”

7.2.2.1 ลำดับขั้นตอนในการคำนวณโปรแกรมเตาเผา

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณในโปรแกรมเตาเผา เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์กระบวนการ ชนิดและขนาดของตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ กำหนดโมดการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ควบคุมแล้ว จะทำให้สามารถคำนวณพลวัตการตอบสนองการควบคุมกระบวนการได้จากการดูลมวลสาร และดุลพลังงาน โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบตัวแปรกระบวนการ หรือผลตอบสนองของกระบวนการ
2. ใส่ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ
3. ใส่ค่าตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของไหลในท่อเตาเผา
4. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุม โดยใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม
5. คำนวณอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา และอุณหภูมิเตาเผาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทำการดูลมวลสารและดุลพลังงานรอบเตาเผา แก๊สการอนุพันธ์โดยใช้วิธีของออยเลอร์
6. คำนวณอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา และอุณหภูมิเตาเผาใหม่ได้จากอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา และอุณหภูมิเตาเผาพร้อมกับอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา และอุณหภูมิเตาเผาที่เปลี่ยนแปลงไป
7. คำนวณซ้ำโดยวิธีเดียวกันจากข้อ 1 ถึงข้อ 6 ตามลำดับ

โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเตาเผา แสดงได้ดังรูปที่ 7.10



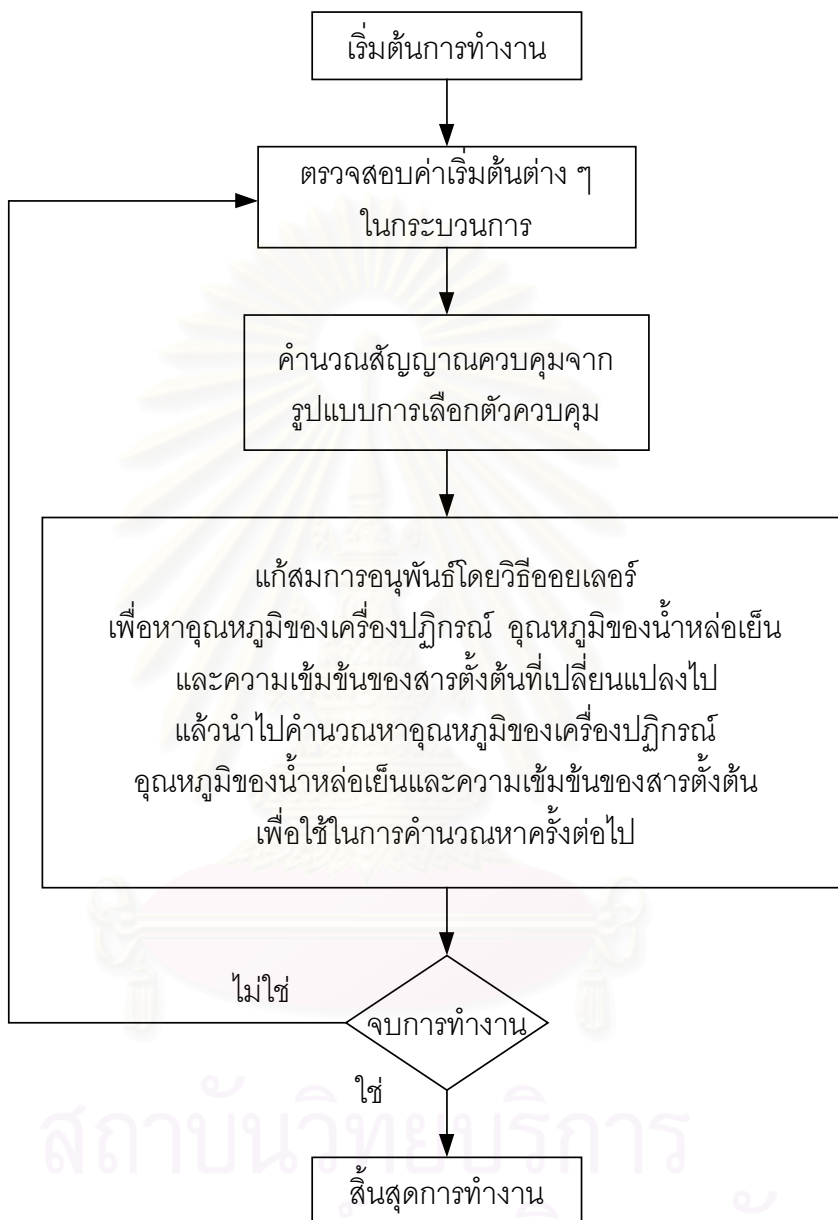
รูปที่ 7.10 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเตาเผา

7.2.2.2 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์กระบวนการ ชนิดและขนาดของตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ กำหนดโมดการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ควบคุมแล้ว จะทำให้สามารถคำนวณพลวัตการตอบสนองของการควบคุมกระบวนการได้จากการดูสมวลสาร และดุลพลังงาน โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบตัวแปรกระบวนการ หรือผลตอบสนองของกระบวนการ
2. ใส่ค่าตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์
3. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุม โดยใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม
4. คำนวณอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทำการดูสมวลสารและดุลพลังงานรอบเครื่องปฏิกรณ์ แก๊สการอนุพันธ์โดยใช้วิธีของออยเลอร์
5. คำนวณอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นใหม่ได้จากอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นรวมกับอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงไป
6. คำนวณซ้ำโดยวิธีเดียวกันจากข้อ 1 ถึงข้อ 6 ตามลำดับ

โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง แสดงได้ดังรูปที่ 7.11



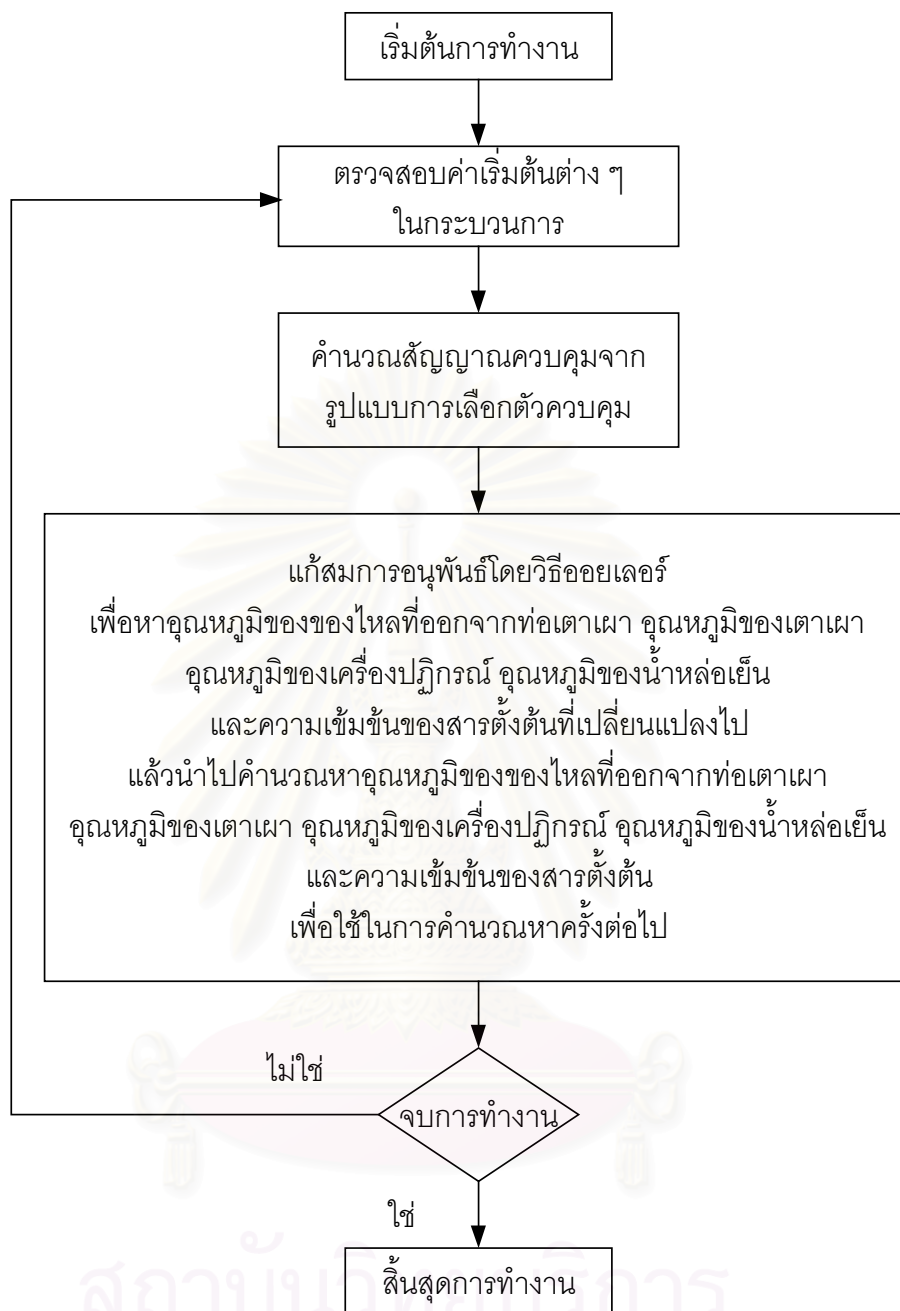
รูปที่ 7.11 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

7.2.2.3 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์กระบวนการ ชนิดและขนาดของตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ กำหนดโมดการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ควบคุมแล้ว จะทำให้สามารถคำนวณพลวัตการตอบสนองการควบคุมกระบวนการได้จากการดูมวลสาร และดุลพลังงาน โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบตัวแปรกระบวนการ หรือผลตอบสนองของกระบวนการ
2. ใส่ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ
3. ใส่ค่าตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของไหลภายในท่อเตาเผา
4. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุม โดยใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม
5. คำนวณอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทำการดูมวลสารและดุลพลังงานรอบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ แก๊สสมการอนุพันธ์โดยใช้วิธีของออยเลอร์ โดยอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา จะเป็นอุณหภูมิของสายป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์
6. คำนวณอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นใหม่ได้จากอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นรวมกับอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงไป
7. คำนวณซ้ำโดยวิธีเดียวกันจากข้อ 1 ถึงข้อ 6 ตามลำดับ

ไฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน แสดงได้ดังรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์
ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

7.2.3 ส่วนแสดงผล

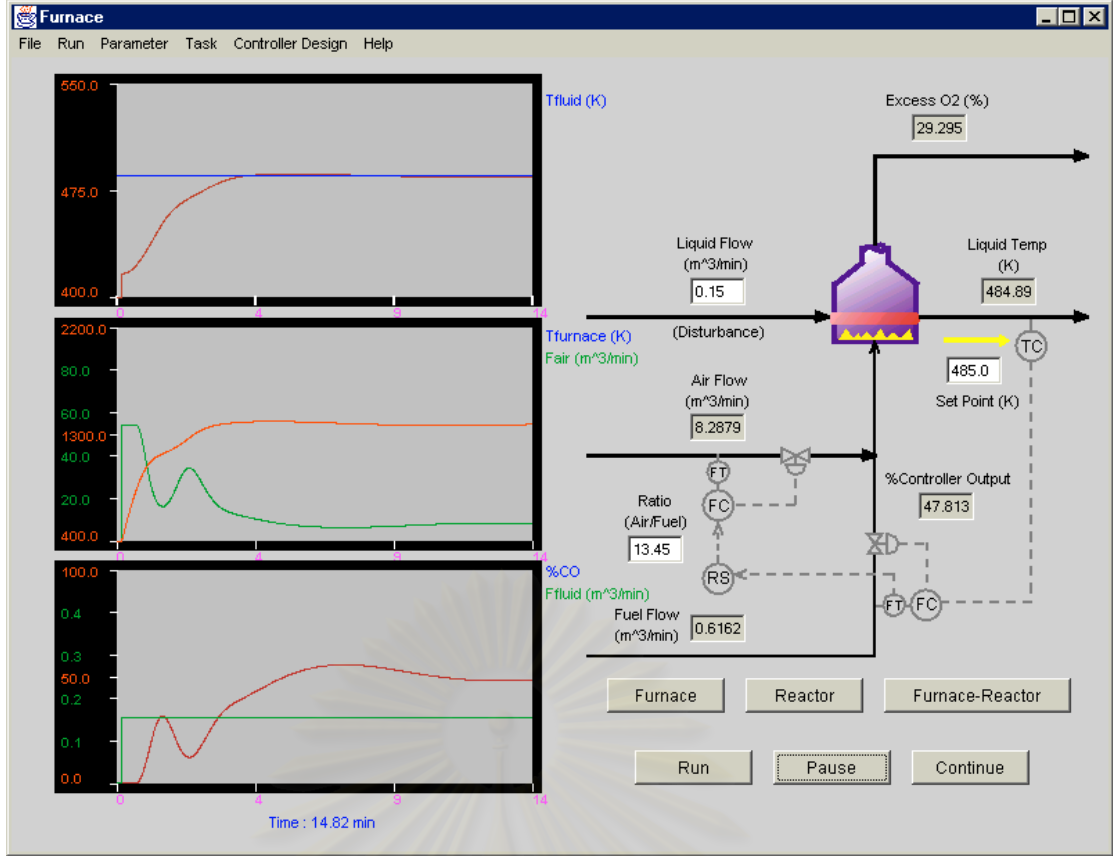
ส่วนแสดงผล เป็นส่วนที่แสดงผลที่ได้จากส่วนประมวลผล ประกอบด้วยผลของการเลียนแบบกระบวนการเมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม ซึ่งในแต่ละโปรแกรมจะมีหน้าจอลหลักเป็นหน้าแสดงผล

7.2.3.1 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมเตาเผา

ในโปรแกรมเตาเผาจะแสดงผลการเลียนแบบกระบวนการด้วยค่าที่เป็นตัวเลข รูปภาพ และกราฟ แสดงตำแหน่งการเปิดปิดวาล์ว และค่าเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 7.13



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

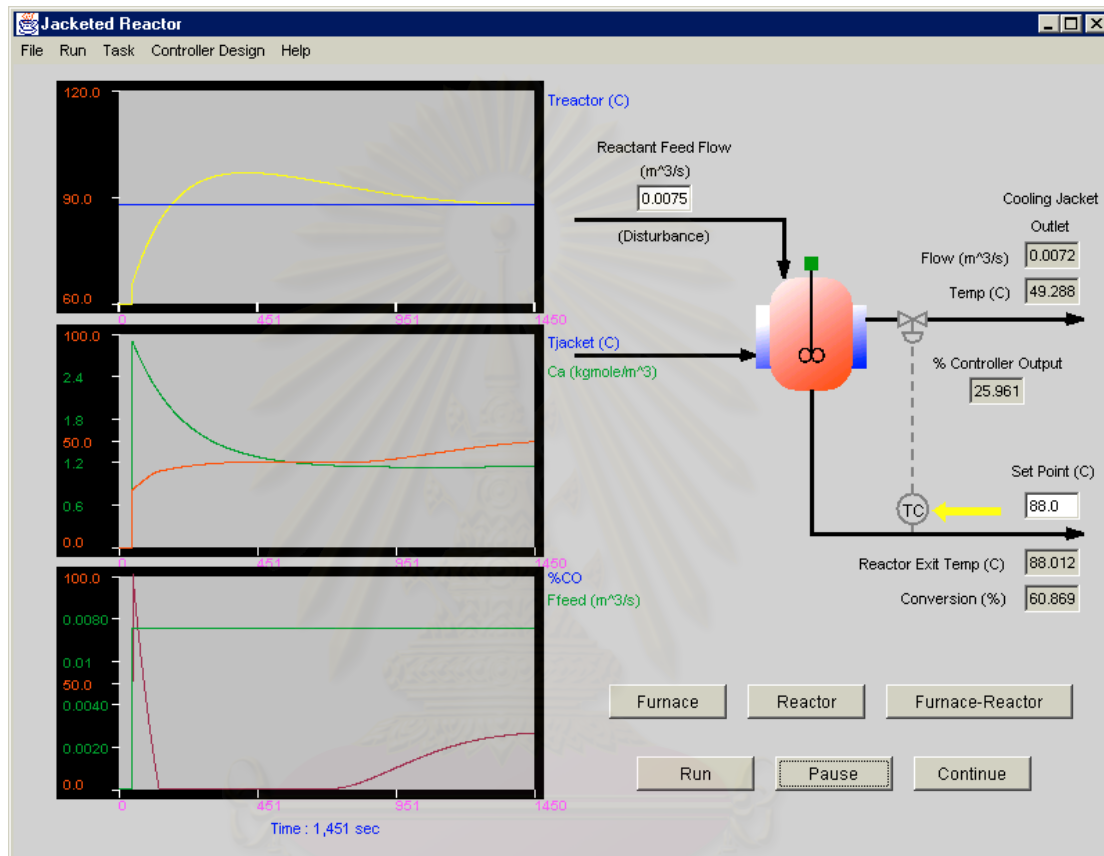


รูปที่ 7.13 การแสดงผลด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟของโปรแกรมเตาเผา

รูปที่ 7.13 จะแสดงกราฟ 3 กราฟ กราฟด้านบนแสดงค่าอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาและค่าเป้าหมายเมื่อมีการควบคุม กราฟด้านล่างลงมาแสดงอุณหภูมิของเตาเผาและกราฟด้านล่างสุดแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรปรับกระบวนการ และค่าตัวแปรกระบวนการ

7.2.3.2 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกระบวนการด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟ แสดงตำแหน่งการเปิดปิดวาล์ว และค่าเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 7.14

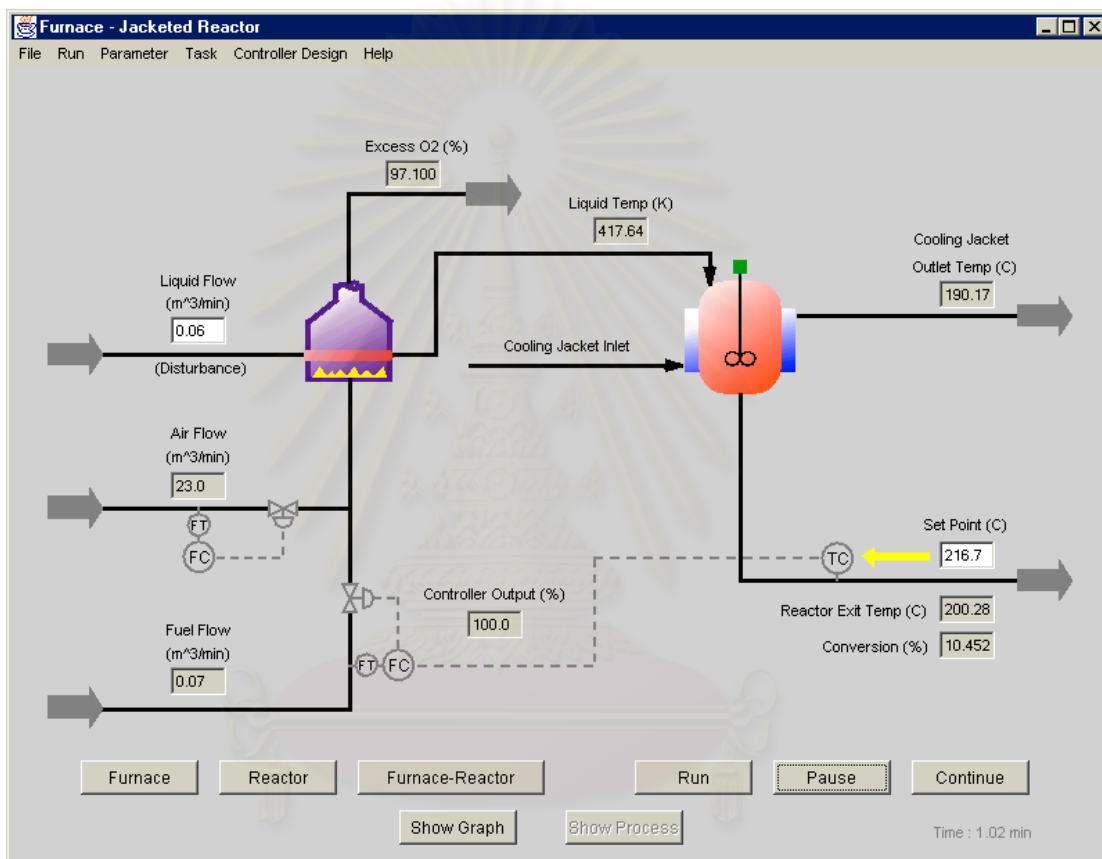


รูปที่ 7.14 การแสดงผลด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟของโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 7.14 จะแสดงกราฟ 3 กราฟ โดยกราฟด้านบนสุดแสดงอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ และค่าเป้าหมายเมื่อมีการควบคุม กราฟด้านล่างลงมาแสดงอุณหภูมิของแจ็กเก็ตเกิดและความเข้มข้นของสารตั้งต้น กราฟด้านล่างสุดแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรปรับกระบวนการ และค่าตัวรวมกระบวนการ

7.2.3.3 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

ในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงระบบด้วยรูปภาพ ค่าที่เป็นตัวเลข และกราฟ แสดงตำแหน่งการเปิดปิด วาล์วและค่าเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 7.15 และรูปที่ 7.16 ตามลำดับ



รูปที่ 7.15 การแสดงผลด้วยรูปภาพ และค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน



รูปที่ 7.16 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

รูปที่ 7.16 จะแสดงกราฟ 6 กราฟ โดยกราฟทางด้านบนสุดซ้ายมือแสดงอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา กราฟทางด้านบนสุดขวามือแสดงอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์และค่าเป้าหมายเมื่อมีการควบคุม กราฟด้านล่างลงมาทางซ้ายมือแสดงอุณหภูมิของเตาเผา และกราฟด้านล่างลงมาทางขวามือแสดงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น กราฟด้านล่างสุดทางซ้ายมือแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรปรับกระบวนการ และกราฟด้านล่างสุดทางขวามือแสดงค่าตัวแปรกระบวนการ

7.3 ผลการทดสอบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมที่ได้พัฒนาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นนี้แบ่งเป็นกรณีศึกษา 3 กรณี โดยในแต่ละกรณีศึกษาได้ทำผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย และตัวรบกวนกระบวนการ ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 เต่าเผา

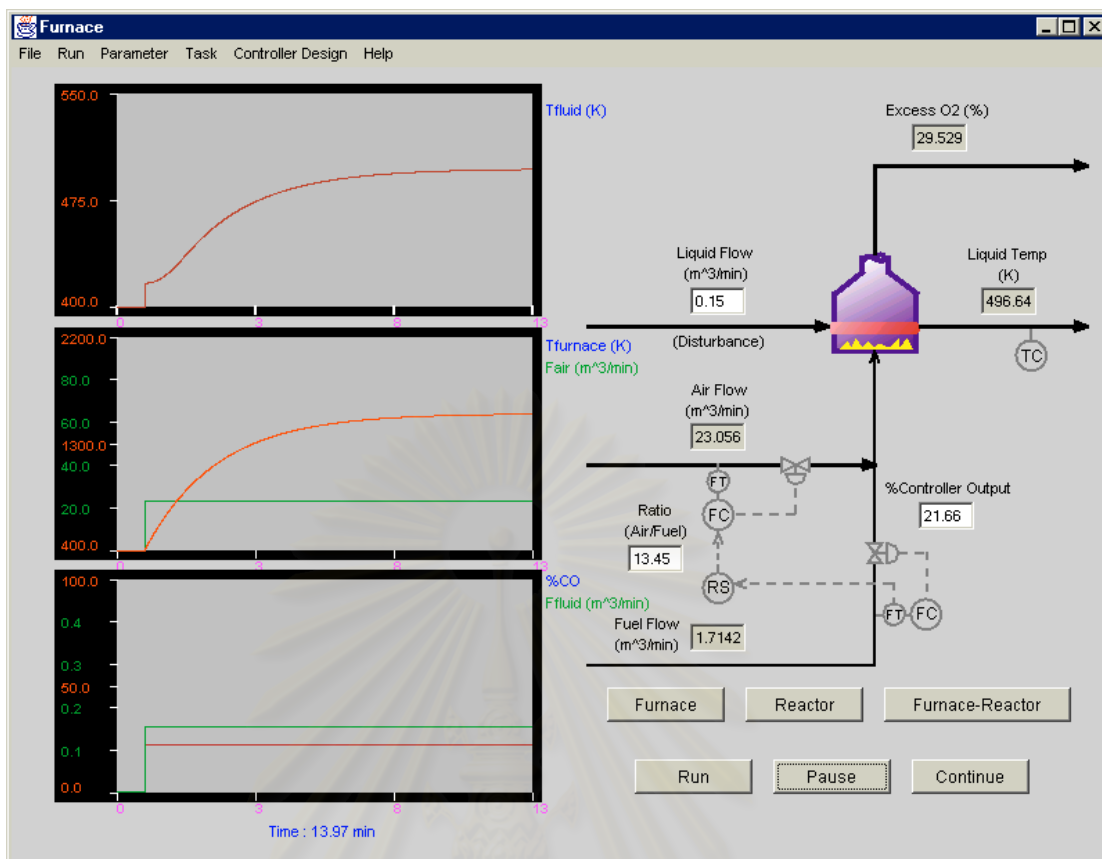
กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

กรณีศึกษาที่ 3 ระบบเต่าเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบเพื่อดูแนวโน้มผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนากับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ คือ โปรแกรม Matlab ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเชิงพาณิชย์นี้ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นได้ว่ารูปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาควบคู่กัน

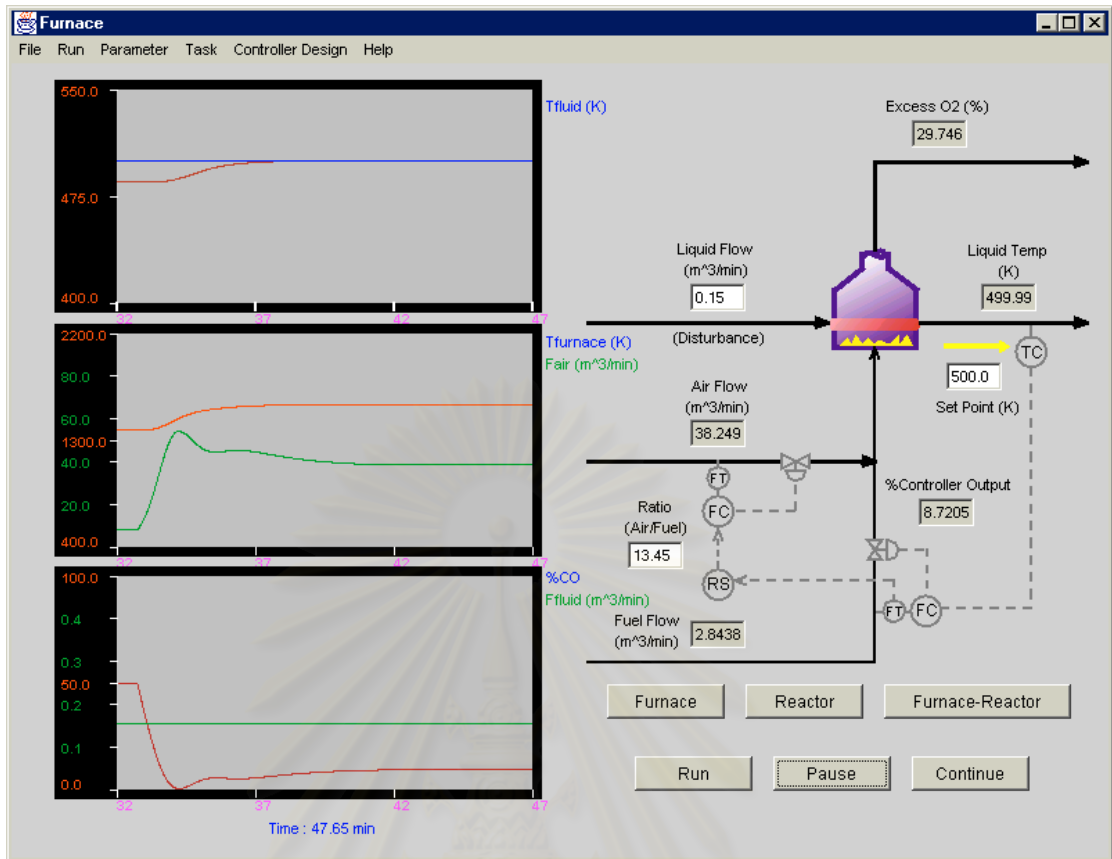
7.3.1 กรณีศึกษาที่ 1 เต่าเผา

ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบเต่าเผา โดยผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ คือ ประสิทธิภาพของเต่าเผา = 0.8712 และสัดส่วนโดยโมลของก๊าซมีเทนในเชื้อเพลิง = 1.0 กำหนดให้ตัวรบกวนกระบวนการมีค่าเป็น $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของเชื้อเพลิงมีค่าเป็น 13.45 และตัวแปรปรับกระบวนการมีค่าเป็น 21.66% ได้ผลการเลียนแบบกระบวนการ ดังรูปที่ 7.17

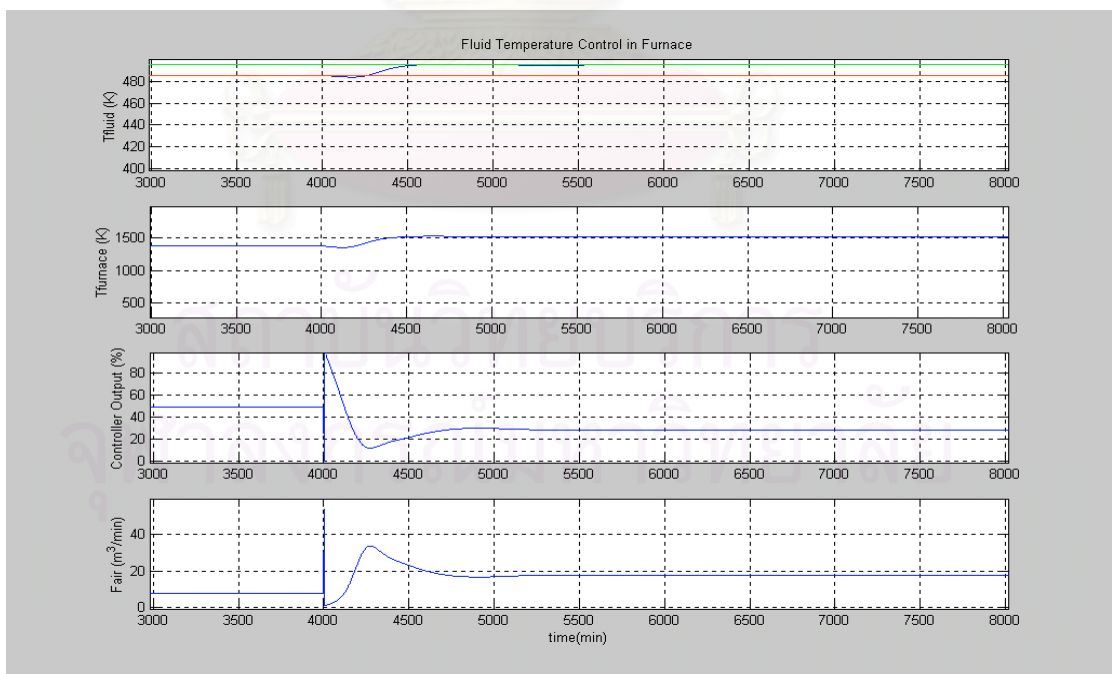


รูปที่ 7.17 ผลการเลียนแบบเตาเผา

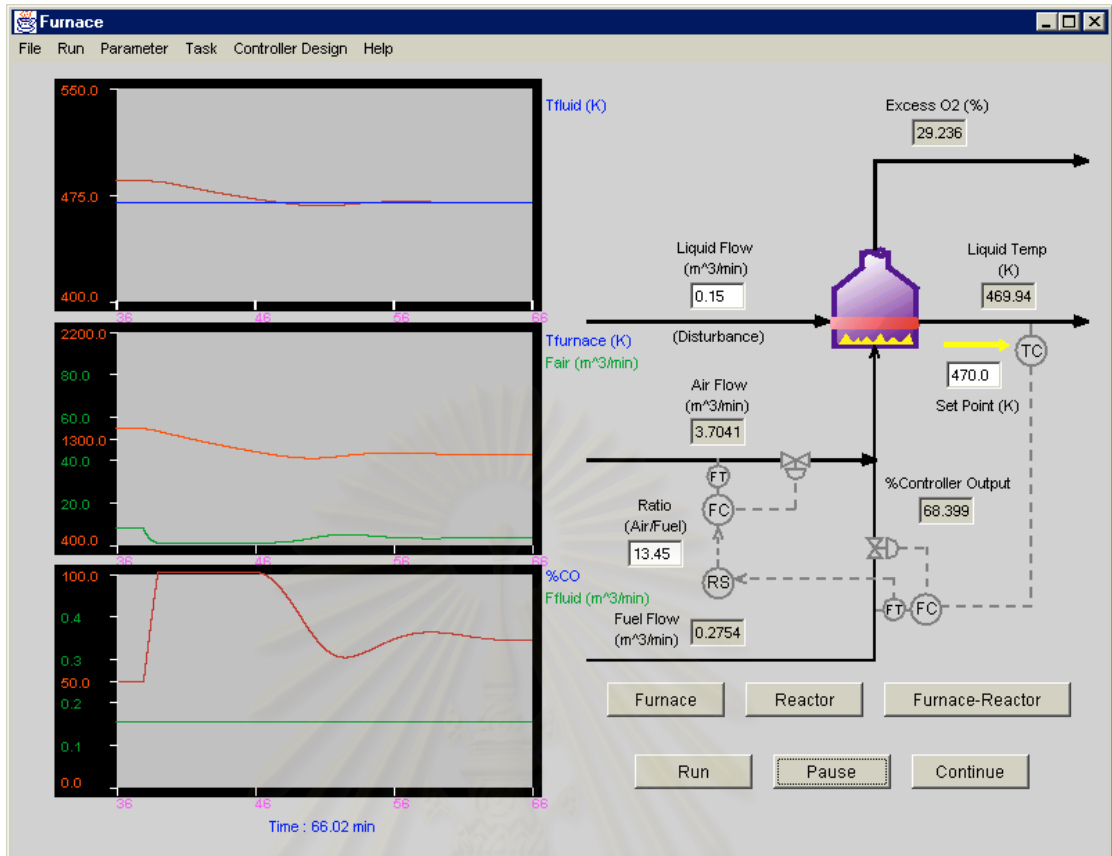
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ คือ ประสิทธิภาพของเตาเผา = 0.8712 สัดส่วนโดยโมลของก๊าซมีเทนในเชื้อเพลิง = 1.0 อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของเชื้อเพลิง = 13.45 และตัวรบกวนกระบวนการเท่ากับ $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ ที่สถานะคงตัวก่อนทำการควบคุมอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากรถเตาเผา เท่ากับ 496.64 K ปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมกระบวนการโดยวิธีทดสอบสเตป ได้ค่าพารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการ คือ $K_c = -0.05984$, $\tau_i = 1.666$ และ $\tau_d = 0.4165$ โดยกำหนดให้ ค่าเป้าหมายเท่ากับ 485 K ซึ่งสามารถให้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายได้ดังรูปที่ 7.18 และรูปที่ 7.20 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อปรับตัวรบกวนกระบวนการได้ดังรูปที่ 7.22 และรูปที่ 7.24 และผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแสดงได้ดังรูปที่ 7.26 และรูปที่ 7.28 ส่วนผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Matlab แสดงได้ดังรูปที่ 7.19, รูปที่ 7.21, รูปที่ 7.23, รูปที่ 7.25, รูปที่ 7.27 และรูปที่ 7.29 ตามลำดับ



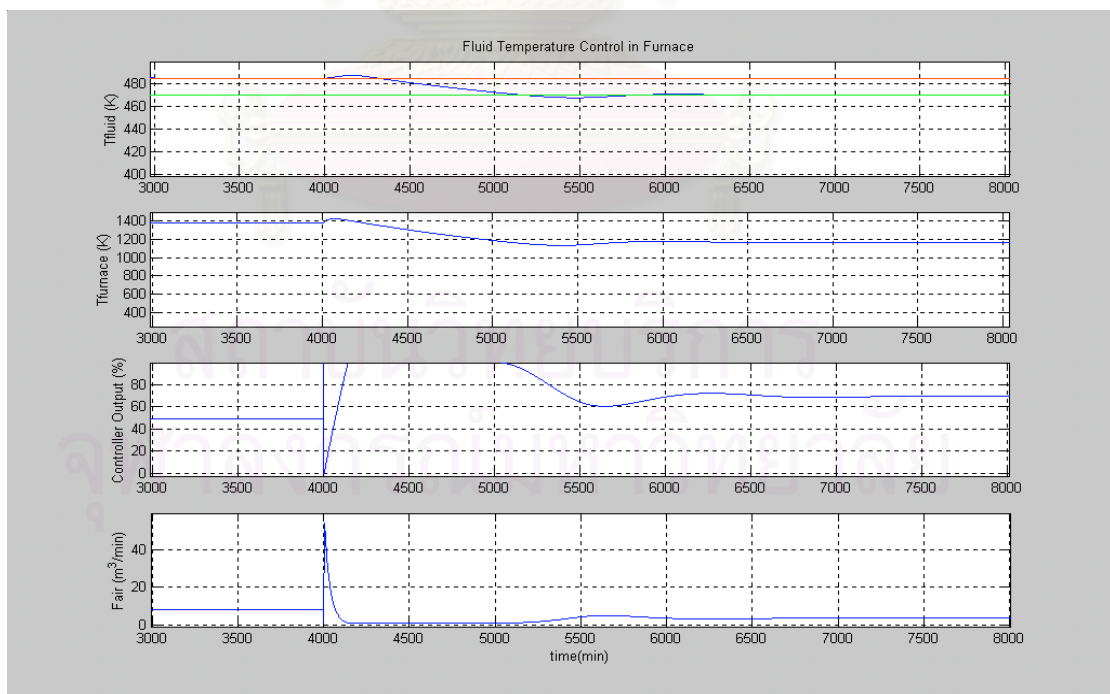
รูปที่ 7.18 ผลการเดินแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 15 K



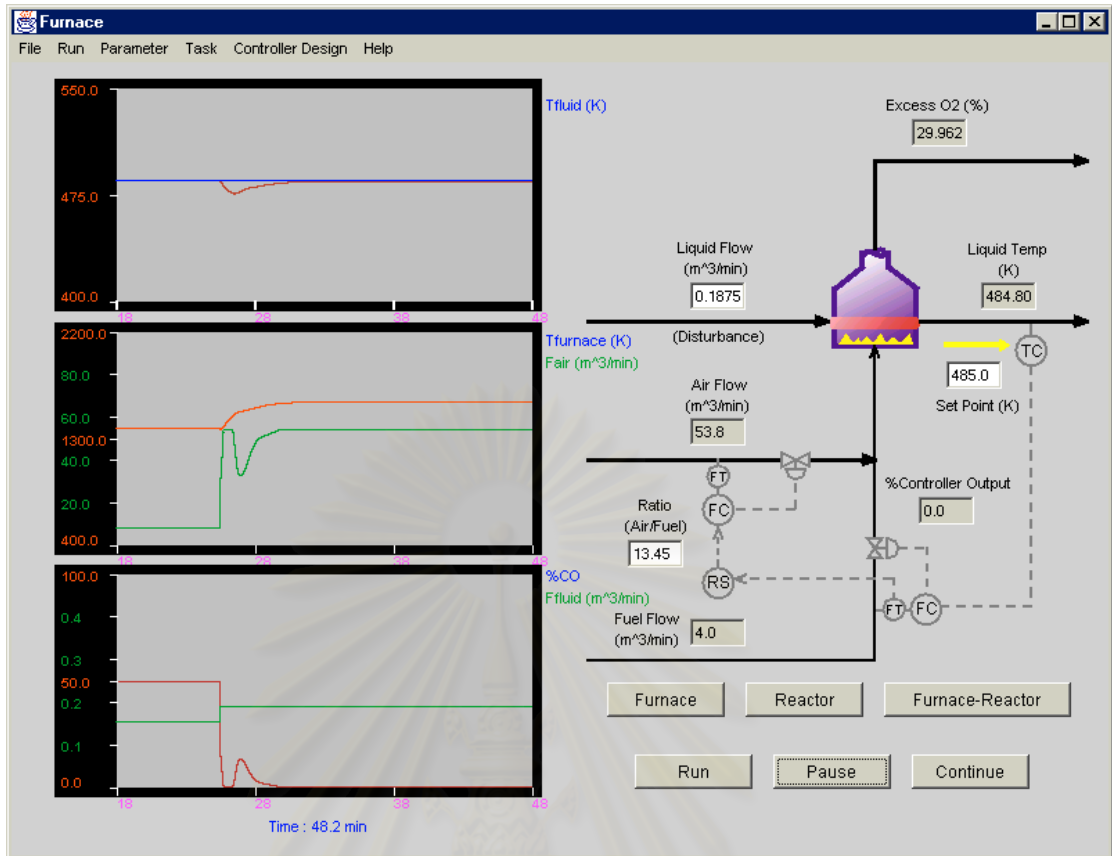
รูปที่ 7.19 ผลการเดินแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 15 K



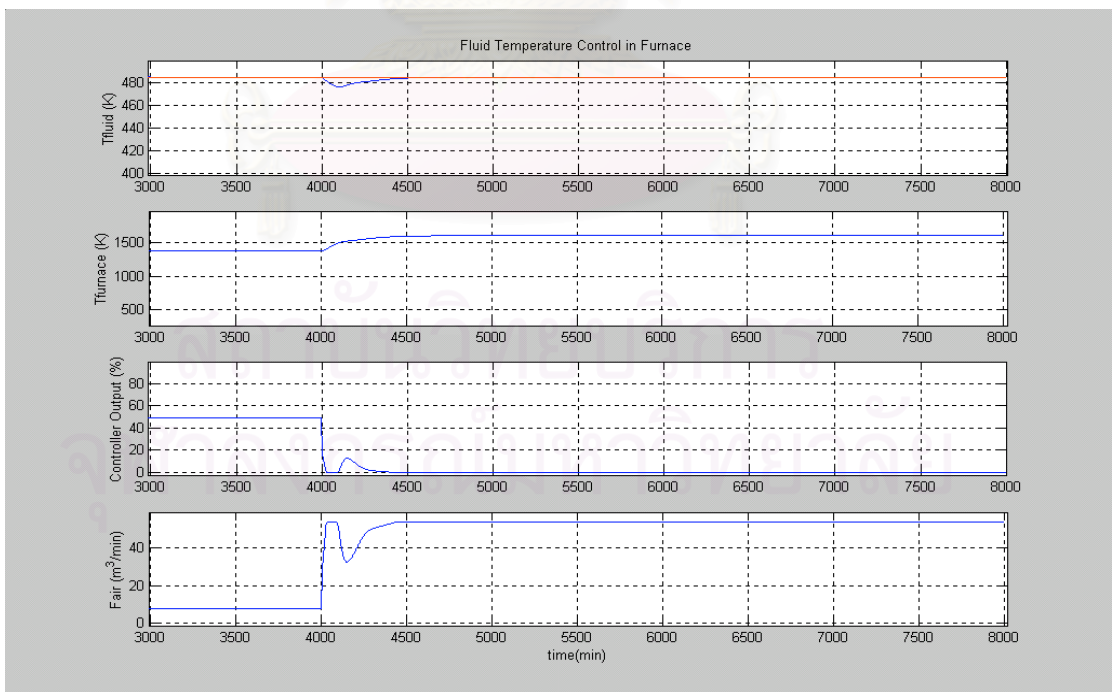
รูปที่ 7.20 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 15 K



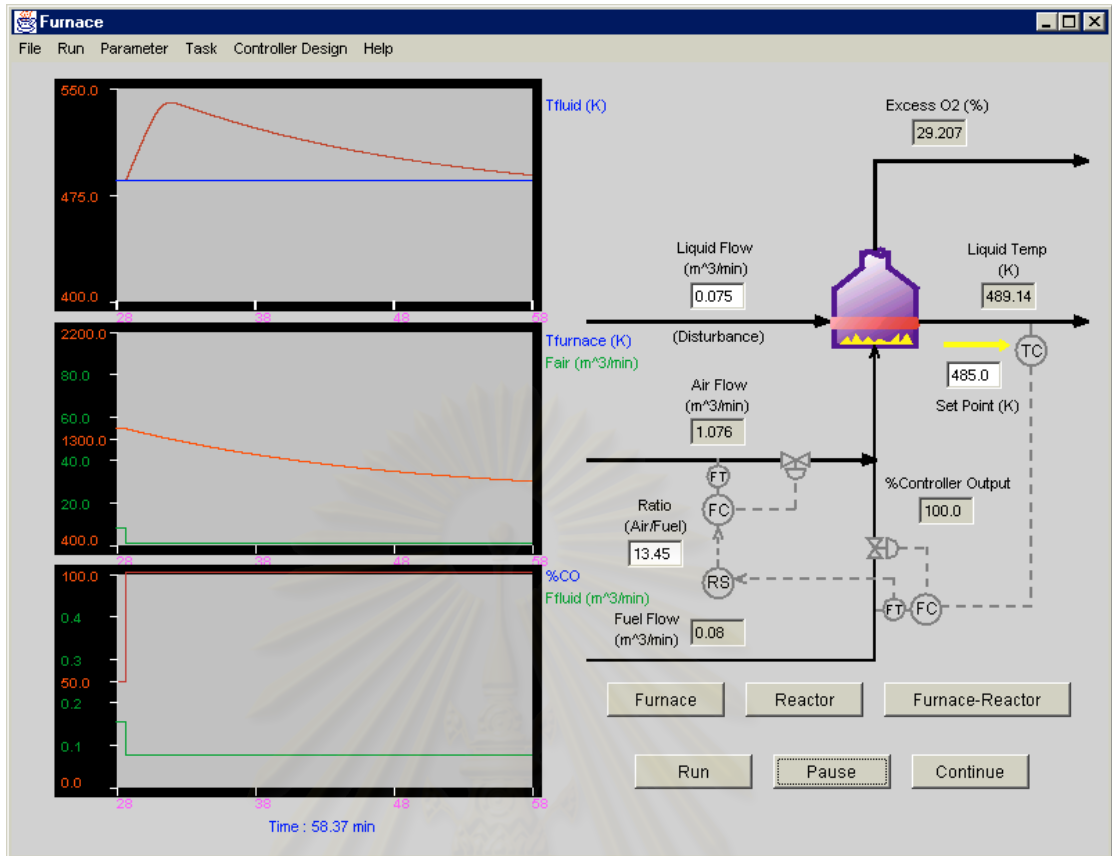
รูปที่ 7.21 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab
เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 15 K



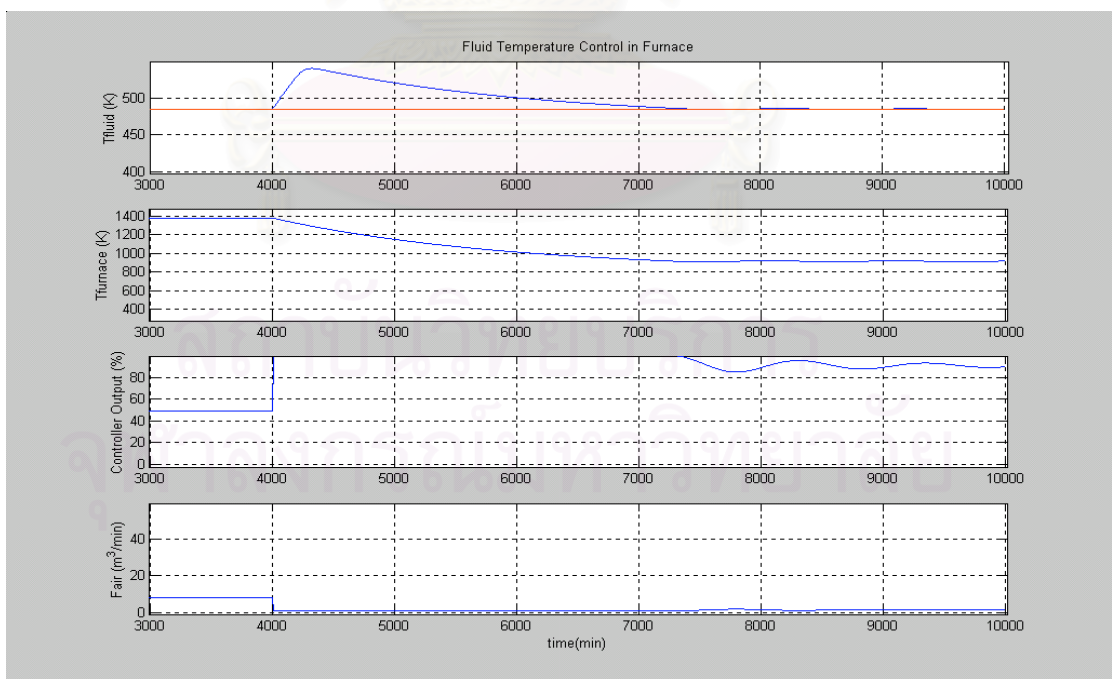
รูปที่ 7.22 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 25%



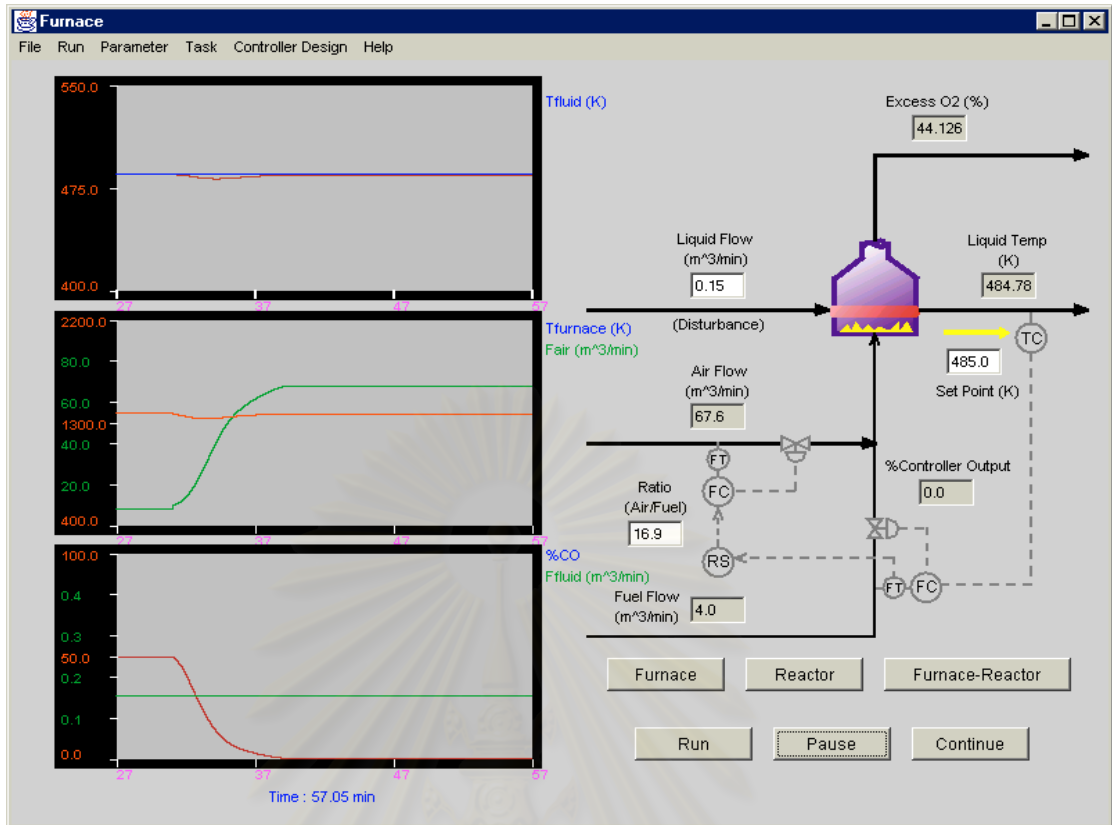
รูปที่ 7.23 ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 25%



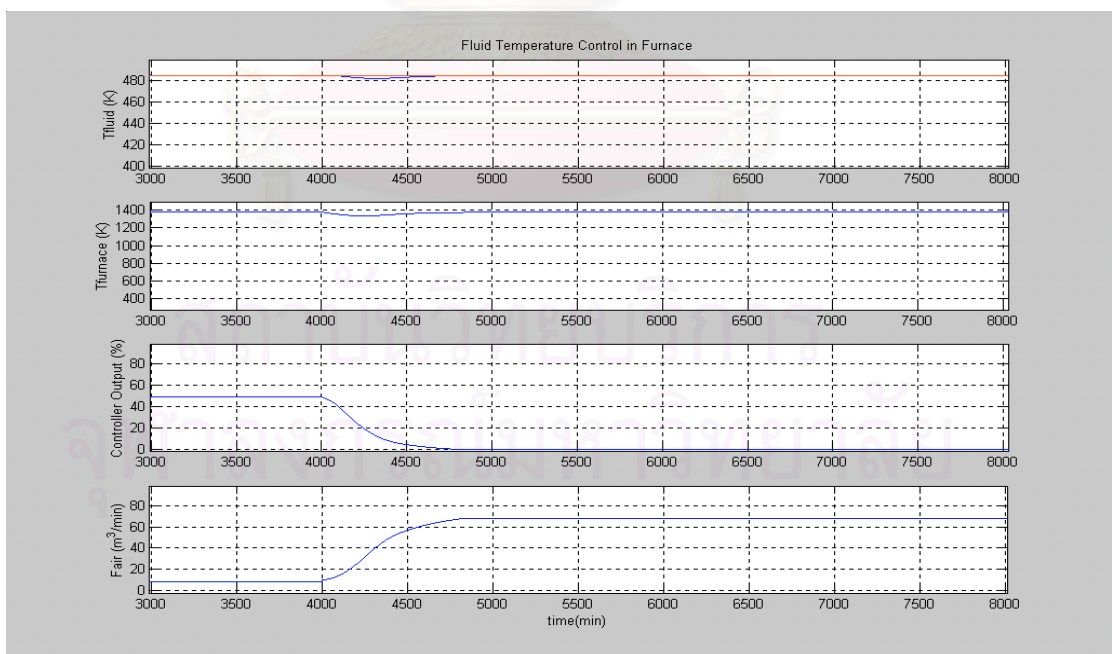
รูปที่ 7.24 ผลการเปลี่ยนแปลงแบบการควบคุมเตาเผา เมื่อตัวรบกวนกระบวนการลดลง 50%



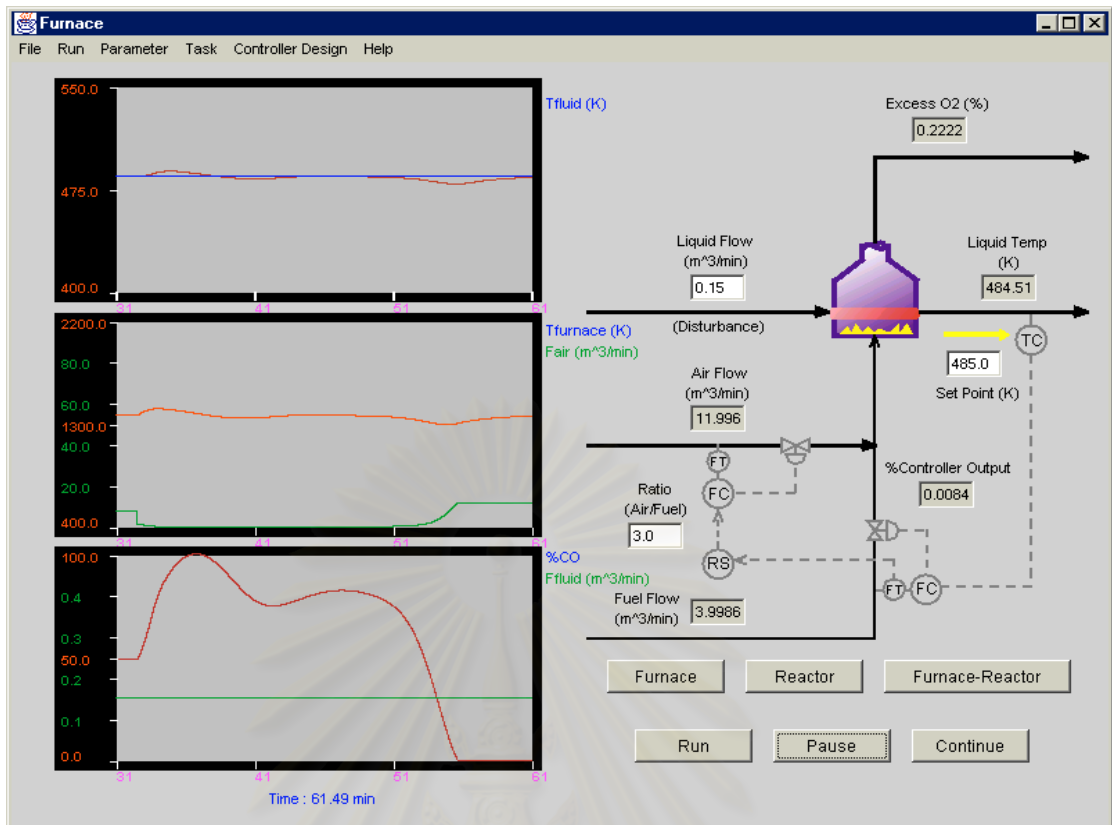
รูปที่ 7.25 ผลการเปลี่ยนแปลงแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนกระบวนการลดลง 50%



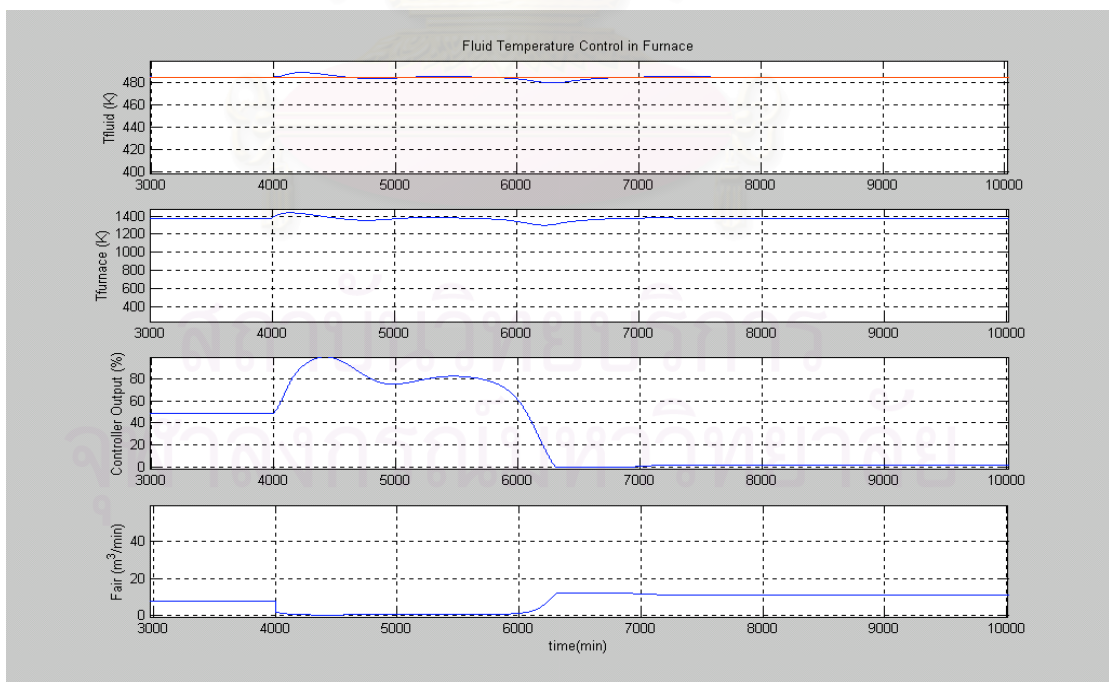
รูปที่ 7.26 ผลการเปลี่ยนแปลงการควบคุมเตาเผา เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 16.9



รูปที่ 7.27 ผลการเปลี่ยนแปลงการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 16.9



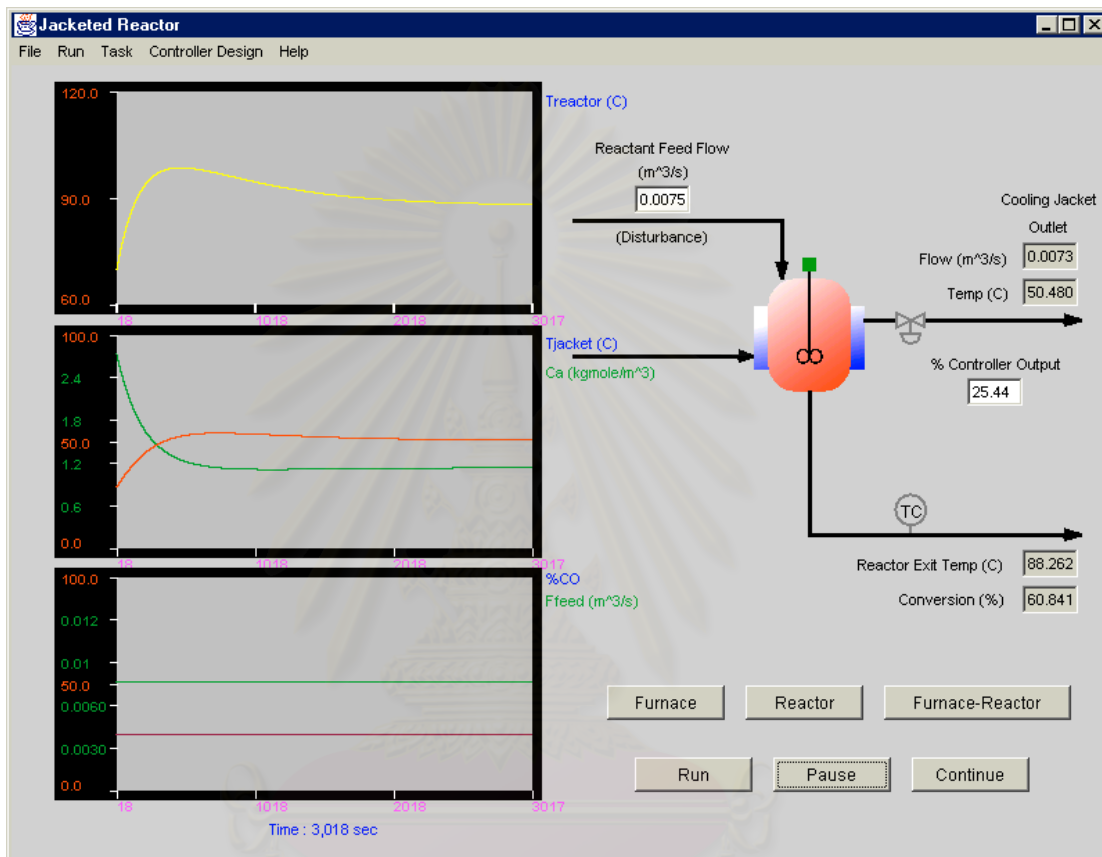
รูปที่ 7.28 ผลการเดินแบบการควบคุมเตาเผา เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.0



รูปที่ 7.29 ผลการเดินแบบการควบคุมเตาเผาในโปรแกรม Matlab เมื่ออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.0

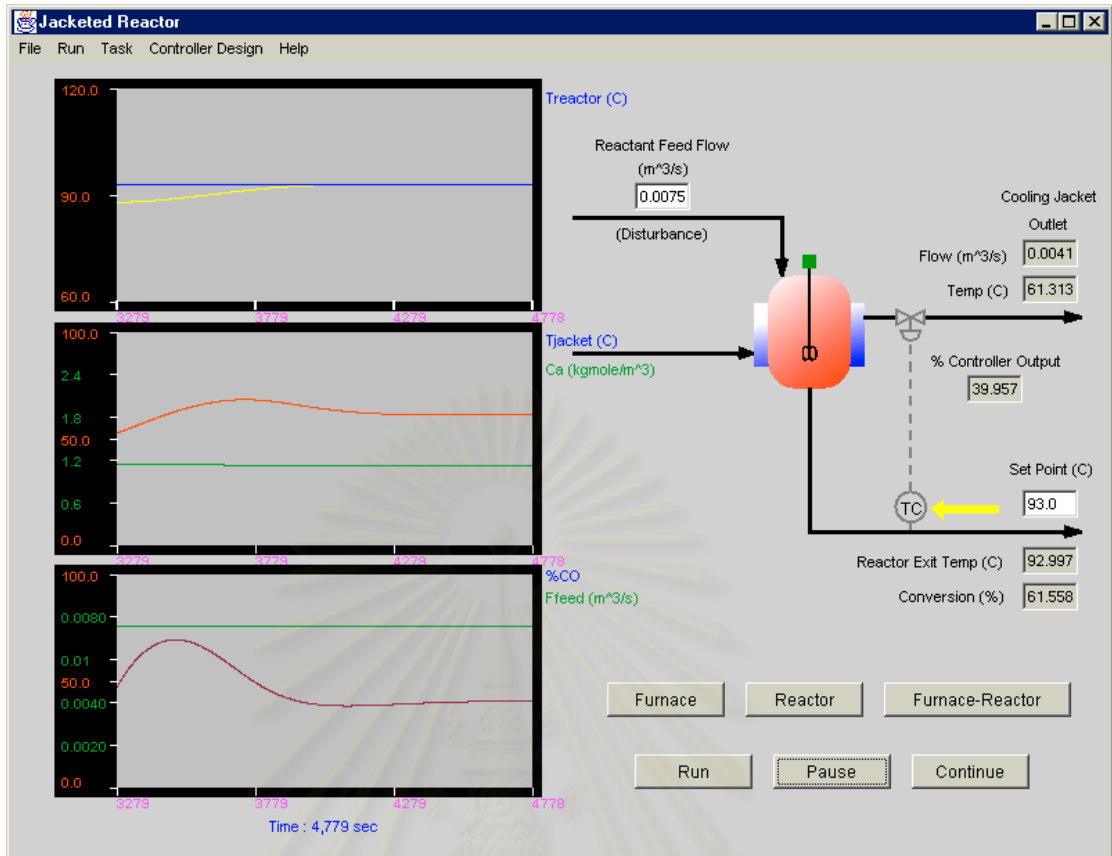
7.3.2 กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง โดยผู้วิจัยกำหนดให้ตัวรบกวนกระบวนการมีค่าเป็น $0.0075 \text{ m}^3/\text{s}$ และตัวแปรปรับกระบวนการมีค่าเป็น 25.44% ได้ผลการเลียนแบบกระบวนการ ดังรูปที่ 7.30

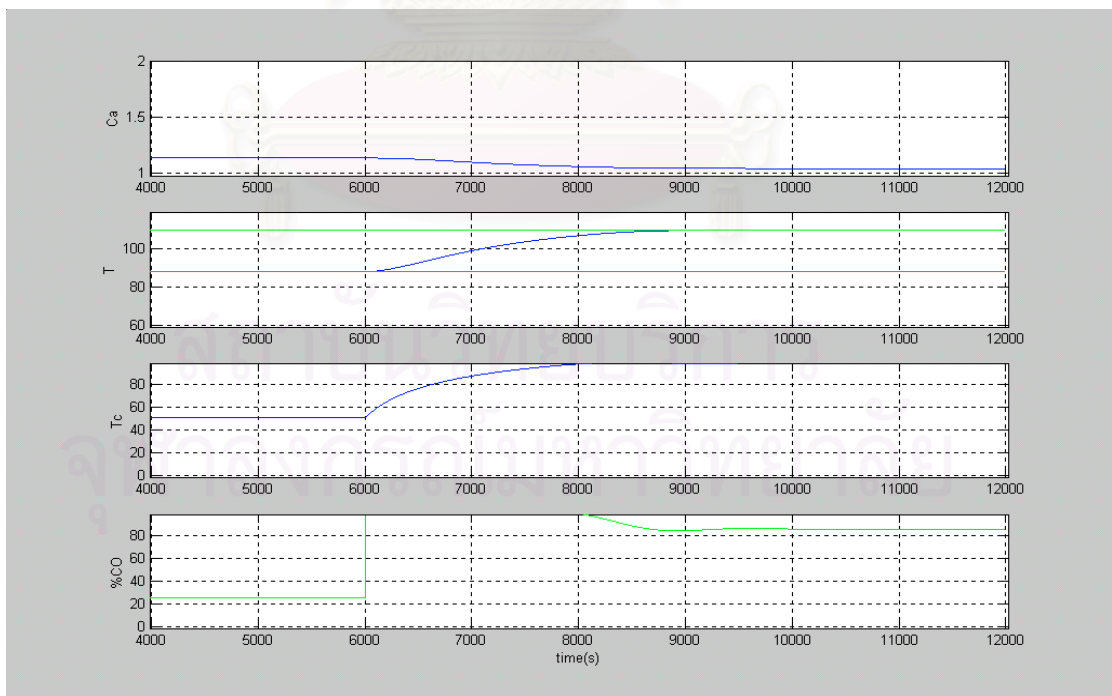


รูปที่ 7.30 ผลการเลียนแบบกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

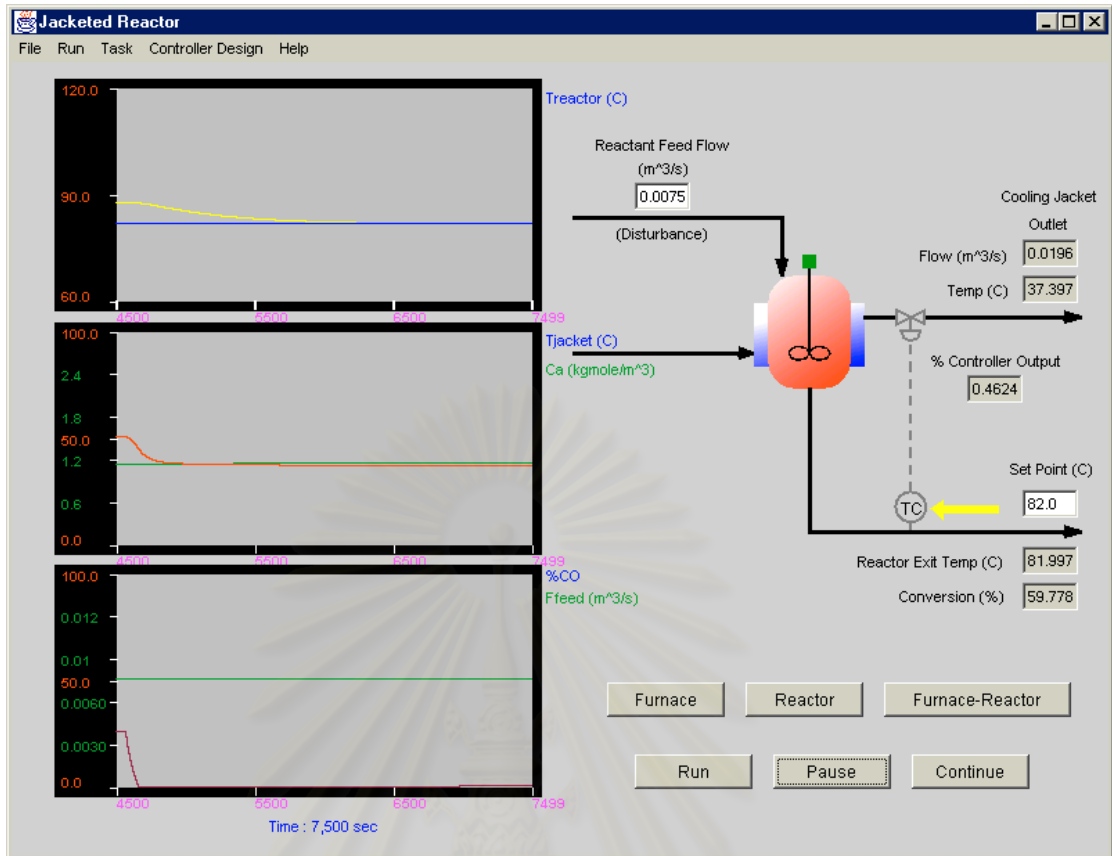
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการโดยให้ตัวรบกวนกระบวนการเท่ากับ $0.0075 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่สภาวะคงตัวก่อนทำการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ เท่ากับ 487.39°C ปรับค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมกระบวนการโดยวิธีทดสอบสเตป ได้ค่าพารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการ คือ $K_c = 0.2954$, $\tau_i = 400$ และ $\tau_d = 100$ โดยกำหนดให้ ค่าเป้าหมายเท่ากับ 88°C ซึ่งสามารถให้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายได้ดังรูปที่ 7.31 และรูปที่ 7.33 และผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อปรับตัวรบกวนกระบวนการได้ดังรูปที่ 7.35 และรูปที่ 7.37 ส่วนผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Matlab แสดงได้ดังรูปที่ 7.32, รูปที่ 7.34, รูปที่ 7.36 และรูปที่ 7.38 ตามลำดับ



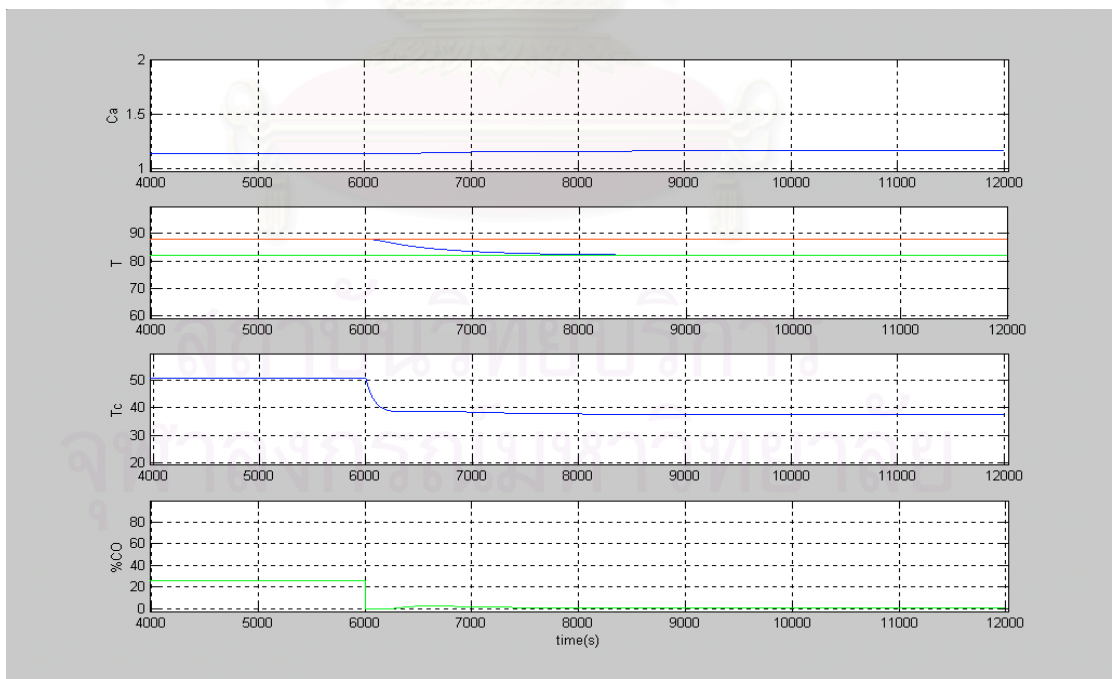
รูปที่ 7.31 ผลการเขียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 22°C



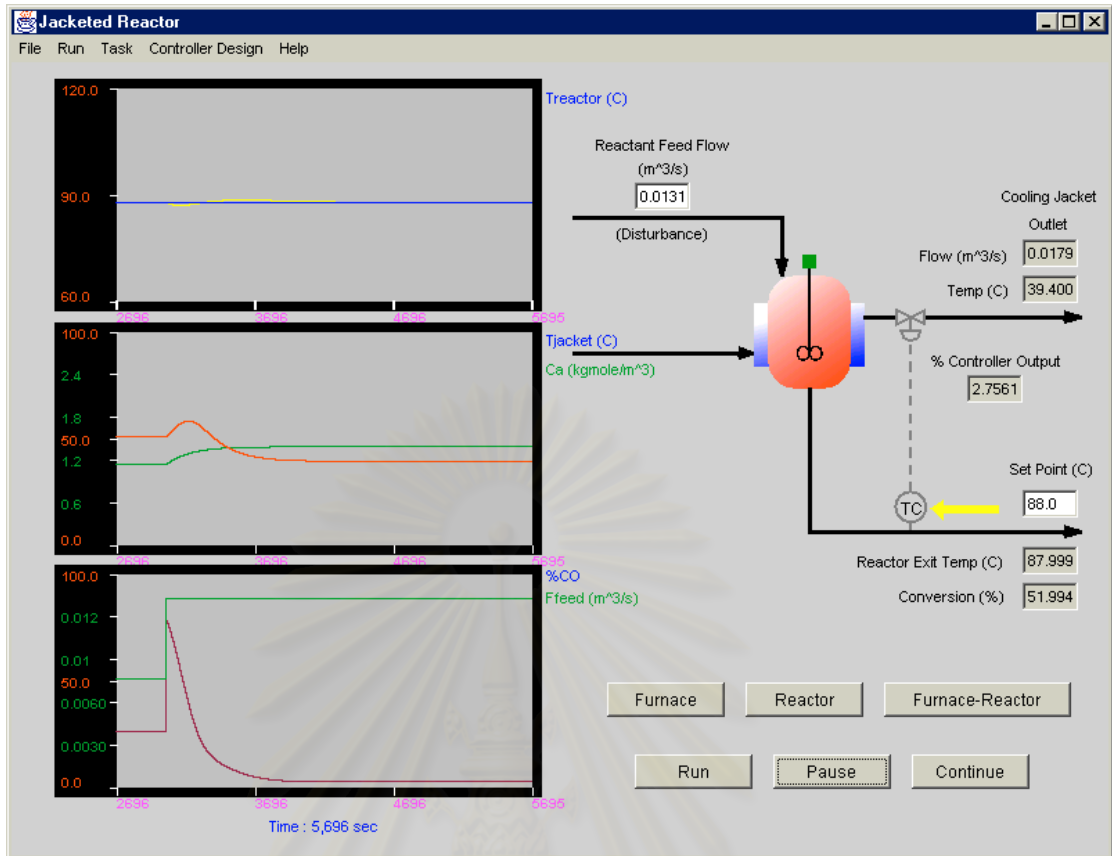
รูปที่ 7.32 ผลการเขียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ ในโปรแกรม Matlab เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 22°C



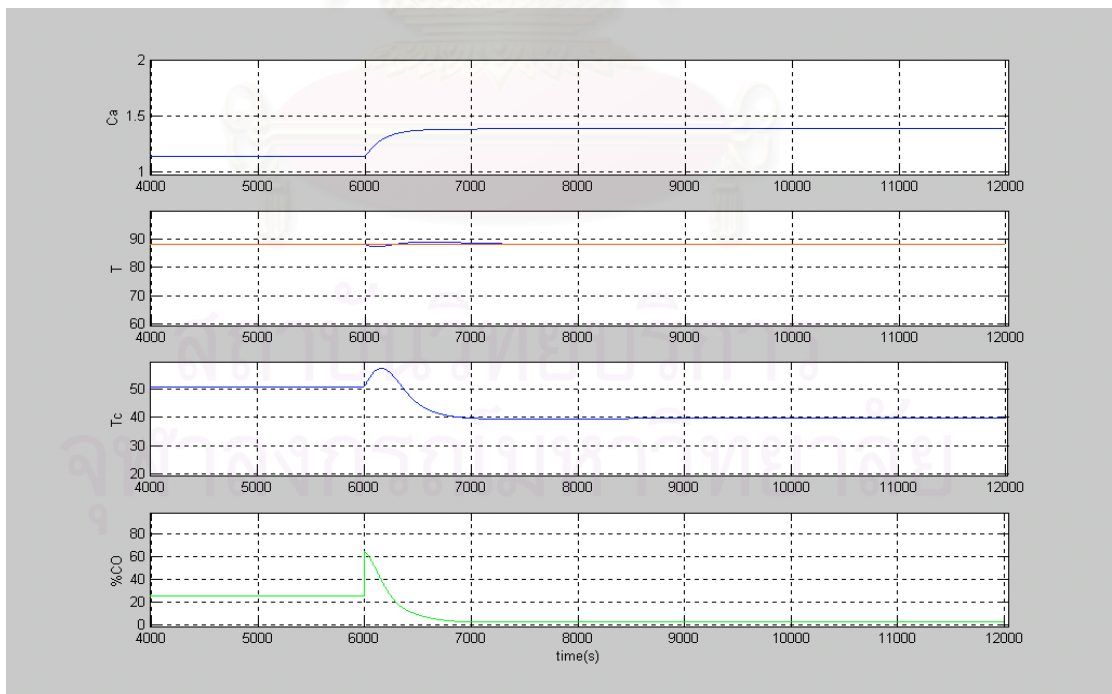
รูปที่ 7.33 ผลการเดินแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 6°C



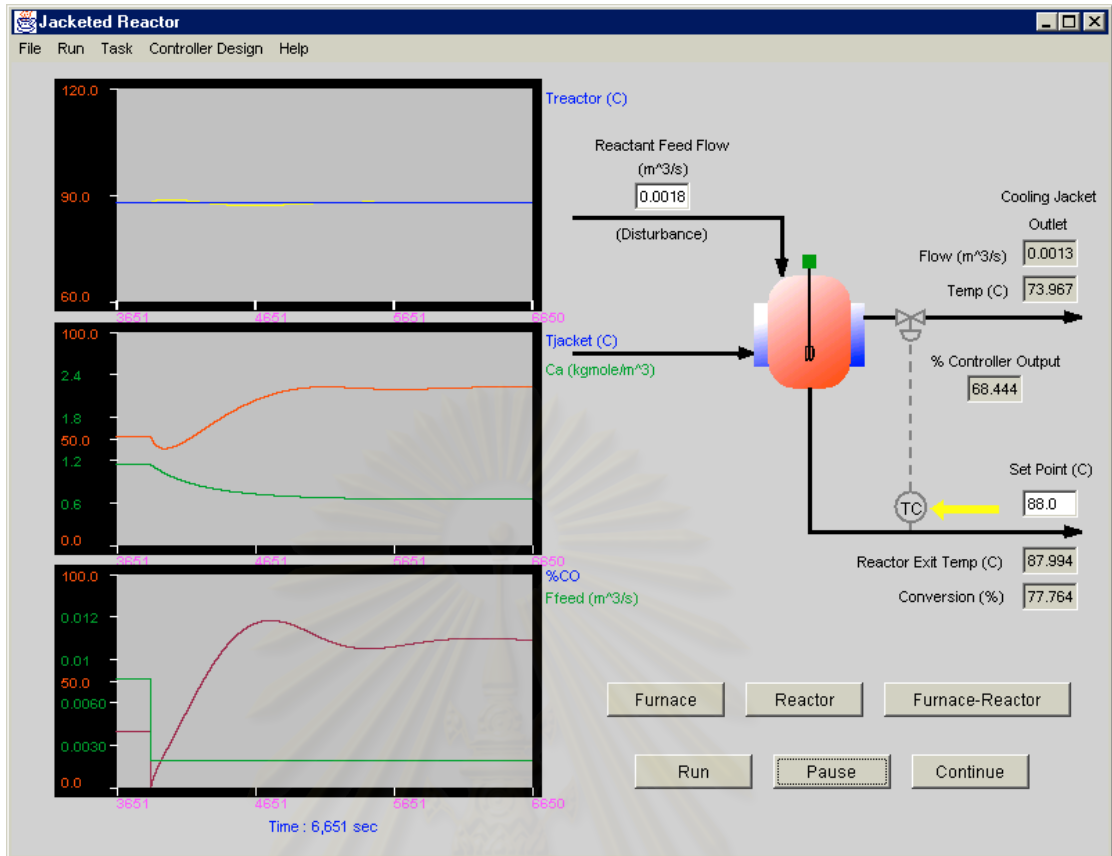
รูปที่ 7.34 ผลการเดินแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab
เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 6°C



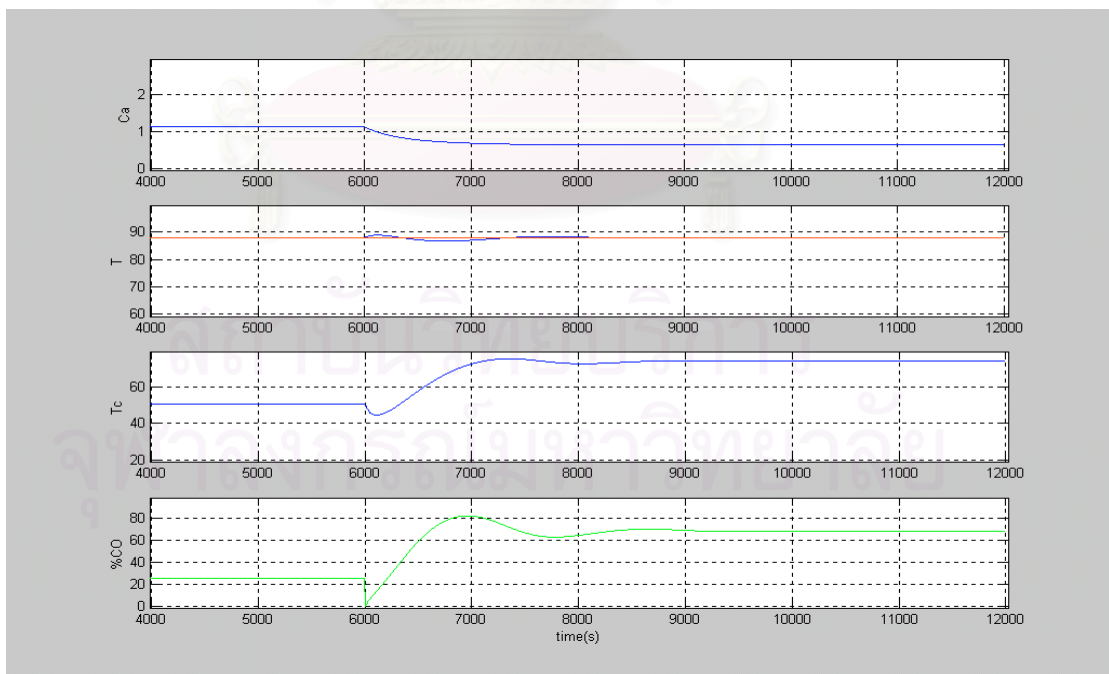
รูปที่ 7.35 ผลการเดินแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 75%



รูปที่ 7.36 ผลการเดินแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab เมื่อตัวรบกวนกระบวนการเพิ่มขึ้น 75%



รูปที่ 7.37 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อตัวรบกวนกระบวนการณ์ลดลง 75%

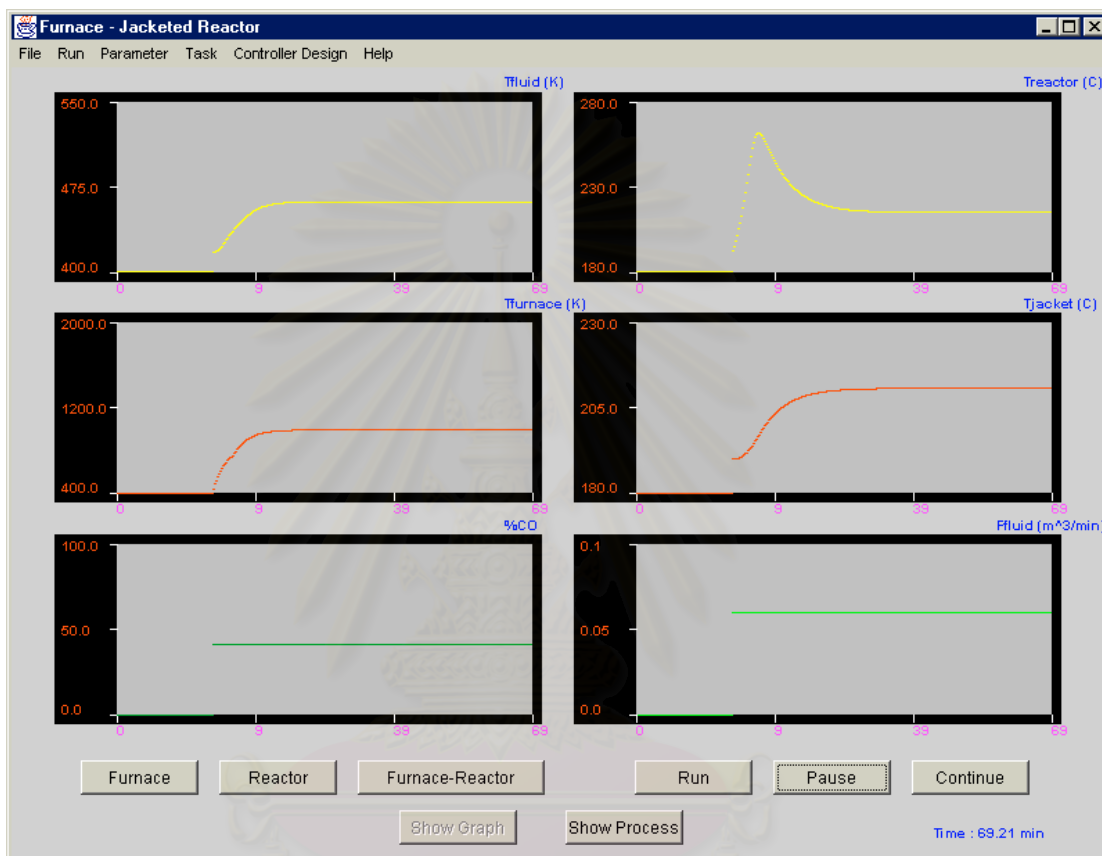


รูปที่ 7.38 ผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในโปรแกรม Matlab

เมื่อตัวรบกวนกระบวนการณ์ลดลง 75%

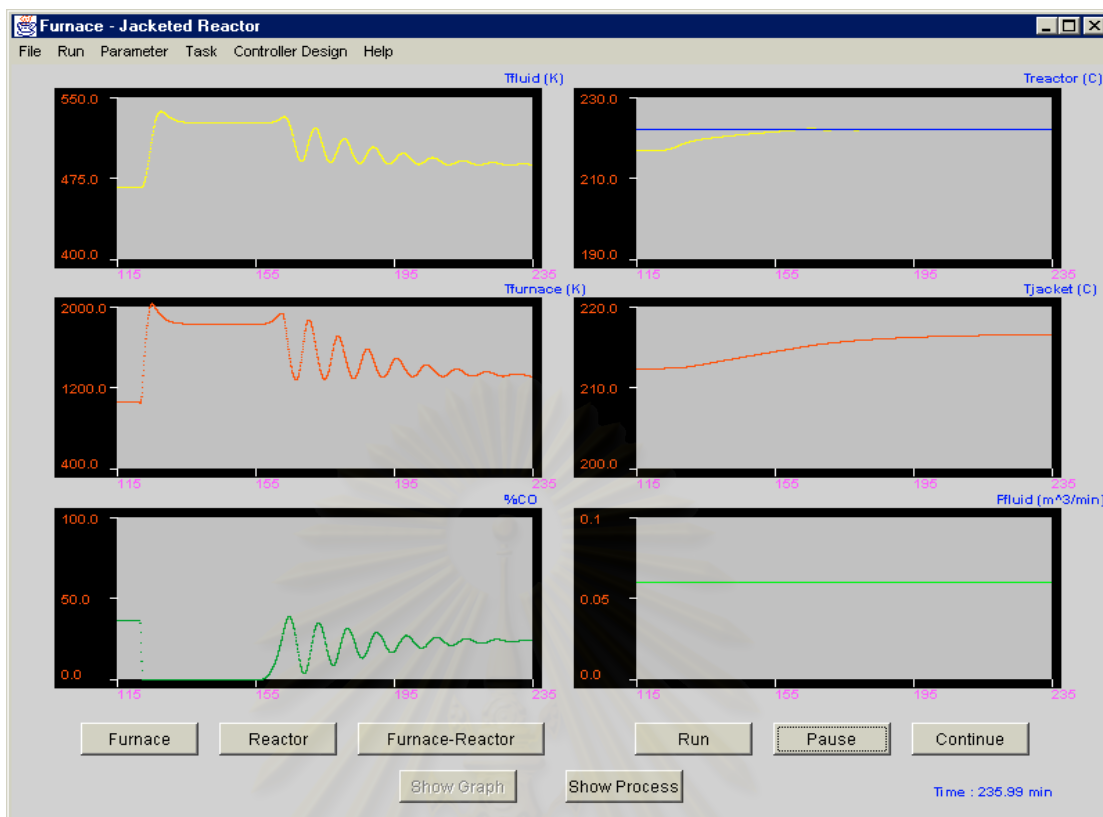
7.3.3 กรณีศึกษาที่ 3 ระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

ในกรณีผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน โดยผู้วิจัยกำหนดให้ตัวรบกวนกระบวนการมีค่าเป็น $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$ และตัวแปรปรับกระบวนการมีค่าเป็น 41.14% ได้ผลการเลียนแบบระบบ ดังรูปที่ 7.39

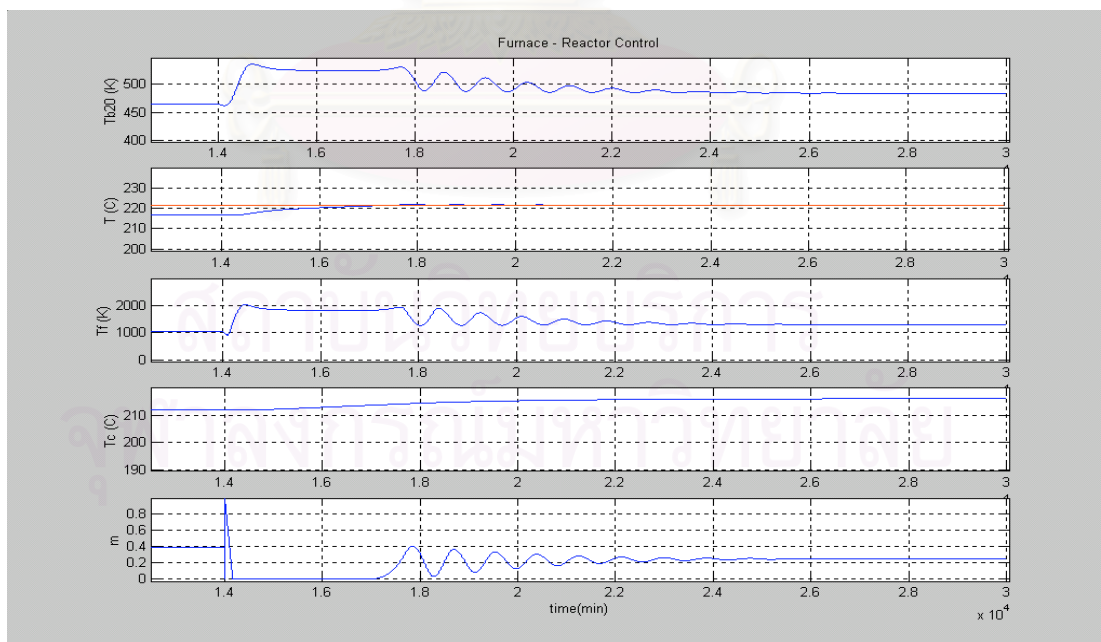


รูปที่ 7.39 ผลการเลียนแบบระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

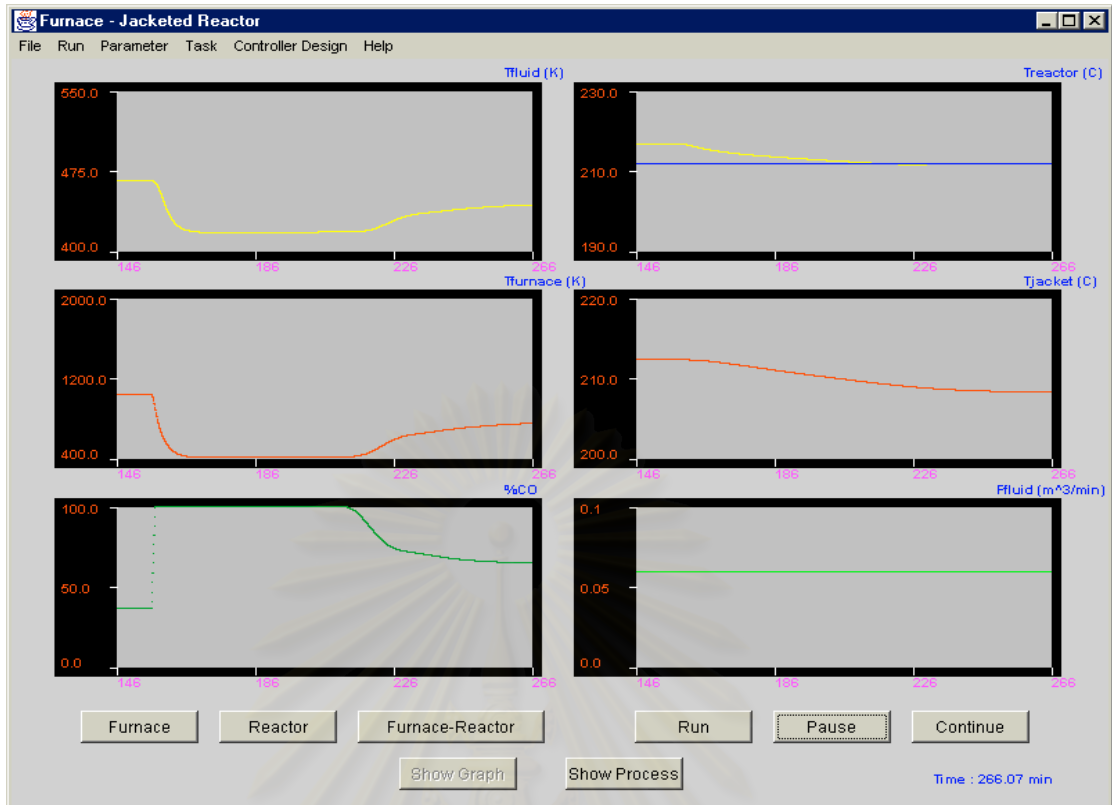
ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบโดยให้ตัวรบกวนกระบวนการเท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$ ที่สภาวะคงตัวก่อนทำการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ $214.91 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุมระบบ คือ $K_C = -0.7474$, $\tau_i = 6.25$ และ $\tau_d = 1.5625$ โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเท่ากับ $216.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสามารถให้ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายได้ดังรูปที่ 7.40 และรูปที่ 7.42 และผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเมื่อปรับตัวรบกวนกระบวนการ ได้ดังรูปที่ 7.44 และรูปที่ 7.46 ส่วนผลการเลียนแบบการควบคุมระบบในโปรแกรม Matlab แสดงได้ดังรูปที่ 7.41, รูปที่ 7.43, รูปที่ 7.45 และรูปที่ 7.47 ตามลำดับ



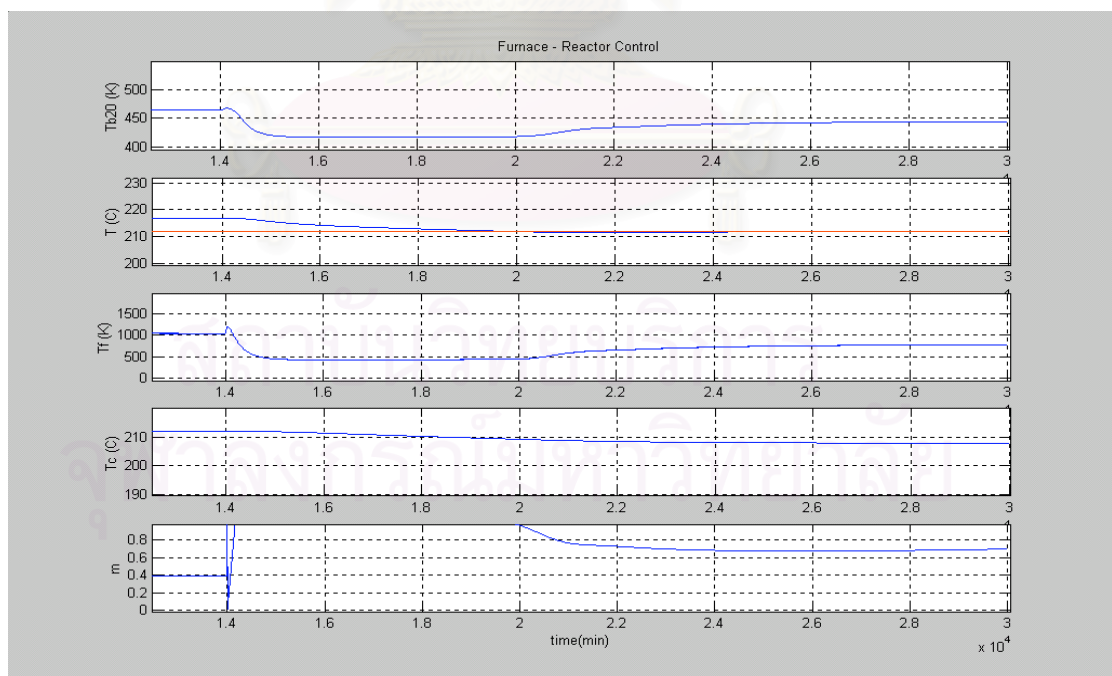
รูปที่ 7.40 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน
เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 5°C



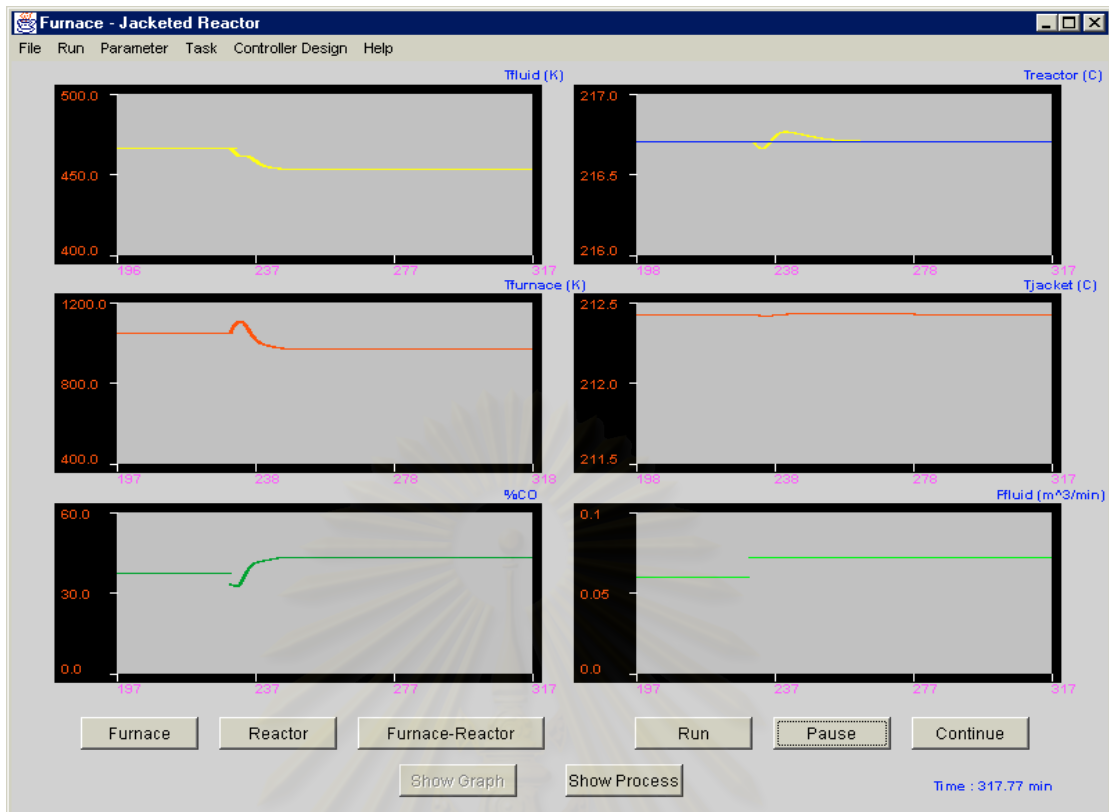
รูปที่ 7.41 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab
เมื่อค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น 5°C



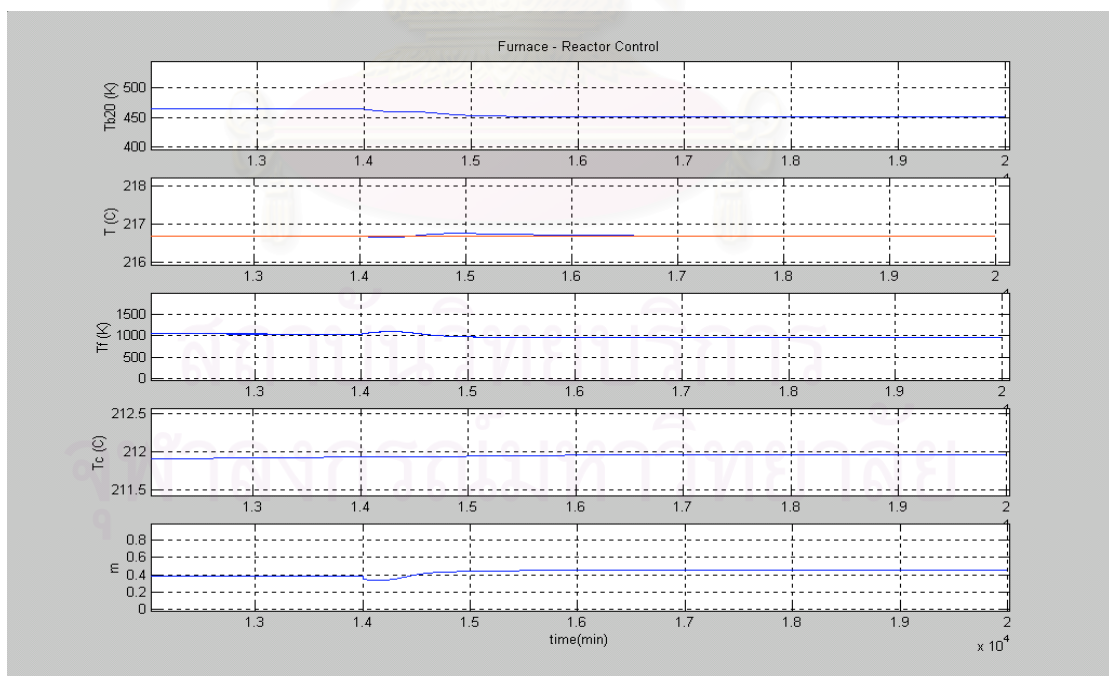
รูปที่ 7.42 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน
เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 5°C



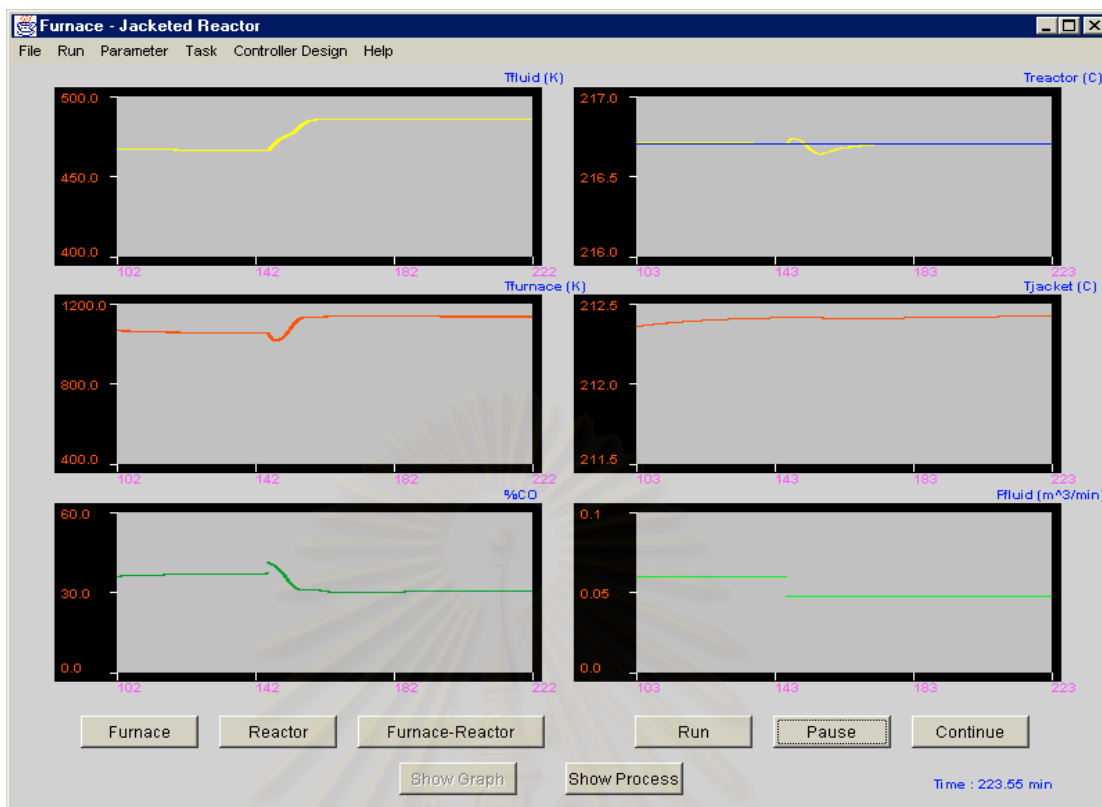
รูปที่ 7.43 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab
เมื่อค่าเป้าหมายลดลง 5°C



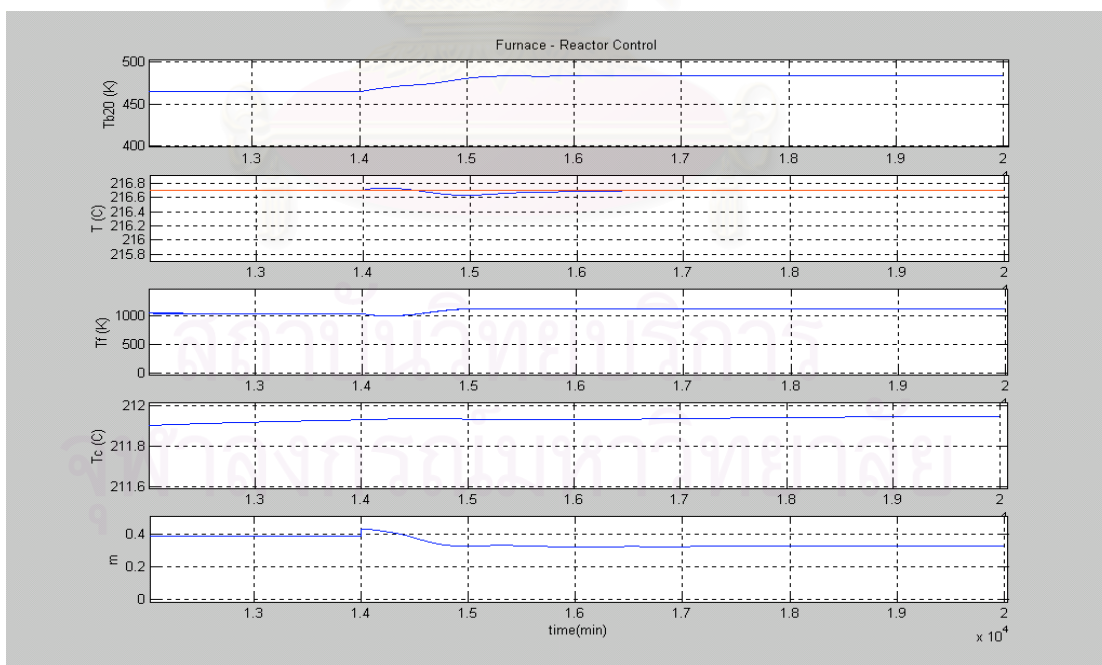
รูปที่ 7.44 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน
เมื่อตัวรบกวนระบบเพิ่มขึ้น 20%



รูปที่ 7.45 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab
เมื่อตัวรบกวนระบบเพิ่มขึ้น 20%



รูปที่ 7.46 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกัน
เมื่อตัวรบกวนระบบลดลง 20%



รูปที่ 7.47 ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ต่อกันในโปรแกรม Matlab
เมื่อตัวรบกวนระบบลดลง 20%

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัย

บทนี้เป็นบทส่งท้ายซึ่งสรุปเกี่ยวกับผลการเรียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาจาวาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ คือ โปรแกรม Matlab รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัย

8.1 ข้อสรุปสำหรับโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

โปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันนี้ใช้ภาษาจาวา JDK 1.3.1 ในการพัฒนาโปรแกรม มีความต้องการทางด้านระบบ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentrium II ขึ้นไปหรือเทียบเท่า พร้อมหน่วยความจำอย่างน้อย 64 MB และเนื้อที่ว่างในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 MB ระบบปฏิบัติการที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ Window98 ประกอบด้วยไฟล์ทั้งหมด 3 ไฟล์ เป็นไฟล์จาวาทั้งหมด มีขนาดประมาณ 250 กิโลไบต์ สามารถบันทึกไฟล์ทั้งหมดไว้ในแผ่นดิสก์ขนาด 1.44 นิ้วได้โปรแกรมนี้ใช้ในการเรียนรู้พลวัตในการควบคุมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันในรูปของโปรแกรมช่วยสอน คาดว่าผู้ใช้โปรแกรม คือ นิสิต นักศึกษา วิศวกร บุคลากรในกระบวนการอุตสาหกรรม และผู้ที่สนใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.2 เงื่อนไขการทดสอบโปรแกรมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

เงื่อนไขในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม ประกอบด้วย 2 เงื่อนไขดังนี้

- ก. ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย แล้วเปรียบเทียบแนวโน้มของผลการตอบสนองการควบคุมกระบวนการ
- ข. ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนกระบวนการ แล้วเปรียบเทียบแนวโน้มของผลการตอบสนองการควบคุมกระบวนการ

8.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

ผลการเลียนแบบการควบคุมเตาเผา เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ คือ โปรแกรม Matlab ผู้วิจัยได้สรุปการเปรียบเทียบโปรแกรม ดังนี้

8.3.1 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมเตาเผา

ผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมเตาเผากับโปรแกรม Matlab ในบทที่ 7 หัวข้อ 7.3.1 กรณีศึกษาที่ 1 เตาเผา ปรากฏว่าผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการคล้ายกัน และผลการควบคุมกระบวนการมีทิศทางไปในทางเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายและตัวรบกวนกระบวนการ ดังนี้

คุณสมบัติของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาจะขึ้นกับตัวแปรปรับกระบวนการ คือ ขนาดการเปิดปิดวาล์วควบคุม ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ ระบบจะเป็น Self regulating และระบบจะมีเสถียรภาพไม่ว่าจะมีตัวควบคุม หรือไม่มีก็ตาม โดยเมื่อตัวแปรปรับกระบวนการเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผาลดลง คุณสมบัติของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาจึงลดลง และกลับกันเมื่อตัวแปรปรับกระบวนการลดลง อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผาเพิ่ม

ขึ้น ทำให้คุณหมุมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาสูงขึ้น ส่วนตัวรบกวนกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลต่อคุณหมุมิของของไหลที่ออกจากท่อไม่มากนัก

8.3.2 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

ผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องกับโปรแกรม Matlab ในบทที่ 7 หัวข้อ 7.3.2 กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ปรากฏว่าผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการคล้ายกัน และผลการควบคุมกระบวนการมีทิศทางไปในทางเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย และตัวรบกวนกระบวนการ ดังนี้

คุณหมุมิของเครื่องปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรปรับกระบวนการ คือ ขนาดการเปิดปิดวาล์วควบคุม ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ ระบบจะเป็น Self regulating และระบบจะมีเสถียรภาพไม่ว่าจะมีตัวควบคุม หรือไม่มีก็ตาม โดยเมื่อตัวแปรปรับกระบวนการเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากแจ๊คเก็ตจะลดลง ทำให้คุณหมุมิของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น และกลับกัน ถ้าตัวแปรปรับกระบวนการลดลง อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากแจ๊คเก็ตมากขึ้น ส่งผลให้คุณหมุมิของเครื่องปฏิกรณ์ลดลง ส่วนตัวรบกวนกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลรบกวนต่อกระบวนการไม่มากนัก

8.3.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

ผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกันกับโปรแกรม Matlab ในบทที่ 7 หัวข้อ 7.3.3 กรณีศึกษาที่ 3 ระบบเตาเผา และเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน ปรากฏว่าผลการเลียนแบบการควบคุมระบบคล้ายกัน และผลการควบคุมระบบมีทิศทางไปในทางเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย และตัวรบกวนระบบ ดังนี้

คุณหมุมิของของเครื่องปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรปรับกระบวนการ คือ ขนาดการเปิดปิดวาล์วควบคุม ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ ระบบเป็น Self regulating โดยเมื่อตัวแปรปรับกระบวนการเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผาจะลดลง ทำให้คุณหมุมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาจะลดลง ส่งผลให้คุณหมุมิของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงด้วย และกลับกัน ถ้าตัวแปร

ปรับกระบวนการลดลง อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เข้าเตาเผาเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น ซึ่งผลของตัวแปรปรับกระบวนการจะมีผลต่อทางด้านเตาเผามากกว่าทางด้านเครื่องปฏิกรณ์ จึงทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับกระบวนการ ทำให้อุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผาเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์

ส่วนตัวรบบนระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผลกระทบต่อระบบน้อยมาก โดยจะส่งผลกระทบต่อทางด้านเตาเผา มากกว่าทางด้านเครื่องปฏิกรณ์ โดยดูได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ และอุณหภูมิของแฉักเก็ต

8.4 ขีดจำกัดของโปรแกรม

ขีดจำกัดของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการในด้านต่าง ๆ มีดังนี้

- ก. ในการใช้งานโปรแกรมนี้ ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมที่สามารถประมวลผลภาษาจาวาได้ เนื่องจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไม่ได้พัฒนาในรูปแบบของ Execute file
- ข. ผู้ใช้งานต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้าน การควบคุมกระบวนการ จึงจะสามารถเข้าใจกระบวนการในโปรแกรมฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการ
- ค. โปรแกรมไม่สามารถเก็บประวัติการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการทำงานผู้ใช้ต้องทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนการจบการทำงาน
- ง. โปรแกรมไม่สามารถปรับเปลี่ยนสเกลในการแสดงกราฟได้ จึงทำให้แสดงผลตอบสนองของกระบวนการในรูปกราฟได้ไม่ชัดเจน
- จ. ในระหว่างการใช้โปรแกรม ไม่ควรทำการเปิดโปรแกรมอื่น ๆ มากเกินไป เนื่องจากทำให้การทำงานของโปรแกรมช้าลง

8.5 ข้อเสนอแนะ

ในโปรแกรมเตาเผา อาจทำการพัฒนาโปรแกรมต่อโดยนำการควบคุมแบบสัดส่วนมาใช้กับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ เพื่อให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสม พัฒนาแบบจำลองกระบวนการให้มีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อให้เหมือนกับกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม และพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมได้หลากหลายมากขึ้น

ในโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง อาจทำการพัฒนาโปรแกรมต่อโดยให้มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้หลายประเภท เช่น ปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ เป็นต้น และพัฒนาโปรแกรมโดยให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมได้หลากหลายชนิดมากขึ้น

ในโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน อาจทำการพัฒนาโปรแกรมต่อโดยเพิ่มหน่วยปฏิบัติการอื่น ๆ เข้ามาเพื่อให้มีลักษณะเหมือนกับกระบวนการในอุตสาหกรรมจริงมากขึ้น และพัฒนาให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมได้หลากหลายมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล. JAVA ฉบับพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2543.

กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล. JAVA ฉบับโปรแกรมเมอร์. กรุงเทพฯ : บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2544.

เจนวิทย์ เหลืองอร่าม. การเขียนโปรแกรมสำหรับ Application และ Applets ด้วย Java. กรุงเทพฯ : บริษัท ธรรมสาร จำกัด. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2538.

دنุพล กิ่งสุคนธ์. การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา JAVA. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส, 2540.

ธันนดร สุนทรกมล. PACS-I : โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มนัส สวรรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส, 2543.

วิภา เจริญกิจวัฒน์ชัย. โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

วีระศักดิ์ ชิงदार. Java Programming Volume II. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2545.

สมหวัง ชัยกิตติวณิชย์. การเลียนแบบสมรรถนะเชิงพลวัตของระบบควบคุมหอกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

สุรัตน์ บุญพึ้ง. การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

อรธณพ ลิ้มไพบูลย์. การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ภาษาอังกฤษ

- Campione, Mary. The Java tutorial continued : the rest of the JDK. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1999.
- Chapman, S. J. Java for Engineers and Scientists. The United States of America : Prentice-Hall, 1999.
- Deitel, Harvey M., Paul J. Java : How to Program. 4th ed. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall PTR, 2001.
- Douglas, J., M. Process Dynamics and Control. New Jersey : Prentice Hall, 1972.
- Doyle III, F. J. Process Control Modules. The United States of America : Prentice-Hall, 1999.
- Luyben, W. L., Tyreus, B. D., Luyben, M. L. Plantwide Process Control. The United States of America : McGraw-Hill, 1998.
- Marlin, Thomas E. Process control : designing processes and control systems for dynamic performance. 2nd ed. Singapore : McGraw-Hill, 2000.
- Perry, R., H. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York : McGraw-Hill, 1984.
- Smith, C. A., Corripio, A. B. Principles and Practice of Automatic Process Control. Canada : John Wiley, 1985.
- Smith, C. A., Corripio, A. B. Principles and Practice of Automatic Process Control. 2nd ed. Canada : John Wiley, 1997.
- Stephanopoulos, G. Chemical Process Control. The United States of America : Prentice-Hall, 1984.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ภาษาจาวา

ภาษาจาวาเป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Sun Microsystems เป็นโปรแกรมอ้างอิงเชิงวัตถุ สำหรับผู้ที่เคยศึกษาภาษา C และ C++ จะสามารถศึกษาภาษาจาวาได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับภาษา C แต่ตัดส่วนที่ทำให้ยุ่งยากซับซ้อนออกไป อย่างเช่น การใช้ pointer arithmetic, protected and private inheritance

ข้อดีของภาษาจาวา

1. ภาษาจาวาเป็นภาษาโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ

ภาษาจาวาเป็นภาษาโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) การเขียนโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ คือ การสร้างส่วนย่อยของโปรแกรม เรียกว่า ออบเจกต์ (Object) และนำออบเจกต์มาประกอบกันเป็นโปรแกรม มีประโยชน์คือ มีความยืดหยุ่น สามารถแก้ไข ปรับปรุง และพัฒนาได้ง่าย ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนใหญ่ และสามารถนำออบเจกต์ที่มีผู้สร้างไว้แล้วมาใช้ได้ ภาษาจาวามีไลบรารีต่าง ๆ เช่น ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ส่วนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการวาดรูป ส่วนของฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณที่เราสามารถเรียกใช้ได้ โดยที่เราไม่ต้องสร้างขึ้นมาเอง

2. ภาษาจาวาจัดการหน่วยความจำให้อัตโนมัติ

ในปัจจุบัน ภาษาจาวาได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานบนอินเทอร์เน็ตกันมาก เนื่องจากภาษาจาวาเป็นโปรแกรมภาษาที่ออกแบบมาเพื่อให้เขียนง่าย ไม่มีการใช้พอยเตอร์ ทำให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องวุ่นวายกับการจัดการกับหน่วยความจำ โดยภาษาจาวาจะจัดการกับหน่วยความจำให้อัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมลงได้

3. มีคุณสมบัติเด่นในการสร้างโปรแกรมมัลติมีเดีย

ภาษาจาวาเป็นภาษาที่ต้องทำงานร่วมกับ HTML (Hypertext Markup Language) ในการนำเสนอข้อมูลบนเว็บ ซึ่งเดิม Internet ถูกสร้างขึ้นโดยภาษา HTML ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้แสดงเอกสารและภาพ แต่มีข้อจำกัดในด้านวิธีการที่ใช้ในการควบคุม การแสดงผลข้อมูลบนเว็บ ดังนั้นเว็บเพจที่ถูกสร้างขึ้นโดย HTML จึงเป็นเพียงเอกสารธรรมดา ไม่มีความสามารถอื่น ๆ เมื่อมีการนำภาษาจาวามาผนวกเข้ากับเว็บเพจที่ถูกสร้างโดยภาษา HTML จึงทำให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับโปรแกรมใช้งานทั่วไป และมีคุณสมบัติเด่นในการสร้างโปรแกรมมัลติมีเดีย เนื่องจากภาษาจาวาได้รองรับวิธีในการตกแต่งโฮมเพจ การติดต่อกับระบบ สร้างสรรค์ภาพเคลื่อนไหวที่น่าประทับใจ และการควบคุมการแสดงเสียงบนเว็บ ทำให้สามารถควบคุมเว็บเพจและเพิ่มเติมสิ่งที่น่าสนใจบนเว็บเพจได้มากขึ้น จึงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้งานบนอินเทอร์เน็ตผ่านทางเบราว์เซอร์ (โปรแกรมที่ใช้ในการเปิดใช้งานเอกสารอินเทอร์เน็ต หรือเว็บเพจในโหมดกราฟิก เช่น Netscape Navigator และ Internet Explorer) โดยโปรแกรมเมอร์สามารถเลือกใช้โมดูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ (เรียกว่า ออบเจกต์ หรือคลาส) มาผสมผสานสร้างความโดดเด่น และน่าสนใจให้กับเว็บเพจ และด้วยความสามารถพิเศษเช่นเดียวกับการเขียนโปรแกรมอั่งอิงเชิงวัตถุ ทำให้จาวาเป็นภาษาที่มีประสิทธิภาพสูง

4. ภาษาจาวามีการทำงานไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform)

ภาษาจาวาได้ถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนคอมพิวเตอร์หลาย ๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็น DOS, Windows หรือ UNIX โปรแกรมเมอร์สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวาเพียงครั้งเดียว สามารถนำไปใช้งานบนระบบปฏิบัติการหลาย ๆ ระบบได้ จึงเป็นโปรแกรมที่มีความเหมาะสมในการใช้งานบนอินเทอร์เน็ตมาก เนื่องจากอินเทอร์เน็ตเป็นระบบเครือข่ายที่ไม่สามารถระบุเจาะจงได้อย่างแน่ชัดว่าผู้ใช้งานจะใช้อินเทอร์เน็ตอยู่บนระบบปฏิบัติการใด

เมื่อเรานำโปรแกรมที่เขียนขึ้น (Source code) โดยภาษาทั่ว ๆ ไปมาคอมไพล์ (Compile) ตัวคอมไพเลอร์ (Compiler) จะทำการแปลโปรแกรมไปเป็นภาษาเครื่อง หรือไบนารีไฟล์ ซึ่งคอมพิวเตอร์แต่ละประเภทจะมีตัวคอมไพเลอร์ที่แตกต่างกัน เป็นเหตุให้ซอฟต์แวร์ตัวนั้นมีหลายรุ่น ซึ่งแต่ละรุ่นก็สามารถทำงานได้บนคอมพิวเตอร์บางระบบเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเราต้องการนำโปรแกรมไปใช้ยังเครื่องที่เป็นระบบอื่น ๆ เช่น ระบบ UNIX เราจะต้องทำการคอมไพล์ใหม่อีกครั้ง โดยใช้ตัวคอมไพเลอร์ที่อยู่บนระบบปฏิบัติการ UNIX เท่านั้น ซึ่งจะได้ไบนารีไฟล์ที่

สามารถใช้งานได้บนระบบ UNIX เท่านั้น แต่ถ้าเราเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวา ตัวคอมไพเลอร์ จะทำการแปลโปรแกรมเป็นไบต์โค้ด (Byte code) ที่ไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กับบราวเซอร์ หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีตัวแปลไบต์โค้ดได้ ดังนั้นเราจึงสามารถนำไฟล์ไบต์โค้ดนี้ไปใช้งานได้กับทุกระบบปฏิบัติการ โดยไม่ต้องทำการแก้ไขโปรแกรมหรือทำการคอมไพล์ใหม่



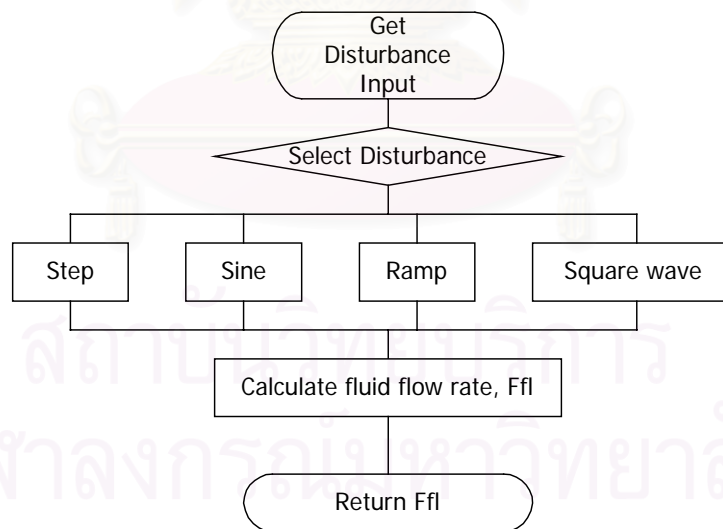
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

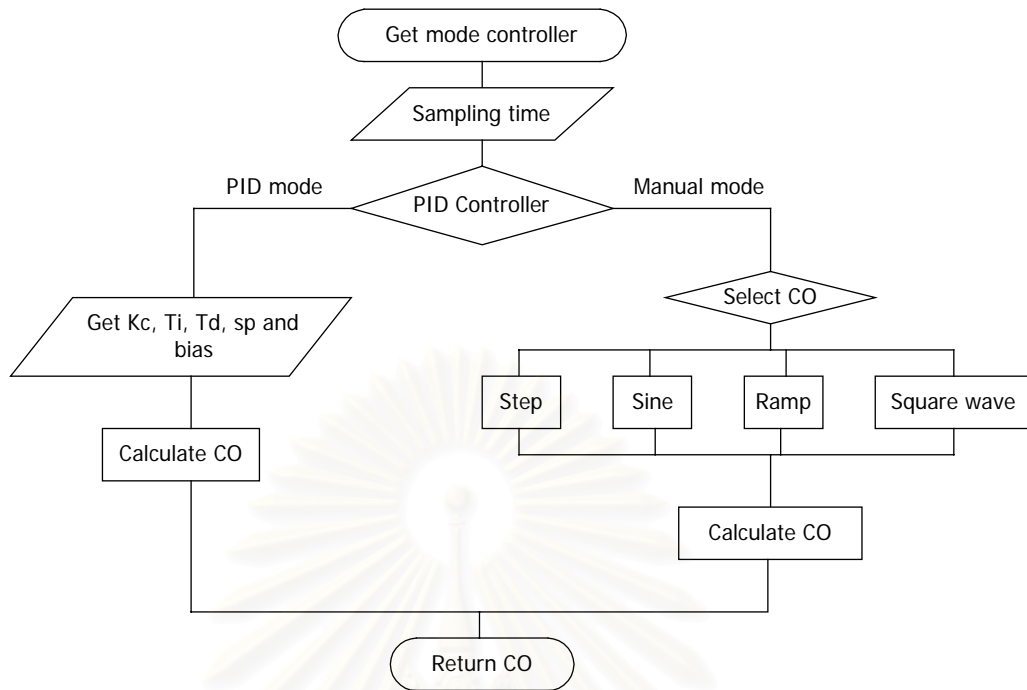
โพลีชาร์ทโปรแกรมเตาเผา

โพลีชาร์ทของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเตาเผา มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

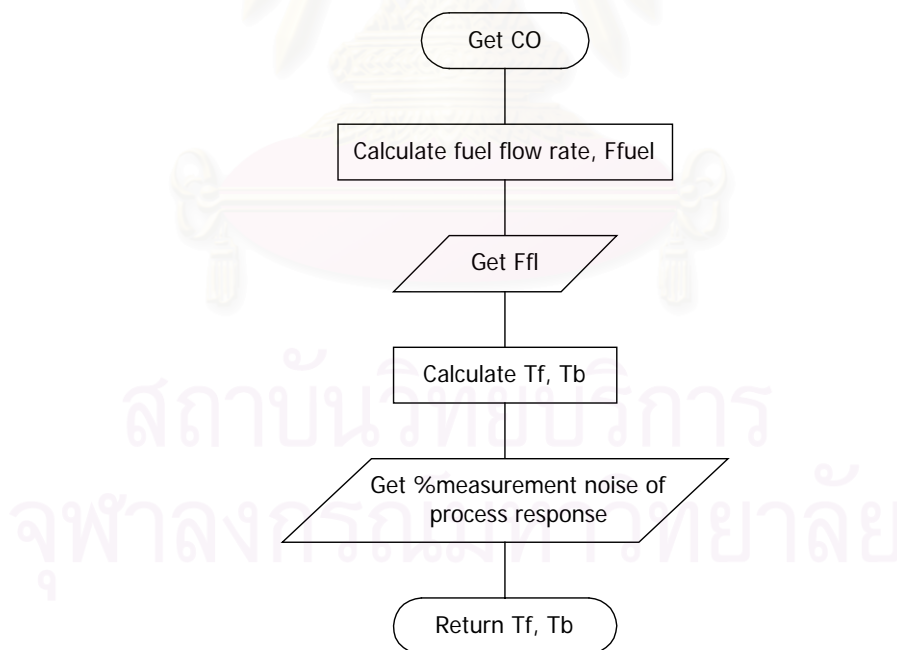
ขั้นแรกเลือกฟังก์ชันของตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของเหลวในท่อเตาเผา และคำนวณค่าที่ได้จากการเลือกฟังก์ชัน จากนั้นเลือกรูปแบบการควบคุมว่าเป็นแบบที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี หรือไม่ใช่ตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ทำการคำนวณสัญญาณควบคุมจากรูปแบบการเลือกตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ผู้ใช้กำหนด ในกรณีที่ไม่ใช่ตัวควบคุม จะคำนวณสัญญาณควบคุมได้จากการเลือกฟังก์ชัน แล้วทำการคำนวณอุณหภูมิของของเหลวที่ออกจากท่อเตาเผา และอุณหภูมิของเตาเผา โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณ ดังรูปที่ ข.1, รูปที่ ข.2 และรูปที่ ข.3 ตามลำดับ



รูปที่ ข.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผา



รูปที่ ข.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเตาเผา



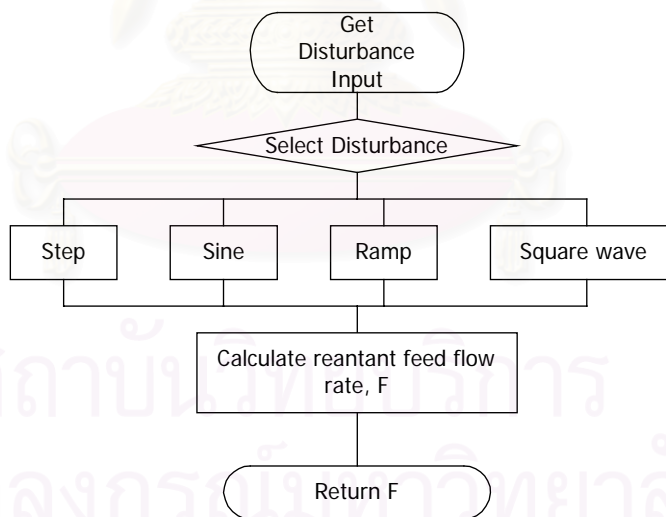
รูปที่ ข.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผา

ภาคผนวก ค

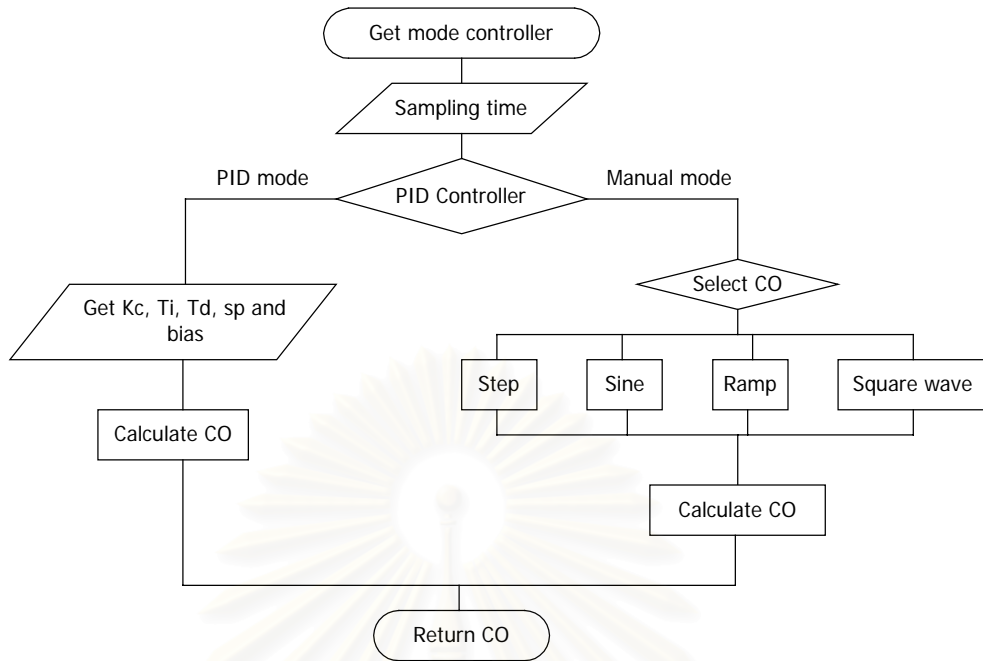
โพลีชาร์ทโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

โพลีชาร์ทของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

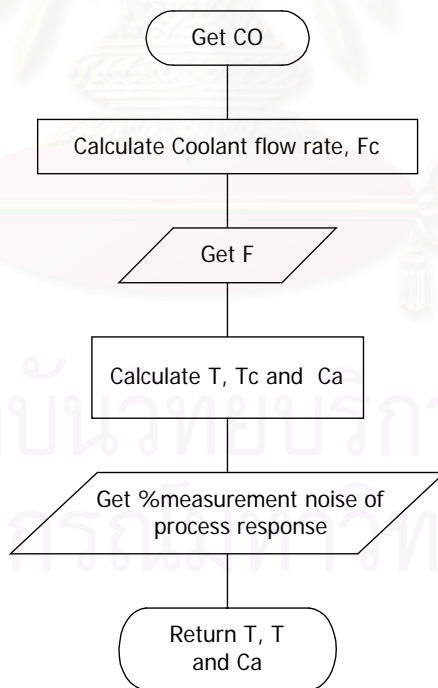
ขั้นแรกเลือกฟังก์ชันของตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ และคำนวณค่าที่ได้จากการเลือกฟังก์ชัน จากนั้นเลือกรูปแบบการควบคุมว่าเป็นแบบที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี หรือไม่ใช้ตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ทำการคำนวณสัญญาณควบคุมจากรูปแบบการเลือกตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ผู้ใช้กำหนด ในกรณีที่ไม่มีตัวควบคุม จะคำนวณสัญญาณควบคุมได้จากการเลือกฟังก์ชัน แล้วทำการคำนวณคุณสมบัติของเครื่องปฏิกรณ์ คุณสมบัติของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้น โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณ ดังรูปที่ ค.1, รูปที่ ค.2 และรูปที่ ค.3 ตามลำดับ



รูปที่ ค.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง



รูปที่ ค.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเครื่องปฏิกรณ์
ถังกวนแบบต่อเนื่อง



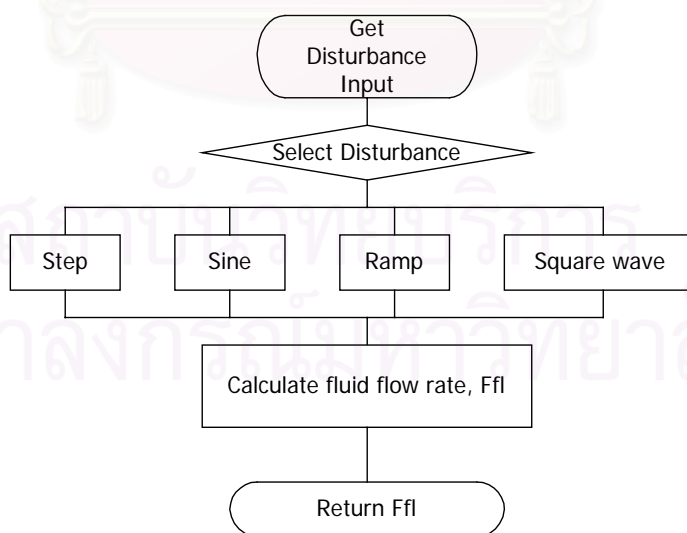
รูปที่ ค.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรม
เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ภาคผนวก ง

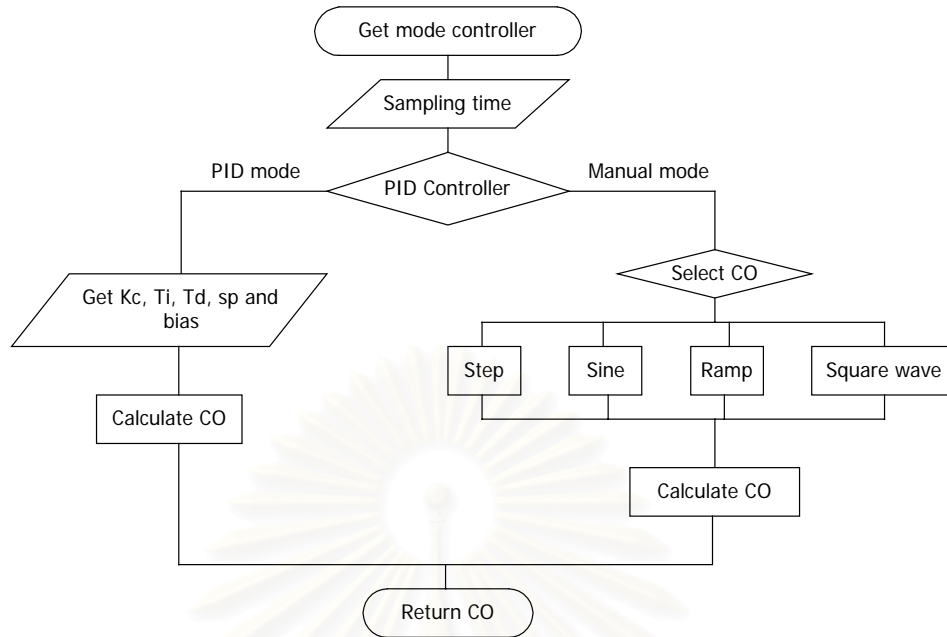
โพลีชาร์ทโปรแกรมระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวน แบบต่อเนื่องต่อกัน

โพลีชาร์ทของโปรแกรมฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมสำหรับระบบเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

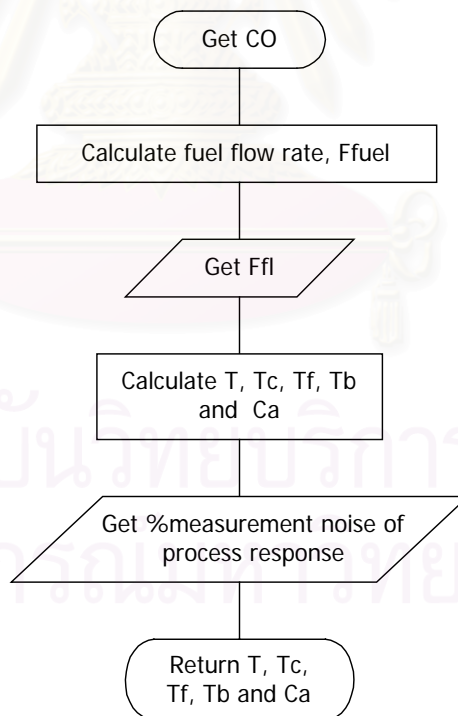
ขั้นแรกเลือกฟังก์ชันของตัวรบกวนกระบวนการ คือ อัตราการไหลของของเหลวในท่อเตาเผา และคำนวณค่าที่ได้จากการเลือกฟังก์ชัน จากนั้นเลือกรูปแบบการควบคุมว่าเป็นแบบที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี หรือไม่ใช่ตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ทำการคำนวณสัญญาณควบคุมจากรูปแบบการเลือกตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ผู้ใช้กำหนด ในกรณีที่ไม่ใช่ตัวควบคุม จะคำนวณสัญญาณควบคุมได้จากการเลือกฟังก์ชัน แล้วทำการคำนวณอุณหภูมิของของเหลวที่ออกจากท่อเตาเผา อุณหภูมิของเตาเผา อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และความเข้มข้นของสารตั้งต้น โพลีชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณ ดังรูปที่ ง.1, รูปที่ ง.2 และรูปที่ ง.3 ตามลำดับ



รูปที่ ง.1 โพลีชาร์ทแสดงการคำนวณตัวรบกวนกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน



รูปที่ ง.2 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณสัญญาณควบคุมสำหรับโปรแกรมเตาเผาและ
เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน



รูปที่ ง.3 โฟลว์ชาร์ทแสดงการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการสำหรับโปรแกรมเตาเผาและ
เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องต่อกัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เกิดศิริ ศิริรัตน์กุลชัย เกิดเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัด พิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2541 และเข้า ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย