

โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง



นางสาว วิภา เจริญกิจวัฒน์ชัย

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0708-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A PROGRAM FOR PROCESS DYNAMICS AND CONTROL TRAINNING :
CUSTOM PROCESSES AND TANK LEVEL SYSTEMS

Miss Wipa Charoenkitwattanachai



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 2001

ISBN 974-03-0708-6

วิชา เจริญกิจวัฒนธรรม : โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุม
กระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถัง. (A PROGRAM FOR PROCESS
DYNAMICS AND CONTROL TRAINING : CUSTOM PROCESSES AND TANK
LEVEL SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี. จำนวนหน้า 116 หน้า.
ISBN 974-03-0708-6.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุม
กระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง โดยภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา
โปรแกรม คือภาษาจาวา วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัยนี้เพื่อใช้สำหรับการฝึกอบรมทางด้าน
พลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองแบบเชิงเส้น และการควบคุมระดับของของ
เหลวในระบบถัง ซึ่งเป็นระบบที่ทำการจำลองขึ้น และเป็นระบบที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้
ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีทั้งสองกระบวนการ กระบวนการแบบกำหนดเองที่ใช้ในการศึกษาเป็น
กระบวนการที่มีอันดับไม่เกินอันดับสาม และสิ่งรบกวนกระบวนการแบบกำหนดเองเป็นกระบวนการ
ที่มีอันดับไม่เกินอันดับสอง ส่วนกระบวนการในระบบถังที่ใช้ในการศึกษาสามารถเลือกระบบ
1 ถึง 2 ถึง และ 3 ถึง ได้โดยที่ลักษณะการต่อถังสามารถต่อแบบที่มีการรบกวนและไม่รบกวนของ
ระดับของของเหลวระหว่างถัง

จากการทดสอบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ สรุปว่ากระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบ
ระดับถังสามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2544

4170524221: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: CUSTOM PROCESSES/TANK/SIMULATION/JAVA/TRAINNING
 WIPA CHAROENKITWATTANACHAI: A PROGRAM FOR PROCESS
 DYNAMICS AND CONTROL TRAINNING: CUSTOM PROCESSES AND
 TANK LEVEL SYSTEMS.

THESIS ADVISOR: DR. MONTREE WONGSRI. 116 pp.

ISBN 974-03-0708-6.

This research is the development of a program for process dynamic and control training which consists of two processes, custom process and tank level system, controlled by PID controller. Custom process is a linear process which users can specify in Overdamped or Underdamped model of process and disturbance process, function of controller output and disturbance to measure process variable dynamic. The maximum order of the process is the third order while the disturbance is the second order. The function of controller output and disturbance are step, sine wave, ramp and square wave. Tank level system is a nonlinear process, which users can adjust percent of liquid flow rate and disturbance flow rate in a tank, the maximum number of tanks are 3 which can be connected as an interacting and non-interacting system. In addition to adjusting flow rate, users can select parameter of tank such as height, diameter and type of valve such as linear, equal percentage or square root to study the process response which indicates its dynamics in graphics, value and bar chart.

The results show that program can be used for training process dynamic and control for custom process and tank level system.

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department CHEMICAL ENGINEERING Student's signature.....
 Field of study CHEMICAL ENGINEERING Advisor's signature.....
 Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ไพศาล กิตติศุภกร และดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่น้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย ที่คอยกระตุ้นให้ทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
 กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
 สารบัญ.....ช
 สารบัญตาราง.....ฅ
 สารบัญภาพ.....ฉ
 คำอธิบายสัญลักษณ์.....ถ

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 (Speedup)7
 2.4 โปรแกรมคอนโทรลสเตชัน (Control Station)8
 3. กระบวนการแบบกำหนดเอง.....9
 3.1 โครงสร้างกระบวนการแบบกำหนดเอง.....9
 3.2 กระบวนการ.....10
 3.3 กระบวนการรบกวน.....11
 3.4 ตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ.....11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. กระบวนการระบบระดับถึง.....	12
4.1 ระบบถึงต่ออนุกรม.....	12
4.1.1 ระบบถึงต่ออนุกรมแบบที่ 1.....	13
4.1.2 ระบบถึงต่ออนุกรมแบบที่ 2.....	14
4.2 วาล์วควบคุม.....	15
4.3 กระบวนการของระบบถึง.....	17
4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการระบบระดับถึง.....	17
4.3.2 กระบวนการของระบบ 1 ถึง.....	18
4.3.3 กระบวนการของระบบ 2 ถึง.....	20
4.3.4 กระบวนการของระบบ 3 ถึง.....	22
5. ตัวควบคุม.....	24
5.1 ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี.....	24
5.2 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	27
5.3 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบระดับถึง.....	28
6. โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุม	
กระบวนการกำหนดเองและระบบระดับถึง.....	30
6.1 โปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง	
และระบบระดับถึง.....	30
6.2 โครงสร้างของโปรแกรม.....	32
6.2.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	32
6.2.1.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	32
6.2.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในกระบวนการระบบระดับถึง.....	35
6.2.2 ส่วนการประมวลผล.....	41
6.2.2.1 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	41
6.2.2.2 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง.....	43
6.2.3 ส่วนแสดงผล.....	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2.3.1	ส่วนแสดงผลของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	46
6.2.3.2	ส่วนแสดงผลของโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง.....	48
6.3	ผลการเลียนแบบกระบวนการของโปรแกรมที่ได้พัฒนา และผลการทดสอบเปรียบเทียบโปรแกรมเลียนแบบกระบวนการที่ได้พัฒนากับโปรแกรมเชิงพาณิชย์.....	50
6.3.1	กรณีศึกษาที่ 1 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสอง.....	50
6.3.2	กรณีศึกษาที่ 2 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสาม.....	63
6.3.3	กรณีศึกษาที่ 3 กระบวนการระบบ 1 ถึง.....	76
6.3.4	กรณีศึกษาที่ 4 กระบวนการระบบ 2 ถึง.....	82
6.3.5	กรณีศึกษาที่ 4 กระบวนการระบบ 3 ถึง.....	87
7.	สรุปผลการวิจัย.....	92
7.1	ข้อสรุปโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง...	92
7.2	เงื่อนไขการทดสอบโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์.....	92
7.3	สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์.....	93
7.3.1	สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	93
7.3.2	สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง 1 ถึง.....	94
7.3.3	สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง 2 ถึงและ 3 ถึง.....	95
7.4	ขีดจำกัดของโปรแกรม.....	96
7.5	ข้อเสนอแนะ.....	96
	รายการอ้างอิง.....	97

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก โปรแกรม Simulink.....	100
ภาคผนวก ข ภาษาจาวา.....	106
ภาคผนวก ค ไฟล์ซาร์ทโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	109
ภาคผนวก ง ไฟล์ซาร์ทโปรแกรมระบบระดับถัง.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว $f(x)$ และค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์ว (x).....	15
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	33
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง.....	38
ตารางที่ 6.3 พารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากการจูนตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 2 ถึง.....	83
ตารางที่ 6.4 พารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากการจูนตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 3 ถึง.....	88



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 โครงสร้างกระบวนการแบบกำหนดเองในงานวิจัย.....	9
รูปที่ 4.1 ระบบดังต่ออนุกรมแบบที่ 1.....	13
รูปที่ 4.2 ระบบดังต่ออนุกรมแบบที่ 2.....	14
รูปที่ 4.3 ลึ้นของวาล์วควบคุมแบบต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุมและค่าเศษส่วนการเปิดปิด วาล์วควบคุม.....	16
รูปที่ 4.5 กระบวนการของระบบ 1 ถึง.....	18
รูปที่ 4.6 กระบวนการของระบบ 2 ถึง.....	20
รูปที่ 4.7 กระบวนการของระบบ 3 ถึง.....	22
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	27
รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 1.....	28
รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 2.....	28
รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 3.....	28
รูปที่ 6.1 การเลือกโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการ แบบกำหนดเองและระบบระดับถัง.....	31
รูปที่ 6.2 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	34
รูปที่ 6.3 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง (ต่อ)	35
รูปที่ 6.4 โปรแกรมกระบวนการระบบ 1 ถึง.....	36
รูปที่ 6.5 โปรแกรมกระบวนการระบบ 2 ถึง.....	37
รูปที่ 6.6 โปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง.....	37
รูปที่ 6.7 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบระดับถัง.....	39
รูปที่ 6.8 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบระดับถัง (ต่อ)	40
รูปที่ 6.9 ไฟล์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	42
รูปที่ 6.10 ไฟล์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถัง.....	45
รูปที่ 6.11 บล็อกไดอะแกรมแสดงผลค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	46
รูปที่ 6.12 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	47
รูปที่ 6.13 การแสดงผลด้วยกราฟแท่งของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง.....	47
รูปที่ 6.14 การแสดงผลด้วยรูปภาพและค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.15 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง.....49

รูปที่ 6.16 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped.....51

รูปที่ 6.17 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชัน
สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย.....52

รูปที่ 6.18 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า
เป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ป จาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย.....52

รูปที่ 6.19 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชัน
สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย.....53

รูปที่ 6.20 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า
เป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย.....53

รูปที่ 6.21 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรระบบเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก
0 หน่วยเป็น 20 หน่วย ผ่านกระบวนการระบบอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$
.....55

รูปที่ 6.22 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัว
แปรระบบเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ป 20 หน่วย ผ่านกระบวนการระบบอันดับ 2 ที่มี
ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$
.....55

รูปที่ 6.23 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรระบบลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 20
หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการระบบอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน.....56

รูปที่ 6.24 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัว
แปรระบบลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ป 20 หน่วย ผ่านกระบวนการระบบอันดับ 2 ที่มี
ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$
.....56

รูปที่ 6.25 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสองแบบ Underdamped.....57

รูปที่ 6.26 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชัน
สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 30 หน่วย.....58

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.27 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชัน สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 30 หน่วยในโปรแกรม Simulink.....	58
รูปที่ 6.28 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชัน สเต็ปจาก 30 หน่วยเป็น 50 หน่วย.....	59
รูปที่ 6.29 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชัน สเต็ปจาก 30 หน่วยเป็น 50 หน่วยในโปรแกรม Simulink.....	59
รูปที่ 6.30 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวนเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 15 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$	61
รูปที่ 6.31 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวนเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 15 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$ ในโปรแกรม Simulink.....	61
รูปที่ 6.32 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวนลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 15 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$	62
รูปที่ 6.33 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวนลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 15 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$ ในโปรแกรม Simulink.....	62
รูปที่ 6.34 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสามแบบ Overdamped.....	64
รูปที่ 6.35 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชัน สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย.....	65
รูปที่ 6.36 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า เป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย.....	65
รูปที่ 6.37 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชัน สเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย.....	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.38 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย.....66

รูปที่ 6.39 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)} \dots\dots\dots 68$$

รูปที่ 6.40 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)} \dots\dots\dots 68$

รูปที่ 6.41 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)} \dots\dots\dots 69$$

รูปที่ 6.42 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)} \dots\dots\dots 69$

รูปที่ 6.43 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสามแบบ Underdamped.....70

รูปที่ 6.44 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย.....71

รูปที่ 6.45 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วยในโปรแกรม Simulink71

รูปที่ 6.46 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย.....72

รูปที่ 6.47 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วยในโปรแกรม Simulink72

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- รูปที่ 6.48 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวงเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวงอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
- $$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \dots\dots\dots 74$$
- รูปที่ 6.49 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวงเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวงอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
- $$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink} \dots\dots\dots 74$$
- รูปที่ 6.50 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวงลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวงอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
- $$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \dots\dots\dots 75$$
- รูปที่ 6.51 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรอบวงลดลงแบบฟังก์ชันสเต็ปจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวงอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน
- $$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink} \dots\dots\dots 75$$
- รูปที่ 6.52 ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft²
ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} วาล์วชนิดเชิงเส้น
ความสูงระดับของของเหลวที่สภาวะคงตัว 2.24 เมตร.....76
- รูปที่ 6.53 ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 20 ft²
ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} วาล์วชนิดเชิงเส้น
ความสูงระดับของของเหลวที่สภาวะคงตัว 2.59 เมตร.....77
- รูปที่ 6.54 ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft²
ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 15 gpm/psi^{1/2} วาล์วชนิดเชิงเส้น
ความสูงระดับของของเหลวที่สภาวะคงตัว 0.17 เมตร.....77
- รูปที่ 6.55 ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft²
ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} วาล์วชนิด Equal percentage
ความสูงระดับของของเหลวที่สภาวะคงตัว 2.98 เมตร.....78

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.56 ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft ² ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi ^{1/2} วาล์วชนิด Quick opening ความสูงระดับของของเหลวที่สภาวะคงตัว 0.77 เมตร.....	78
รูปที่ 6.57 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น จาก 2 ft เป็น 6 ft.....	80
รูปที่ 6.58 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า เป้าหมายเพิ่มขึ้นจาก 2 ft เป็น 6 ft.....	80
รูปที่ 6.59 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อปรับอัตราการไหลรบกวนเพิ่มขึ้น 5 ลิตรต่ออนาที.....	81
รูปที่ 6.60 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control เมื่อปรับอัตราการไหล รบกวนเพิ่มขึ้น 5 ลิตรต่ออนาที.....	81
รูปที่ 6.61 ผลการเลียนแบบกระบวนการในระบบ 2 ถัง.....	82
รูปที่ 6.62 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่า เป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft.....	84
รูปที่ 6.63 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft	84
รูปที่ 6.64 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่ออัตราการไหลรบกวนเพิ่มขึ้นในถังใบที่ 1 10% ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft	85
รูปที่ 6.65 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่ออัตราการไหลรบกวนในถัง ใบที่ 1 เพิ่มขึ้น 10% ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft...85	
รูปที่ 6.66 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่า เป้าหมายในถังใบที่ 2 = 3 ft.....	86
รูปที่ 6.67 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่า เป้าหมายในถังใบที่ 2 = 4 ft.....	86
รูปที่ 6.68 ผลการเลียนแบบกระบวนการระบบ 3 ถัง.....	87
รูปที่ 6.69 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายโดย ค่าเป้าหมายถังใบที่ 1 = 3 ft ถังใบที่ 2 = 2 ft และถังใบที่ 3 = 1 ft	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.70 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายโดย
ค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 1 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft และถึงใบที่ 3 = 1 ft89

รูปที่ 6.71 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่ออัตราการไหลรอบวนเพิ่มขึ้น 10%
เมื่อค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 3 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft และถึงใบที่ 3 = 1 ft90

รูปที่ 6.72 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่ออัตราการไหลรอบวนเพิ่ม
ขึ้น 10% เมื่อค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 3 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft และถึงใบที่ 3 = 1 ft90

รูปที่ 6.73 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายโดย
ค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 2 ft ถึงใบที่ 2 = 4 ft และถึงใบที่ 3 = 2 ft91

รูปที่ 6.74 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายโดย
ค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 2 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft และถึงใบที่ 3 = 4 ft91

รูปที่ ก.1 บล็อกไดอะแกรมของตัวกำเนิดสัญญาณแบบต่าง ๆ.....101

รูปที่ ก.2 บล็อกไดอะแกรมของตัวแสดงผลการซิมูเลทแบบต่าง ๆ.....101

รูปที่ ก.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้นต่าง ๆ.....102

รูปที่ ก.4 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 2 ถึง.....103

รูปที่ ก.5 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 3 ถึง.....104

รูปที่ ค.1 โพลีชาร์ทการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการรอบวน.....110

รูปที่ ค.2 โพลีชาร์ทการคำนวณสัญญาณควบคุม.....111

รูปที่ ค.3 โพลีชาร์ทการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการ.....112

รูปที่ ง.1 โพลีชาร์ทการคำนวณอัตราการไหลเข้าของของเหลวทั้งหมดลงสู่ถังใบที่ 1114

รูปที่ ง.2 โพลีชาร์ทการคำนวณอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังใบในระบบ 3 ถึง
.....115

คำอธิบายสัญลักษณ์

K	ค่าเกณฑ์ของกระบวนการ
K_c	ค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม
τ_i	ค่าคงที่เวลาอินทิเกรต
τ_d	ค่าคงที่เวลาเดริเวทีฟ
τ_L	ลีดไทม์ (Lead Time)
τ_n	คาบเวลาธรรมชาติ (Natural Period)
τ_1, τ_2, τ_3	ค่าคงที่ที่เวลา 1 ค่าคงที่ที่เวลา 2 และค่าคงที่ที่เวลา 3
CO	ตัวแปรปรับกระบวนการ
PV	ตัวแปรกระบวนการ หรือผลตอบสนองของกระบวนการ
e	ค่าความคลาดเคลื่อนของกระบวนการจากค่าเป้าหมาย
θ	เดดไทม์ (Dead Time)
ξ	แดมปีงแฟคเตอร์ (Damping Factor)
g	ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการ
g_d	ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการรบกวน
g_c	ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของตัวควบคุม
q_i	อัตราการไหลเข้าของของเหลวในถังใบที่ 1
q_p	อัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากป้อน
q_d	อัตราการไหลรบกวนเข้าของของเหลวในถังใบที่ 1
q_1, q_2, q_3	อัตราการไหลออกของของเหลวจากถังใบที่ 1 ใบที่ 2 และใบที่ 3
V_1, V_2	วาล์ว 1 และวาล์ว 2
CV_1, CV_2, CV_3	วาล์วควบคุม 1 วาล์วควบคุม 2 และวาล์วควบคุม 3
k_1, k_2	ค่าคงที่ของวาล์ว 1 และวาล์ว 2
A	พื้นที่หน้าตัดของถัง
h	ระดับของของเหลวในถัง
h_{2n}, h_{3n}	ระดับความสูงของถังที่ทำให้เกิดการรบกวนในถังใบที่ 2 และใบที่ 3
ρ	ความหนาแน่นของของเหลว
x	ค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์ว

คำอธิบายสัญลักษณ์

 $f(x)$

ค่าคงที่คูณสมบัติวาล์ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การศึกษาการควบคุมกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีในปัจจุบัน มีการใช้โปรแกรมเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ ช่วยให้วิศวกรและพนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสามารถเรียนรู้พลศาสตร์ของกระบวนการและการควบคุม มีทักษะและสามารถควบคุมกระบวนการได้แทนการปฏิบัติการกับกระบวนการจริง ก่อให้เกิดผลในแง่ดีทั้งในด้านทรัพย์สินและความปลอดภัยของผู้ประกอบการและพนักงาน ในปัจจุบันโปรแกรมเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่วางจำหน่ายอยู่นั้นมีราคาแพง เนื่องจากต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ให้กับผู้ที่ทำการพัฒนา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ เรียกว่า โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถัง ซึ่งในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาโปรแกรมศึกษาพลวัตของกระบวนการและการควบคุมกระบวนการสองกระบวนการคือ กระบวนการแบบกำหนดเอง (Custom Processes) และระบบระดับถัง (Tank Level Systems)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและการควบคุมระดับของของเหลวในระบบระดับถัง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถึงมีขอบเขตของงานวิจัยในแต่ละกระบวนการดังนี้

1 ขอบเขตงานวิจัยในระบบระดับถึง

- 1.1 ผู้ใช้สามารถเลือกระบบถึงที่สามารถกำหนดจำนวนถึงได้มากที่สุด เป็นจำนวน 3 ถึง โดยถึงที่นำมาต่อกันสามารถต่อกันแบบระบบที่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลว (Interacting System) และระบบที่ไม่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลว (Non-interacting System)
- 1.2 ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดของถึง ความสูงของถึง ค่าสัมประสิทธิ์รัวาล์ว และชนิดของลิ้นวาล์วควบคุม
- 1.3 อัตราการไหลออกของของเหลวจากถึงแปรผันตามรากที่สองของระดับของของเหลวในถึง
- 1.4 ผู้ใช้สามารถทำการควบคุมได้เฉพาะระดับของของเหลวในถึงเท่านั้น โดยสมมติฐานว่าอุณหภูมิ ความดันและคุณสมบัติของของเหลวในถึงมีค่าคงที่
- 1.5 ผู้ใช้สามารถใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในการควบคุมระดับของของเหลวในระบบระดับถึง
- 1.6 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ ภาษาจาวา
- 1.7 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวในระบบระดับถึงด้วยรูปภาพและกราฟ เมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม
- 1.8 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้มีการป้อนค่าที่ไม่ถูกต้อง เช่น ผู้ใช้ป้อนค่าพารามิเตอร์ของระบบ หรือค่าเป้าหมายเกินกว่าที่กำหนด และแสดงสัญญาณเตือนเมื่อผลตอบสนองของการควบคุมมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด

2 ขอบเขตงานวิจัยในกระบวนการแบบกำหนดเอง

- 2.1 กระบวนการแบบกำหนดเองเป็นกระบวนการเชิงเส้นที่มีอันดับไม่เกินอันดับ 3
- 2.2 สิ่งรอบวงกระบวนการเป็นกระบวนการเชิงเส้นที่มีอันดับไม่เกินอันดับ 2
- 2.3 ผู้ใช้สามารถใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง
- 2.4 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ ภาษาจาวา
- 2.5 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับกระบวนการ ผลตอบสนองของกระบวนการ และค่าเป้าหมายด้วยค่า กราฟ และกราฟแท่ง เมื่อมีการควบคุมและไม่มี การควบคุม
- 2.6 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้ใช้มีการป้อนค่าที่ไม่ถูกต้อง เช่น ผู้ใช้ป้อนค่าพารามิเตอร์ของระบบ หรือค่าเป้าหมายเกินกว่าที่กำหนด และแสดงสัญญาณเตือนเมื่อผลตอบสนองของการควบคุมมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โปรแกรมการฝึกอบรมนี้ นิสิต นักศึกษา วิศวกร พนักงานในกระบวนการอุตสาหกรรม และผู้สนใจสามารถใช้ในการศึกษาเรียนรู้และฝึกทักษะพลวัตของกระบวนการและการควบคุมระบบระดับถึงและกระบวนการแบบกำหนดเองได้โดยไม่ต้องทำการทดลองจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ

1. ศึกษา และรวบรวมข้อมูล และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาที่ผ่านมา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนรวบรวมผลงานวิจัยที่ผ่านมา และศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของระบบระดับถัง กระบวนการกำหนดเอง และตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดี

2. ศึกษาวิธีการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการศึกษาภาษาจาวา ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์อ้างอิงเชิงวัตถุ โดยศึกษาถึงวิธีการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาจาวา การนำวัตถุที่มีในภาษาจาวาไปพัฒนาโปรแกรม เช่น การสร้างเมนู การสร้างวัตถุสำหรับให้ผู้ใช้ป้อนค่า ศึกษาถึงวิธีการเขียนภาพกราฟฟิก เคลื่อนไหว 2 มิติ เช่น ภาพการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวในถัง การพล็อตกราฟตามเวลา

3. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม โดยพัฒนาโปรแกรมในส่วนของกราฟิกในกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง พัฒนาโปรแกรมในส่วนของแบบจำลองกระบวนการ และตัวควบคุมกระบวนการ

4. ทดสอบโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดสอบกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบถัง 1 ถึงที่ได้พัฒนาขึ้นมากับโปรแกรม **Control Station** ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่ และทดสอบโปรแกรมระบบถัง 2 ถึง และ 3 ถึงที่ได้พัฒนาขึ้นมากับโปรแกรม **Simulink** เพื่อทดสอบแนวโน้มความถูกต้องของโปรแกรม และตรวจสอบแก้ไขโปรแกรมให้ถูกต้องสวยงาม

5. สรุปผลงานวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเนื้อหาต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 7 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมางานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม ได้แก่ การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลิ้น การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลิ้นโดยใช้โปรแกรม Speedup และ โปรแกรม Control Station

บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้างของกระบวนการแบบกำหนดเอง ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถเลือกในกระบวนการแบบกำหนดเอง

บทที่ 4 กล่าวถึงลักษณะการต่อถึงแบบที่มีอันตรกิริยาต่อกัน และไม่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลว ทำให้มีผลต่ออัตราการไหลออกของของเหลวว่าจะไหลไปในทิศทางใด ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังและการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวในถังแต่ละใบ และอธิบายถึงโครงสร้างระบบระดับถึงทั้งหมดที่ใช้ศึกษาพลวัตการควบคุมในงานวิจัยชนิดของลิ้นวาล์วที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งสัมพันธ์กับการเปิดปิดวาล์ว

บทที่ 5 กล่าวถึงตัวควบคุมพีไอดีที่ใช้ในกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง

บทที่ 6 กล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถึง รายละเอียดของโปรแกรมในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล ผลการเปลี่ยนแปลงการควบคุมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

บทที่ 7 กล่าวถึงบทสรุปเกี่ยวกับโปรแกรมรวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในงานวิจัย

บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

บทนี้กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม ได้แก่ การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ การจำลองระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรมสปีดอัพ (Speedup) และโปรแกรม Control Station

2.1 การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ

การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ โดย อรรถนพ ลิ้มไพบูลย์ (1994) อรรถนพใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยโครงสร้างการควบคุมหลายแบบ ระบบหอกลับจะกั้นแยกสารไฮโดรคาร์บอน 2 สาร ตัวแปรที่ต้องการควบคุม คือ สัดส่วนโดยโมลของสารเบาในผลิตภัณฑ์ที่ออกมาด้านบนหรือด้านล่างหอกลับ ระดับของเหลวในหอป้อนกลับ และระดับของเหลวที่ด้านล่างหอกลับ โปรแกรมการจำลองที่ได้จะมีส่วนเมนูหน้าจอที่ติดต่อกับเมาส์ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนข้อมูลและใช้งานโปรแกรม ผลที่ได้จากการรันโปรแกรมแสดงในรูปภาพจากการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมกับโปรแกรมสำเร็จรูป HYSIM ผลที่ได้จากการคำนวณที่สภาวะคงตัว คุณสมบัติแต่ละเทอร์ย์ของหอกลับที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมมีความแตกต่างไม่เกิน 3 องศาฟาเรนไฮต์

2.2 การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง

การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของเหลวสองถัง โดย สุรัตน์ (1995) สุรัตน์ได้เขียนโปรแกรม TTLSIM ด้วยภาษาซี เพื่อหาข้อสรุปว่า ระบบที่ทำการจำลองซึ่งเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น สามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดีได้หรือไม่ และนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนในวิชาพลศาสตร์และการควบคุมกระบวนการ การทดสอบการควบคุมกระทำโดยหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม (แบบเกินสุดยอด) และแบบทดลองสอบผล การทดสอบการใช้งานเป็นโปรแกรมช่วยสอน กระทำโดยให้ผู้เกี่ยวข้องทดลองใช้ จากการทดสอบพบว่า ระบบที่ถูกจำลองสามารถถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีได้ทุกโหมดและสามารถนำไปใช้เป็นโปรแกรมช่วยสอนได้

2.3 การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรมสปีดอัป (Speedup)

การควบคุมเชิงพลวัตของหอกลับโดยใช้โปรแกรมสปีดอัป (Speedup) โดยสมหวัง (1997) สมหวังได้เลียนแบบการทำงานของระบบควบคุมหอกลับ โดยใช้โปรแกรมสปีดอัประบบหอกลับเป็นการกัลันแยกสาร 3 องค์ประกอบ คือ เบนซีน โทลูอิน และไซลีน การควบคุมหอกลับเป็นการควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โครงสร้างการควบคุมที่ศึกษา คือ วิธี VD, VL และ LV ตัวแปรที่ต้องการควบคุม คือ สัดส่วนโดยโมลของสารเบาในผลิตภัณฑ์ยอดหอ หรือของสารหนักในผลิตภัณฑ์ก้นหอ ระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์ และระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ สมรรถนะของแต่ละโครงสร้างเปรียบเทียบกันโดยใช้ค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด พบว่า โครงสร้างการควบคุมวิธี VD เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการควบคุมระดับของเหลว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ทำการทดสอบกับแบบจำลองหอกลับที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัส (Aspen Plus) โปรแกรมสปีดอัปที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถปรับเปลี่ยนและใช้สำหรับการประเมินหาเมื่อใช้โครงสร้างการควบคุมอื่น ๆ และใช้เทคนิคการควบคุมในขั้นสูง แบบจำลองของหอกลับสามารถเปลี่ยนจำนวนเทรย์, ตำแหน่งของเทรย์ป้อน และสามารถขยายให้มีการตั้งผลิตภัณฑ์ออกด้านข้างได้

2.4 โปรแกรม Control Station

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

2.4.1 Case Studies module เป็นส่วนการจำลองการฝึกอบรมการควบคุมกระบวนการ ประกอบด้วย การควบคุมระดับของเหลวในถัง การควบคุมอุณหภูมิเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การควบคุมความเข้มข้นของสารภายในเครื่องปฏิกรณ์ และการควบคุมความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ภายในหอกลั่น โดยใช้ตัวควบคุมพื้นฐาน P, PI และ PID รวมถึงตัวควบคุมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ได้แก่ cascade control, feed forward control, digital & model predictive control

2.4.2 Design Tools module เป็นส่วนที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม รวมถึงความสามารถในการคำนวณหาแบบจำลองกระบวนการพลวัตเชิงเส้นที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงเมื่อข้อมูลที่นำมาคำนวณมาจากกระบวนการจริง ดังนั้นจึงสามารถใช้แก้ปัญหาได้จริงจากการออกแบบตัวควบคุม การวิเคราะห์และการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม

2.4.3 Custom Process module เป็นส่วนที่เราสามารถกำหนดกระบวนการและตัวควบคุมที่ต้องการศึกษาได้ ทำให้เราทราบถึงผลดีและผลเสียของตัวควบคุมที่แตกต่างกัน ความว่องไวในการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

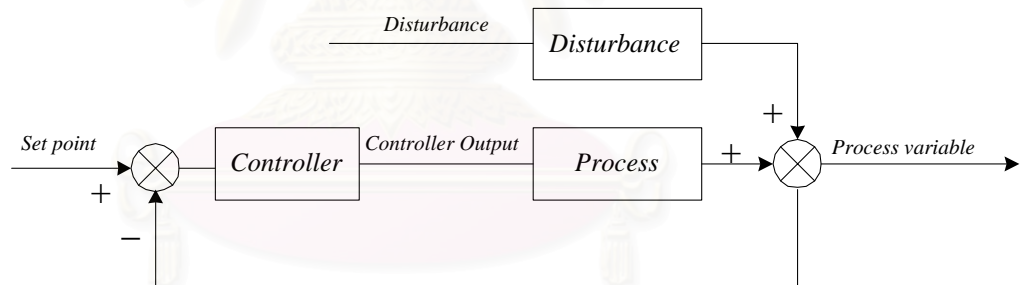
บทที่ 3

กระบวนการแบบกำหนดเอง

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของกระบวนการแบบกำหนดเอง กระบวนการ สิ่งรบกวนกระบวนการ ชนิดของตัวแปรปรับกระบวนการ และชนิดของตัวรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ในกระบวนการแบบกำหนดเอง

3.1 โครงสร้างกระบวนการแบบกำหนดเอง

กระบวนการแบบกำหนดเองที่ใช้ศึกษาพลวัตการควบคุมกระบวนการในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการแบบเชิงเส้นมีอันดับไม่เกิน 3 ซึ่งมีโครงสร้างการควบคุมกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างกระบวนการแบบกำหนดเองในงานวิจัย

รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างกระบวนการแบบกำหนดเอง (Ogunnaike, Babatunde A, 1994) ในงานวิจัยนี้ผู้ใช้สามารถป้อนค่าตัวแปรปรับกระบวนการ (Controller output) ตัวรบกวนกระบวนการ (Disturbance) กระบวนการ (Process) และสิ่งรบกวนกระบวนการ โดยค่าตัวแปรปรับกระบวนการจะถูกป้อนเข้าไปในกระบวนการ และค่าตัวรบกวนจะถูกป้อนเข้าไปในสิ่งรบกวนกระบวนการ ซึ่งจะได้ผลตอบสนองกระบวนการจากเอาต์พุทของกระบวนการ รวมกับเอาต์พุทของสิ่งรบกวนกระบวนการ เนื่องจากในกระบวนการจริงอาจเกิดการรบกวนขึ้นในการวัดผลตอบสนองกระบวนการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดเปอร์เซ็นต์รบกวนการวัดค่าผลตอบสนอง

กระบวนการได้จากโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบถึง

ตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ซึ่งผู้ใช้สามารถป้อนค่าเป้าหมาย และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวควบคุมเพื่อนำไปคำนวณสัญญาณควบคุมให้ได้ผลตอบสนองของกระบวนการตามต้องการ

3.2 กระบวนการ

กระบวนการในกระบวนการแบบกำหนดเองที่ใช้ศึกษาพลวัตการควบคุมในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการแบบเชิงเส้นที่ผู้ใช้ต้องป้อนทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการซึ่งอยู่ในรูป ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดเมนที่สามารถกำหนดพารามิเตอร์กระบวนการโดยที่มีอันดับของกระบวนการไม่เกินอันดับสาม ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการศึกษากระบวนการซึ่งทรานสเฟอร์ฟังก์ชันไม่อยู่ในรูป ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดเมน ต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดเมนก่อน

สมการของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการที่มีอันดับของกระบวนการไม่เกินอันดับสามที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อกระบวนการเป็นกระบวนการโอเวอร์แดมพ์ (Overdamped process) เขียนในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.1) เมื่อกระบวนการเป็นกระบวนการอันเดอร์แดมพ์ (Underdamped process) เขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.2) และเมื่อกระบวนการเป็นกระบวนการคริติคอลลีแดมพ์ (Critically damped process) เขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.1) ในกรณีที่ $\tau_1 = \tau_2$ หรือ $\tau_2 = \tau_3$ หรือ $\tau_1 = \tau_3$ หรือเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.2) ในกรณีที่ $\zeta = 1$ ดังนี้

$$g(s) = \frac{K(\tau_L s + 1)e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)} \quad (3.1)$$

$$g(s) = \frac{K(\tau_L s + 1)e^{-\theta s}}{(\tau_n^2 s^2 + 2\zeta\tau_n s + 1)(\tau s + 1)} \quad (3.2)$$

3.3 สิ่งรบกวนกระบวนการ

สิ่งรบกวนกระบวนการในกระบวนการแบบกำหนดเองที่ใช้ศึกษาพลวัตการควบคุมในงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการแบบเชิงเส้นที่ผู้ใช้ต้องป้อนทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของสิ่งรบกวนกระบวนการซึ่งอยู่ในรูปทรานสเฟอ์มโดเมนที่สามารถกำหนดพารามิเตอร์ของสิ่งรบกวนกระบวนการโดยที่มีอันดับของสิ่งรบกวนกระบวนการไม่เกินอันดับสอง ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการศึกษากระบวนการซึ่งทรานสเฟอ์ฟังก์ชันไม่อยู่ในรูปทรานสเฟอ์มโดเมน ต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปทรานสเฟอ์มโดเมนก่อน

สมการของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของสิ่งรบกวนกระบวนการที่มีอันดับของกระบวนการไม่เกินอันดับสองที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อสิ่งรบกวนเป็นกระบวนการโอเวอร์แดมพ์ (Overdamped process) เขียนในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.3) เมื่อสิ่งรบกวนเป็นกระบวนการอันเดอร์แดมพ์ (Underdamped process) เขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.4) และเมื่อสิ่งรบกวนเป็นกระบวนการคริติคอลลีแดมพ์ (Critically damped process) เขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.3) ในกรณีที่ $\tau_1 = \tau_2$ หรือ $\tau_2 = \tau_3$ หรือ $\tau_1 = \tau_3$ หรือเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (3.4) ในกรณีที่ $\zeta = 1$ ดังนี้

$$g_d(s) = \frac{K(\tau_L s + 1)e^{-\alpha}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (3.3)$$

$$g_d(s) = \frac{K(\tau_L s + 1)e^{-\alpha}}{(\tau_n^2 s^2 + 2\zeta\tau_n s + 1)} \quad (3.4)$$

3.4 ตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ

ตัวแปรปรับกระบวนการที่ถูกป้อนเข้าไปในกระบวนการ และตัวรบกวนกระบวนการที่ถูกป้อนเข้าไปในสิ่งรบกวนกระบวนการในงานวิจัยนี้ ผู้ใช้สามารถเลือกป้อนได้ 4 แบบ คือ ฟังก์ชันสเตพ ฟังก์ชันซายน์ ฟังก์ชันแรม และฟังก์ชันสแควเวฟ ตามลำดับ

บทที่ 4

กระบวนการระบบถึง

บทนี้กล่าวถึงลักษณะระบบถึงต่ออนุกรมแบบที่ทำให้มีอันตรกิริยาต่อกัน และแบบที่ไม่ทำให้มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลว ซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลออกของของเหลวและทิศทางการไหลของของเหลวว่าจะไหลไปในทิศทางใด และการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลวในถังแต่ละใบ และอธิบายถึงโครงสร้างระบบระดับถึงทั้งหมดที่ใช้ศึกษาพลศาสตร์การควบคุมในงานวิจัย ชนิดของลิ้นวาล์วที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งสัมพันธ์กับการเปิดปิดวาล์ว

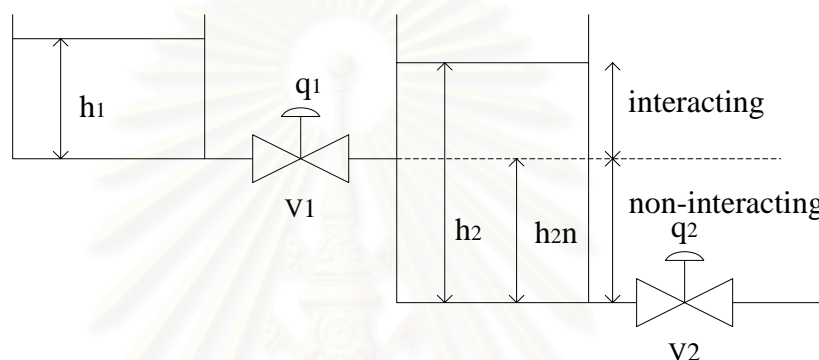
4.1 ระบบถึงต่ออนุกรม

การต่อถังสามารถต่อได้แบบที่ทำให้มีอันตรกิริยาต่อกันและไม่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลวระหว่างถัง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้อัตราการไหลออกของของเหลวจากถังแปรผันตามรากที่สองของระดับของของเหลวในถัง ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลออกของของเหลวและระดับของของเหลวที่ทำให้มีอันตรกิริยาต่อกันของของเหลวได้จากการลักษณะการต่อถัง 2 แบบดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 1

ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 1 นี้แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ไม่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของของเหลวระหว่างถัง และช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีอันตรกิริยาต่อกันของระดับของเหลวระหว่างถัง



รูปที่ 4.1 ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 1

รูปที่ 4.1 แสดงระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 1 ในช่วงที่ 1 เมื่อของเหลวในถังที่ 1 ไหลเข้าสู่ถังที่ 2 (เมื่อระดับของของเหลวในถังที่ 2 ยังต่ำกว่า h_{2n}) เป็นช่วงที่ไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน (Non-interacting) ของระดับของของเหลวระหว่างถังทั้งสอง แต่เมื่อของเหลวในถังที่ 1 ไหลเข้าสู่ถังที่ 2 มากขึ้นจนกระทั่งถึงระดับหนึ่ง (เมื่อระดับของของเหลวในถังที่ 2 สูงกว่าหรือเท่ากับ h_{2n}) จะเกิดเหตุการณ์ที่ระดับของเหลวในถังที่ 2 เกิดการรบกวนระดับของเหลวในถังที่ 1 ขึ้น (interacting) ซึ่งเป็นช่วงที่ 2

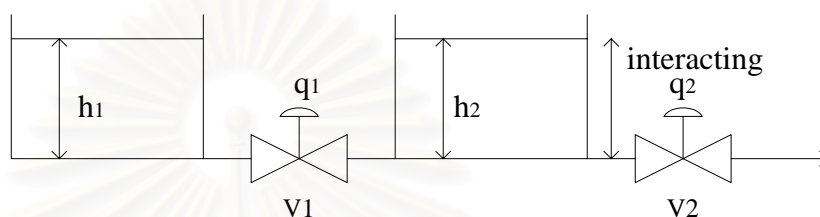
อัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 1 (q_1) หาได้จากสมการที่ (4.1) และอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 2 (q_2) หาได้จากสมการที่ (4.2) โดยที่เมื่อ $h_1 \geq (h_2 - h_{2n})$ แล้วทิศทางการไหลของของเหลวจะมีทิศการไหลจากถังแรกไปยังถังที่สอง และเมื่อ $h_1 < (h_2 - h_{2n})$ แล้วทิศทางการไหลของของเหลวจะมีทิศการไหลจากถังที่สองไปยังถังแรก

$$q_1 = \begin{cases} k_1 \sqrt{h_1 - (h_2 - h_{2n})} & ; h_2 \geq h_{2n} \\ k_1 \sqrt{h_1} & ; h_2 < h_{2n} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$q_2 = k_2 \sqrt{h_2} \quad (4.2)$$

4.1.2 ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 2

ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 2 เมื่อมีของเหลวในถังไม่ว่าถังใดก็ตาม จะเกิดการรบกวนระดับของเหลวตลอดเวลา



รูปที่ 4.2 ระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 2

รูปที่ 4.2 แสดงระบบถังต่ออนุกรมแบบที่ 2 เราสามารถหาอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 1 (q_1) ได้ดังสมการที่ (4.3) และอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 2 (q_2) ได้ดังสมการที่ (4.4) โดยที่เมื่อ $h_1 \geq h_2$ แล้วทิศทางการไหลของของเหลวจะมีทิศการไหลจากถังแรกไปยังถังที่สอง และเมื่อ $h_1 < h_2$ แล้วทิศทางการไหลของของเหลวจะมีทิศการไหลจากถังที่สองไปยังถังแรก

$$q_1 = k_1 \sqrt{|h_1 - h_2|} \quad (4.3)$$

$$q_2 = k_2 \sqrt{h_2} \quad (4.4)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 วาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมรับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม เพื่อเปิดปิดวาล์วตามที่ตัวควบคุมสั่ง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้วาล์วควบคุมเป็นชนิดปกติเปิด โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกชนิดหรือลักษณะการเปิดปิดวาล์วได้ 3 แบบดังตารางที่ 4.1

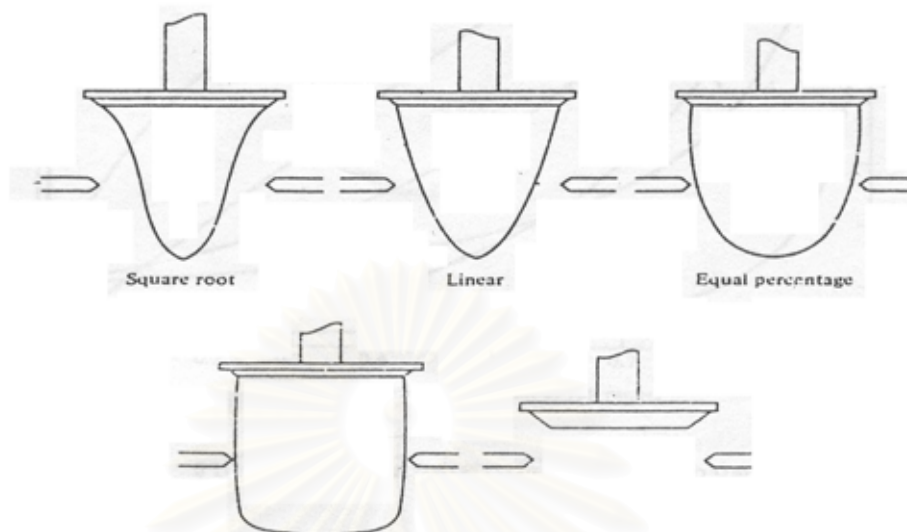
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว $f(x)$ และค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์ว (x)

ชนิดของลิ้นวาล์ว	ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว $f(x)$
Linear	X
Square root	\sqrt{x}
Equal percentage	R^{X-1} , R=พารามิเตอร์ของวาล์ว

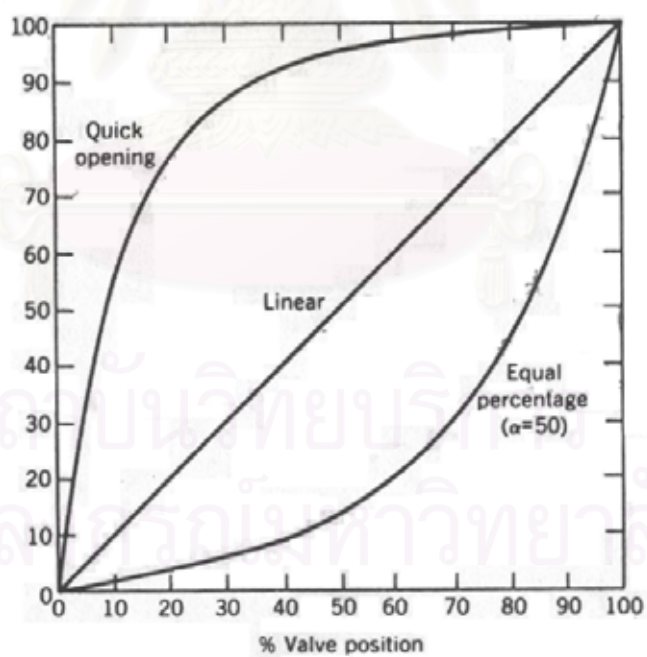
ลิ้นของวาล์วควบคุมแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และความสัมพันธระหว่างค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุมและค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์วควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลว ค่าคงที่ของวาล์วควบคุม และค่าคงที่คุณสมบัติวาล์วแสดงได้ดังสมการ (4.5)

$$q = cv f(x) \sqrt{h} \quad (4.5)$$

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ลื่นของวาล์วควบคุมแบบต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุมและค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์วควบคุม

4.3 กระบวนการของระบบถัง

กระบวนการของระบบถังในงานวิจัยนี้มี 3 ระบบ คือ ระบบ 1 ถัง 2 ถัง และ 3 ถัง ซึ่งทั้งสามระบบนี้มีอัตราการไหลของของเหลวเข้าสู่ถังที่ 1 เหมือนกัน ประกอบด้วยอัตราการไหลของของเหลว (q_i) และอัตราการไหลรบกวนของของเหลวเข้าสู่ถังที่ 1 (q_d) ในงานวิจัยผู้ใช้สามารถป้อนอัตราการไหลของของเหลวได้ 4 แบบ คือ ฟังก์ชันสเตป ฟังก์ชันไซน์ ฟังก์ชันแรม และ ฟังก์ชันสแควร์เวฟ

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษากระบวนการของระบบมีดังนี้

- ก. อัตราการไหลออกของของเหลวแปรเปลี่ยนตามรากที่สองของระดับของของเหลวในถัง
- ข. อุณหภูมิ ความดันคงที่
- ค. ของเหลวมีความหนาแน่นคงที่เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ง. อัตราการไหลออกของของเหลวจากบ่มีอัตราการไหลคงที่

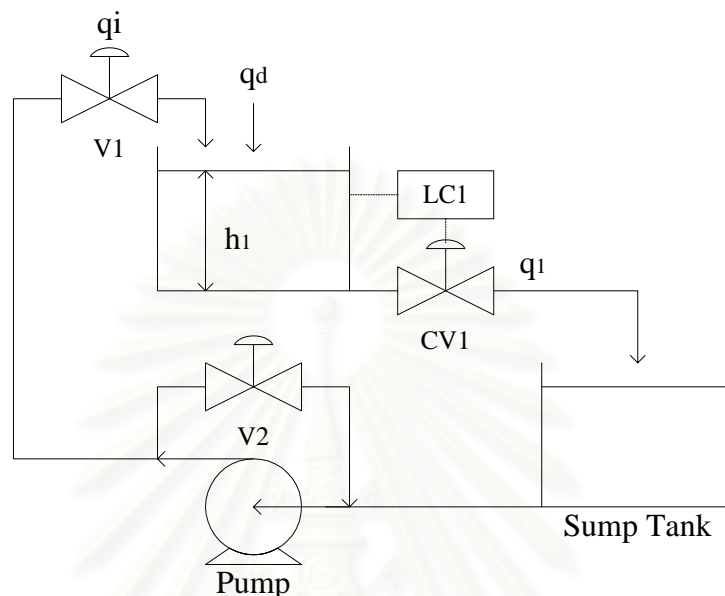
4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการระบบระดับถัง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการระบบระดับถังเพื่อศึกษากระบวนการ เราสามารถหาได้จากสมการอนุรักษ์มวล โดยผลตอบสนองของกระบวนการ คือ ระดับของของเหลวในถัง และตัวแปรปรับกระบวนการ คือ ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุมของอัตราการไหลออกของของเหลวจากถัง ในแบบจำลองกระบวนการที่เราศึกษานั้น เราไม่ได้พิจารณาถึงไปถึงรายละเอียดต่าง ๆ เช่น ท่อส่งของเหลว บ่มี วาล์ว และตัววัด เป็นต้น เนื่องจากจะทำให้แบบจำลองที่เราศึกษามีความยุ่งยาก โดยได้นัยสำคัญของผลตอบสนองของกระบวนการเท่าเดิม สมการอนุรักษ์มวลในแต่ละถังหาได้จากสมการ (4.6)

สมการอนุรักษ์มวล

$$\text{อัตราการสะสมมวล} = \text{อัตราการไหลของมวลเข้าถัง} - \text{อัตราการไหลของมวลออกจากถัง} \quad (4.6)$$

4.3.2 กระบวนการของระบบ 1 ถึง



รูปที่ 4.5 กระบวนการของระบบ 1 ถึง

ปั๊มสูบของเหลวจากถังพัก (Sump tank) โดยมีของเหลวบางส่วนบายพาสผ่านวาล์ว $V2$ เราสามารถปรับอัตราการไหลของของเหลว q_i ลงสู่ถังใบที่ 1 ด้วยวาล์ว $V1$ นอกจากนี้ยังมีของเหลวที่ได้จากการควบคุมระบบมีอัตราการไหลรอบวน q_d ไหลลงสู่ถังใบที่ 1 ด้วย เนื่องจากอัตราการไหลออกของของเหลวจากปั๊มมีอัตราการไหลคงที่ และไม่คิดเสดเนื่องจากความแตกต่างระดับระหว่าง $V1$ และ $V2$ ฉะนั้นวาล์ว $V1$ และ $V2$ ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งอัตราการไหล โดยสมมติว่าการแบ่งอัตราการไหลเป็นแบบเชิงเส้น

หากการแบ่งอัตราการไหลเป็นแบบเชิงเส้นมีความผิดพลาด ก็ไม่ทำให้ผลตอบสนองของแบบจำลองกระบวนการผิดรูปแบบไป เนื่องจากไม่มีพลวัตใด ๆ และ q_i ไม่ใช่ตัวแปรที่ส่งผลถึงการตอบสนองตามเวลา เป็นเพียงพารามิเตอร์ตัวหนึ่งเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i เป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที โดยไม่ต้องกำหนดค่าคงที่ของวาล์ว $V1$, $V2$ และอัตราการไหลออกของของเหลวจากปั๊ม และสามารถกำหนดอัตราการไหลรอบวนเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i

สมการอนุรักษ์มวล

$$\rho A \frac{dh_1}{dt} = (\rho q_i + \rho q_d) - \rho q_1 \quad (4.7)$$

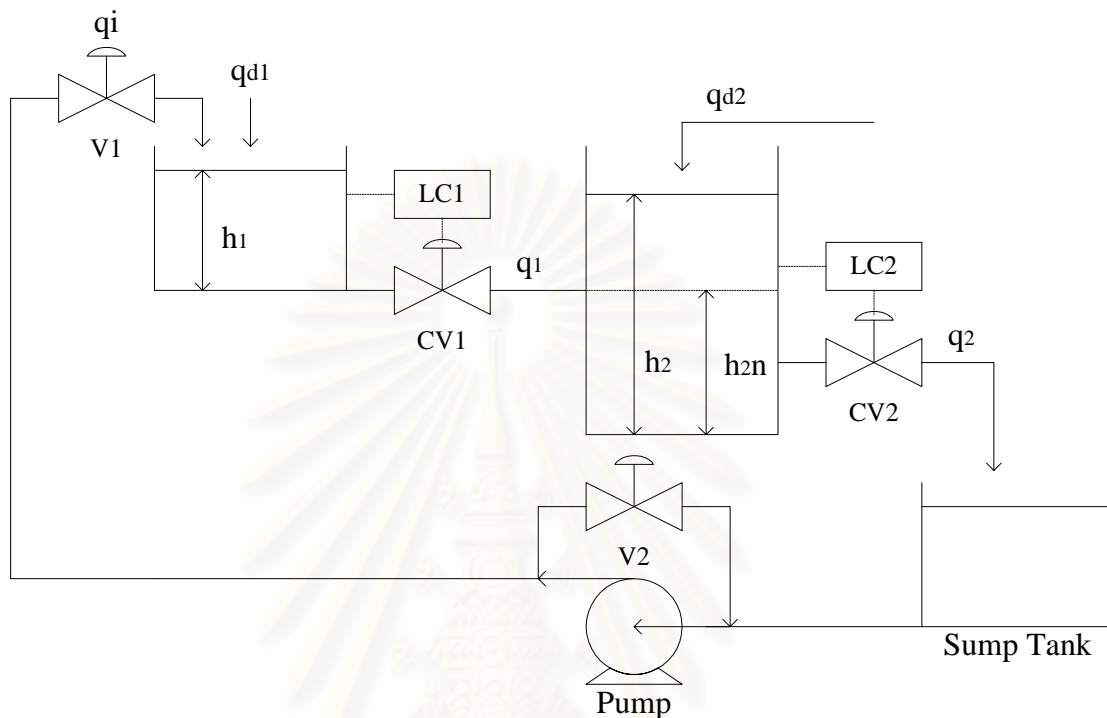
ตัวควบคุมตัวที่ 1 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 1 (q_1) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (CVI) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_1 = cv_1 f(x_1) \sqrt{h_1} \quad (4.8)$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 กระบวนการของระบบ 2 ถัง



รูปที่ 4.6 กระบวนการของระบบ 2 ถัง

ปั๊มสูบของเหลวจากถังพัก (Sump tank) โดยมีของเหลวบางส่วนบายพาสผ่าน วาล์ว $V2$ เราสามารถปรับอัตราการไหลของของเหลว q_i ลงสู่ถังใบที่ 1 ด้วยวาล์ว $V1$ นอกจากนี้ ยังมีของเหลวที่ได้จากการรบกวนระบบมีอัตราการไหลรบกวน q_{d1} ไหลลงสู่ถังใบที่ 1 และอัตราการไหลรบกวน q_{d2} ไหลลงสู่ถังใบที่ 2 ด้วย เนื่องจากปั๊มมีอัตราการสูบลคงที่ และไม่คิดเฮดเนื่องจากความแตกต่างระดับระหว่าง $V1$ และ $V2$ ฉะนั้นวาล์ว $V1$ และ $V2$ ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งอัตราการไหล โดยสมมติว่าการแบ่งอัตราการไหลเป็นแบบเชิงเส้นจึงไม่ทำให้ผลตอบสนองของแบบจำลองกระบวนการผิดรูปแบบไป เนื่องจากไม่มีพลวัตใด ๆ และ q_i ไม่ใช่ตัวแปรที่ส่งผลถึงการตอบสนองตามเวลา เป็นเพียงพารามิเตอร์ตัวหนึ่งเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i เป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที โดยไม่ต้องกำหนดค่าคงที่ของวาล์ว $V1$, $V2$ และอัตราการไหลออกของของเหลวจากปั๊ม และสามารถกำหนดอัตราการไหลรบกวนเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i

สมการอนุรักษ์มวล

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = (q_i + q_d) - q_1 \quad (4.9)$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (4.10)$$

ตัวควบคุมตัวที่ 1 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 1 (q_1) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (CV1) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_1 = \begin{cases} cv_1 f(x_1) \sqrt{|h_1 - (h_2 - h_{2n})|} ; h_2 \geq h_{2n} \\ cv_1 f(x_1) \sqrt{h_1} ; h_2 < h_{2n} \end{cases} \quad (4.11)$$

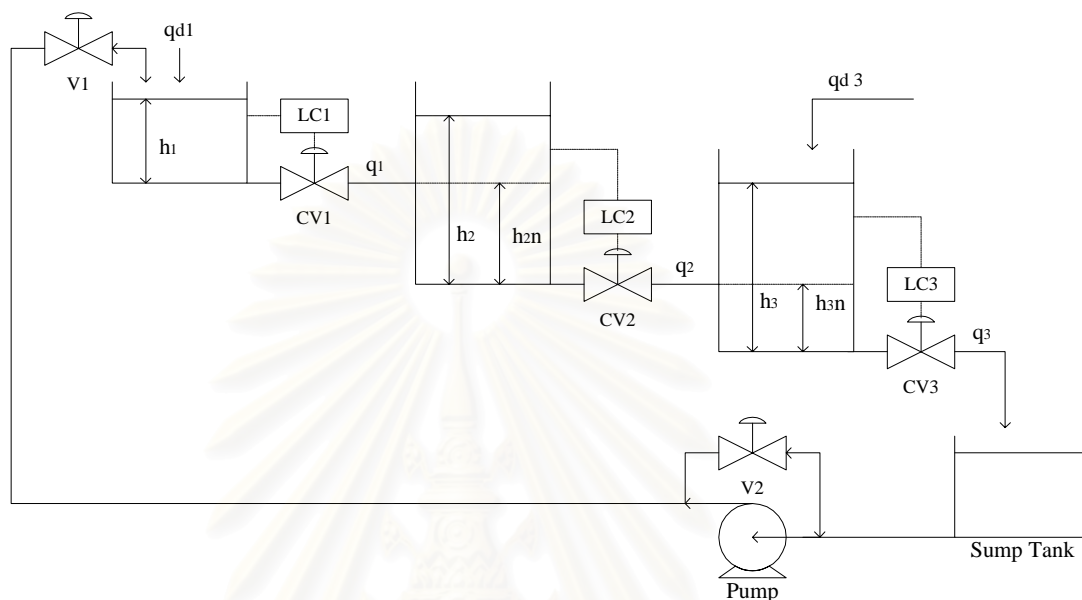
ตัวควบคุมตัวที่ 2 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 2 (q_2) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 2 (CV2) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_2 = cv_2 f(x_2) \sqrt{h_2} \quad (4.12)$$

ถ้าระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 สูงกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 ทิศทางการไหลของของเหลวจะไหลออกจากถังใบที่ 1 ไหลผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (CV1) ไหลเข้าถังใบที่ 2

ถ้าระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 ต่ำกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 จะทำให้เกิดแรงดันของของเหลวในถังใบที่ 2 ดันของเหลวให้มีทิศทางไหลย้อนกลับเข้าถังใบที่ 1

4.3.4 กระบวนการของระบบ 3 ถัง



รูปที่ 4.7 กระบวนการของระบบ 3 ถัง

ปั๊มสูบของเหลวจากถังพัก (Sump tank) โดยมีของเหลวบางส่วนบายพาสผ่านวาล์ว $V2$ เราสามารถปรับอัตราการไหลของของเหลว q_i ลงสู่ถังใบที่ 1 ด้วยวาล์ว $V1$ นอกจากนี้ยังมีของเหลวที่ได้จากการรบกวนระบบมีอัตราการไหลรบกวน q_{d1} ไหลลงสู่ถังใบที่ 1 และอัตราการไหลรบกวน q_{d3} ไหลลงสู่ถังใบที่ 3 ด้วย เนื่องจากปั๊มมีอัตราการสูบคงที่ และไม่คิดเห็ดเนื่องจากความแตกต่างระดับระหว่าง $V1$ และ $V2$ ฉะนั้นวาล์ว $V1$ และ $V2$ ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งอัตราการไหล โดยสมมติว่าการแบ่งอัตราการไหลเป็นแบบเชิงเส้นจึงไม่ทำให้ผลตอบสนองของแบบจำลองกระบวนการผิดรูปแบบไป เนื่องจากไม่มีพลวัตใด ๆ และ q_i ไม่ใช่ตัวแปรที่ส่งผลถึงการตอบสนองตามเวลาเป็นเพียงพารามิเตอร์ตัวหนึ่งเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i เป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที โดยไม่ต้องกำหนดค่าคงที่ของวาล์ว $V1$ และ $V2$ และอัตราการไหลออกของของเหลวจากปั๊ม และสามารถกำหนดอัตราการไหลรบกวนเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลเข้าของของเหลว q_i

สมการอนุรักษ์มวล

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = (q_i + q_d) - q_1 \quad (4.13)$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (4.14)$$

$$A_3 \frac{dh_3}{dt} = q_2 - q_3 \quad (4.15)$$

ตัวควบคุมตัวที่ 1 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 1 (q_1) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (CV1) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_1 = \begin{cases} cv_1 f(x_1) \sqrt{|h_1 - (h_2 - h_{2n}) - (h_3 - h_{3n})|}; (h_2 \geq h_{2n}) \cap (h_3 \geq h_{3n}) \\ cv_1 f(x_1) \sqrt{|h_1 - (h_2 - h_{2n})|}; (h_2 \geq h_{2n}) \cap (h_3 < h_{3n}) \\ cv_1 f(x_1) \sqrt{|h_1 - (h_3 - h_{3n})|}; (h_2 < h_{2n}) \cap (h_3 \geq h_{3n}) \\ cv_1 f(x_1) \sqrt{h_1}; (h_2 < h_{2n}) \cap (h_3 < h_{3n}) \end{cases} \quad (4.16)$$

ตัวควบคุมตัวที่ 2 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 2 (q_2) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 2 (CV2) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_2 = \begin{cases} cv_2 f(x_2) \sqrt{|h_2 - (h_3 - h_{3n})|}; h_3 \geq h_{3n} \\ cv_2 f(x_2) \sqrt{h_2}; h_3 < h_{3n} \end{cases} \quad (4.17)$$

ตัวควบคุมตัวที่ 3 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังใบที่ 3 โดยปรับอัตราการไหลของเหลวที่ไหลออกจากถังใบที่ 3 (q_3) ผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 3 (CV3) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_3 = cv_3 f(x_3) \sqrt{h_3} \quad (4.18)$$

ถ้าระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 สูงกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 ทิศทางการไหลของของเหลวจะไหลออกจากถังใบที่ 1 ไหลผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 1 (CV1) ไหลเข้าถังใบที่ 2 แต่ถ้าวัดระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 ต่ำกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 จะทำให้เกิดแรงดันของของเหลวในถังใบที่ 2 ดันของเหลวให้มีทิศทางไหลย้อนกลับเข้าถังใบที่ 1

ถ้าวัดระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 สูงกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 3 ทิศทางการไหลของของเหลวจะไหลออกจากถังใบที่ 2 ไหลผ่านวาล์วควบคุมตัวที่ 2 (CV2) ไหลเข้าถังใบที่ 3 แต่ถ้าวัดระดับของของเหลวในถังใบที่ 2 ต่ำกว่าระดับของของเหลวในถังใบที่ 3 จะทำให้เกิดแรงดันของของเหลวในถังใบที่ 3 ดันของเหลวให้มีทิศทางไหลย้อนกลับเข้าถังใบที่ 2

บทที่ 5

ตัวควบคุม

บทนี้กล่าวถึงตัวควบคุมที่ใช้ในระบบการแบบกำหนดเองและระบบระดับถังซึ่งใช้ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบการระบบระดับถัง และระบบการแบบกำหนดเอง

5.1 ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี

ตัวควบคุมแบบป้อนกลับพีไอดีเหมาะสำหรับการควบคุมกระบวนการเชิงเส้น ในงานวิจัยนี้เป็นตัวควบคุมพีไอดีแบบดิจิทัล ซึ่งมีรูปแบบมาจากสมการตัวควบคุมพีไอดีแบบอนาลอก ดังสมการที่ (5.1)

$$CO(k) = CO_0 + K_c \left(e(k) + \frac{1}{\tau_i} \int edt + \tau_d \frac{de}{dt} \right) \quad (5.1)$$

ในงานวิจัยนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีแบบดิจิทัลได้ 4 สมการดังนี้

5.1.1 โฟชันฟอร์มแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด (Position form with derivative on error)

$$CO(k) = CO_0 + K_c \left(e(k) + \frac{1}{\tau_i} \sum_{i=1}^k e(k) + \tau_d \frac{e(k) - e(k-1)}{\Delta t} \right) \quad (5.2)$$

ข้อเสียของตัวควบคุมพีไอดีโฟชันฟอร์มแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด คือ

- ก. ผู้ใช้ต้องทำการปรับค่า CO_0 ให้เหมาะสมในแต่ละสถานะหนึ่ง ๆ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่ดี
- ข. ในช่วงที่ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการยังไม่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ทันทีที่มีการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนอย่างรุนแรง จะทำให้เกิดการสะสมของเทอมอินทิกรัลมาก ส่งผลให้สัญญาณควบคุมมีค่ามาก ทำให้เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

- ค. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวน ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการมีค่ามาก ส่งผลต่อเทอมอนุพันธ์เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

5.1.2 โฟลิดชันฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าวัด (Position form with derivative on measurement)

$$CO(k) = CO_0 + K_c \left(e(k) + \frac{I}{\tau_i} \sum_{i=1}^k e(k) + \tau_d \frac{PV(k-1) - PV(k)}{\Delta t} \right) \quad (5.3)$$

ข้อดีของตัวควบคุมพีไอดีโฟลิดชันฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าวัด คือ

- ก. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนขึ้นในกระบวนการ แม้ว่าทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการมีค่ามาก แต่ได้มีการกำหนดให้ค่าเป้าหมายคงที่ในตัวควบคุมพีไอดีทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อเทอมอนุพันธ์ ส่งผลให้ไม่เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

ข้อเสียของตัวควบคุมพีไอดีโฟลิดชันฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าวัด คือ

- ก. ผู้ใช้ต้องทำการปรับค่า CO_0 ให้เหมาะสมในแต่ละสถานะหนึ่ง ๆ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่ดี
- ข. ในช่วงที่ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการยังไม่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ทันทีที่มีการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนอย่างรุนแรง จะทำให้เกิดการสะสมของเทอมอินทิกรัลมาก ส่งผลให้สัญญาณควบคุมมีค่ามาก ทำให้เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

5.1.3 เวลิตีฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด (Velocity form with derivative on error)

$$\Delta CO(k) = K_c \left[(e(k) - e(k-1)) + \frac{\Delta t}{\tau_i} e(k) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \right] \quad (5.4)$$

ข้อดีของตัวควบคุมพีไอดีเวลิตีฟอรัมแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด คือ

- ก. ผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลาในการปรับค่า CO_0 เนื่องจากใช้สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้ในครั้งก่อนแทนค่า CO_0
- ข. ในช่วงที่ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการยังไม่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ทันทีที่มีการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนอย่างรุนแรง ไม่ทำให้เกิดการสะสมของเทอมอินทิกรัล ทำให้ไม่เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

ข้อเสียของตัวควบคุมพีไอดีเวโลซิตีฟอร์มแบบอนุพันธ์ที่ค่าความผิดพลาด คือ

- ก. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวน ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการมีค่ามาก ส่งผลต่อเทอมอนุพันธ์เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

5.1.4 เวลิตีฟอร์มแบบอนุพันธ์ที่ค่าวัด (Velocity form with derivative on measurement)

$$\Delta CO(k) = K_c [(PV(k-1) - PV(k)) + \frac{\Delta t}{\tau_I} e(k) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (-PV(k) + 2PV(k-1) - PV(k-2))] \quad (5.5)$$

ข้อดีของตัวควบคุมพีไอดีเวโลซิตีฟอร์มแบบอนุพันธ์ที่ค่าวัด คือ

- ก. ผู้ใช้ไม่ต้องเสียเวลาในการปรับค่า CO_0 เนื่องจากใช้สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้ในครั้ง ก่อนแทนค่า CO_0
- ข. ในช่วงที่ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการยังไม่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนอย่างรุนแรง ไม่ทำให้เกิดการสะสมของเทอมอินทิกรัล ทำให้ไม่เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง
- ค. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือเกิดการรบกวนขึ้นในกระบวนการ แม้ว่าทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการมีค่ามาก แต่ได้มีการกำหนดให้ค่าเป้าหมายคงที่ในตัวควบคุมพีไอดีทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อเทอมอนุพันธ์ ส่งผลให้ไม่เกิดการตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่รุนแรง

ผลการตอบสนองของการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีจะได้ค่าเป้าหมายตามต้องการ ต้องมีการกำหนดค่าเกนสัดส่วน (K_c) ค่าคงที่เวลาอินทิกรัล (τ_i) ค่าคงที่เวลาของอนุพันธ์ของตัวควบคุม (τ_d) และค่าไบแอส (CO_0) ของตัวควบคุมให้เหมาะสม

เมื่อ $K_c > 0$ ตัวแปรปรับกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการมีค่าลดลง เรียกว่า **Reverse-acting**

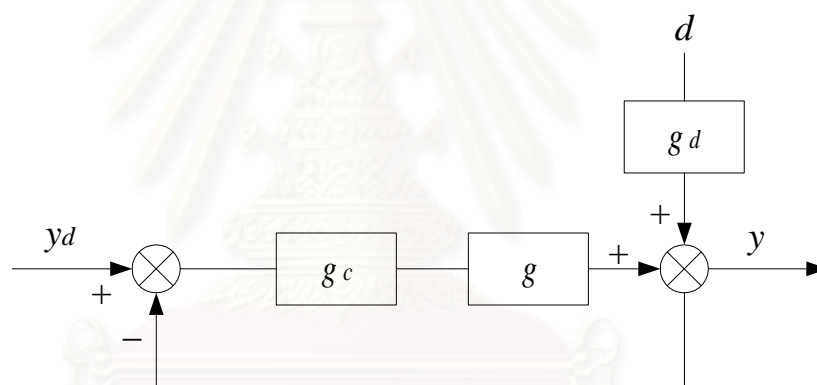
เมื่อ $K_c < 0$ ตัวแปรปรับกระบวนการจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลตอบสนองการควบคุมกระบวนการที่มีค่าเพิ่มขึ้น เรียกว่า **Direct-acting**

เนื่องจากระบบอาจเกิดรีเซ็ตพวดยืดหยุ่นในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย หรือมีการเปลี่ยนแปลงการรบกวน ทำให้สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้เกินจุดอิ่มตัวเนื่องจากเกิดการสะสมค่าความคลาดเคลื่อนมากในเทอมอินทิกรัล แม้ว่าในเวลาต่อมาผลตอบสนองการควบคุม

กระบวนการได้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่การสะสมค่าความคลาดเคลื่อนของเทอมอินทีกรัลยังส่งผลต่อสัญญาณควบคุมทำให้การปรับสัญญาณควบคุมเป็นไปอย่างช้า ๆ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้เกิดการปรับเปลี่ยนไม่ทันต่อผลตอบสนองของการควบคุมกระบวนการที่ต้องการ

ในงานวิจัยนี้สามารถกำหนดการยับยั้งรีเซ็ตทวายัพได้โดยกำหนดสัญญาณควบคุมมีค่าสูงที่สุดในขณะที่สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้มีค่าเกินจุดอิ่มตัว และกำหนดสัญญาณควบคุมให้มีค่าต่ำที่สุดในขณะที่สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของสัญญาณควบคุมที่สามารถปรับได้

5.2 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในกระบวนการแบบกำหนดเอง

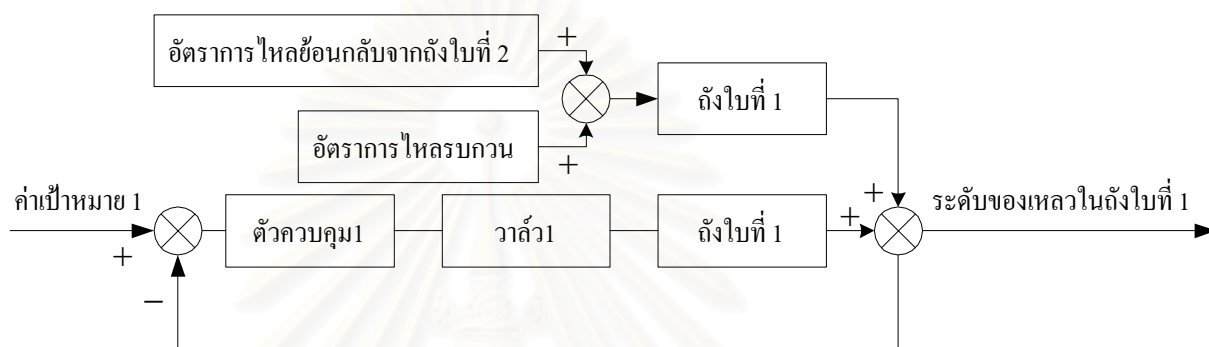


รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับในกระบวนการแบบกำหนดเอง

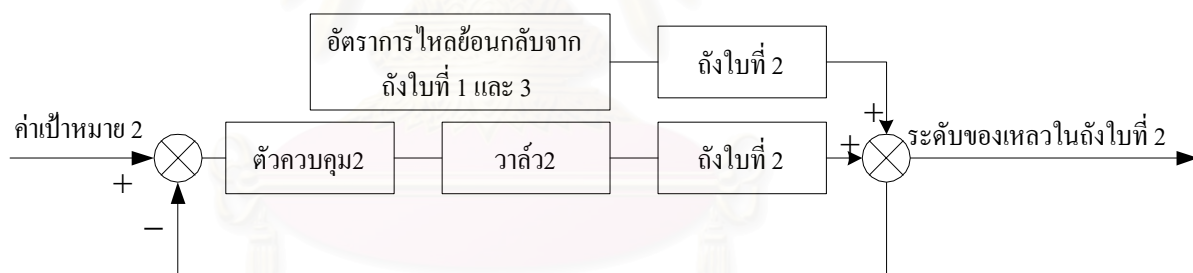
โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในกระบวนการแบบกำหนดเองนี้ใช้ตัวแปรปรับกระบวนการตัวเดียวเพื่อปรับผลตอบสนองของกระบวนการ (y) ให้มีผลตอบสนองตามค่าเป้าหมาย (y_d) จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของกระบวนการเป็นผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการและกระบวนการรบกวน โดยสัญญาณรบกวนมาจากตัวแปรรบกวน (d) ที่ผ่านกระบวนการรบกวน (g_d) ซึ่งต่างจากระบบระดับถึงที่สัญญาณรบกวนจะเข้าสู่กระบวนการพร้อมกับตัวแปรปรับกระบวนการจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

5.3 โครงสร้างการควบคุมป้อนกลับพีไอทีในระบบระดับถัง

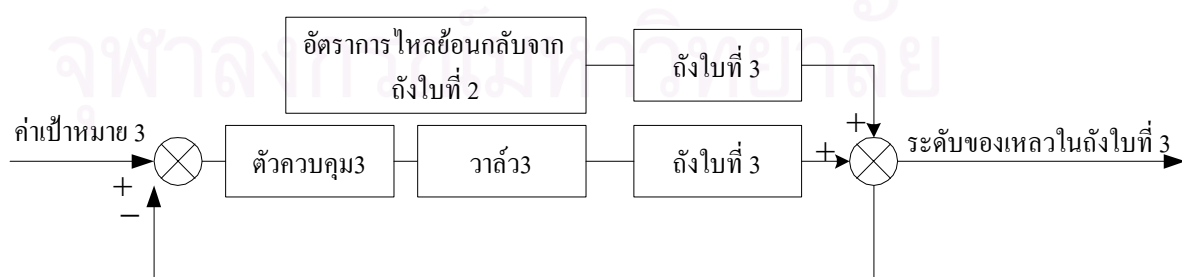
เนื่องจากการควบคุมในระบบระดับถังนั้นลักษณะคล้ายกันดังนั้นจึงขอกล่าวเฉพาะการควบคุมในระบบ 3 ถังเท่านั้นซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมของรูปการควบคุมของตัวควบคุมที่ 1 ตัวควบคุมที่ 2 และตัวควบคุมที่ 3 ดังรูปที่ 5.2 รูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 1



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 2



รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมในถังใบที่ 3

ในระบบระดับถึงแบบต่อกัน 3 ดังนั้นมีตัวแปรปรับกระบวนการ คือ วาล์วที่ทำหน้าที่ปรับค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วหรือการเปิดปิดวาล์ว และมีตัวควบคุมทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการปรับค่าระดับของของเหลวในแต่ละถังให้ได้ตามต้องการ ผู้ใช้สามารถที่จะทำการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในแต่ละตัวได้ โดยความยากง่ายในการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุมนี้ นอกจากขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละถัง แล้วยังขึ้นอยู่กับเกิดการรบกวนของระดับของของเหลวในแต่ละถังซึ่งมีผลต่อทิศทางการไหลออกของของเหลวที่ไม่แน่นอนเมื่อเกิดการรบกวนกัน และยังขึ้นอยู่กับขนาดของอัตราการไหลรบกวนอีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุม กระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง ส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล ผลการทดสอบการเลียนแบบกระบวนการของโปรแกรมที่พัฒนานี้กับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมทางด้านพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงที่ได้พัฒนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นิสิต นักศึกษา บุคลากรในภาคอุตสาหกรรมและผู้สนใจสามารถใช้โปรแกรมสำหรับการเรียนรู้พลวัตของการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงได้โดยไม่ต้องทำการทดลองจริง

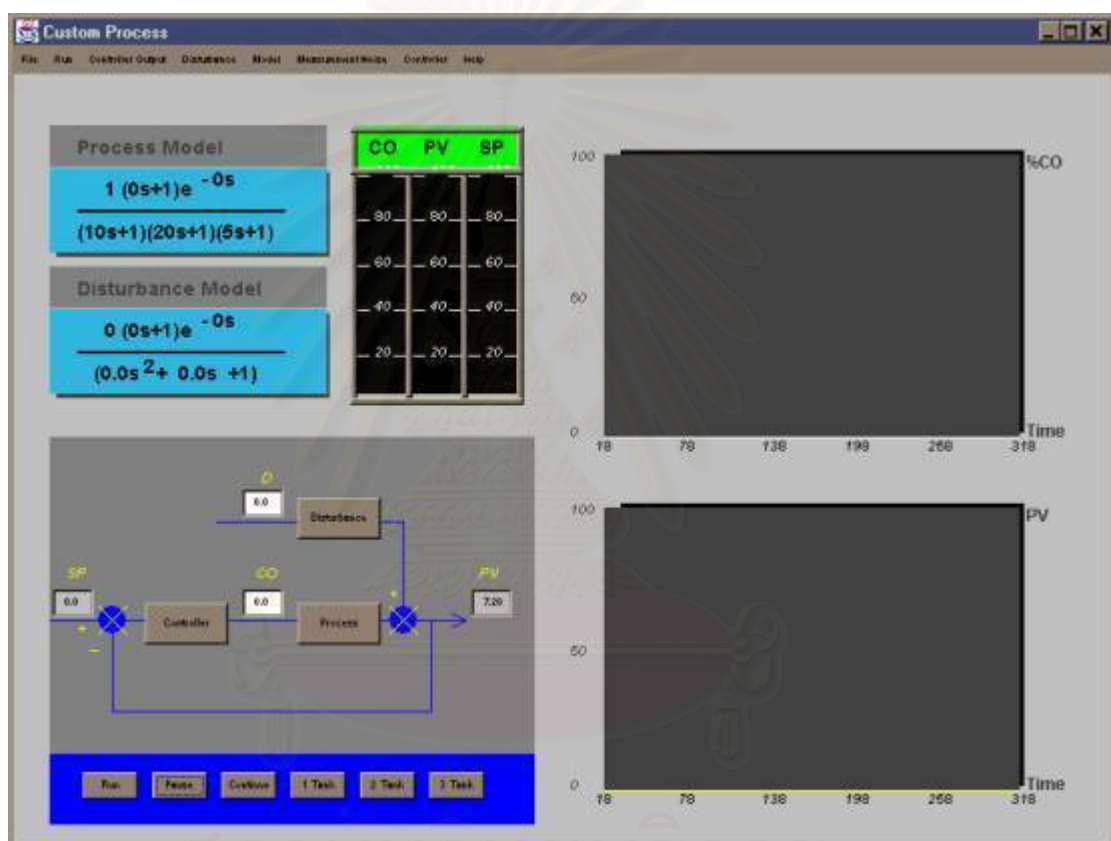
6.1 โปรแกรมสำหรับการฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง

โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถึงใช้ภาษาจาวา JDK1.2 ในการพัฒนาโปรแกรม มีความต้องการทางด้านระบบ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium II ขึ้นไป หรือเทียบเท่า พร้อมหน่วยความจำอย่างน้อย 64 MB และเนื้อที่ว่างในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 MB ระบบปฏิบัติการที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ Window98

โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงประกอบด้วย 4ไฟล์ ดังนี้

1. โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองไฟล์ Custom.java
2. โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการระบบ 1 ถึง ไฟล์ Tank1.java
3. โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการระบบ 3 ถึง ไฟล์ Tank2.java
4. โปรแกรมสำหรับฝึกการอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการระบบ 3 ถึง ไฟล์ Tank3.java

ผู้ใช้งานสามารถใช้งานโปรแกรมทั้งสี่ได้โดยทำการเรียกโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองขึ้นมาทำงานแล้วสามารถเลือกโปรแกรมอื่น ๆ ได้จากหน้าจอหลักของโปรแกรมใด ๆ ก็ได้ทั้งสี่โปรแกรม โดยกดปุ่มเลือกโปรแกรมได้ที่ปุ่ม “Custom”, “1Tank”, “2Tank”, “3Tank” ที่ด้านล่างซ้ายมือของหน้าจอหลัก เช่น เมื่อเข้าโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองแล้วจะสามารถเลือกโปรแกรมระบบระดับถึง 1 ถึง 2 ถึง หรือ 3 ก็ได้ที่ปุ่ม 1Tank, 2Tank, 3Tank ตามลำดับดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การเลือกโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถึง

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่หน้าจอหลักของโปรแกรมใด ๆ แล้วสามารถเลือกใช้ค่า default ของโปรแกรมได้ที่ปุ่ม “Run” หรืออาจเลือกได้ที่เมนูย่อยของเมนู “Run” เมื่อต้องการให้โปรแกรมหยุดประมวลผลชั่วคราวให้กดปุ่ม “Pause” และเมื่อต้องการให้โปรแกรมประมวลผลต่อหลังจากที่หยุดประมวลผลแล้วให้กดปุ่ม “Continue” ได้ที่ด้านล่างซ้ายของหน้าจอดังรูปที่ 6.1

6.2 โครงสร้างของโปรแกรม

โครงสร้างของโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถัง ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ส่วนการประมวลผล และส่วนแสดงผล ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

6.2.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

โครงสร้างของโปรแกรมในส่วนนี้เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่รับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผู้ใช้งานและส่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าสู่กระบวนการ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

6.2.1.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในกระบวนการแบบกำหนดเอง

เมื่อผู้ใช้งานทำการประมวลผลโปรแกรมแล้ว จะปรากฏหน้าจอหลักของกระบวนการแบบกำหนดเองดังรูปที่ 6.1 ประกอบด้วยเมนู

- File
- Run
- Controller Output
- Disturbance
- Model
- Measurement Noise
- Controller
- Help

สำหรับเมนูแต่ละเมนูประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

เมนู “File” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Exit”

เมนู “Run” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Start”, “Pause”, “Continue”, “Reset Clock”

เมนู “Controller Output” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Step”, “Sine”, “Ramp”, “Square Wave”

เมนู “Disturbance” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Step”, “Sine”, “Ramp”, “Square Wave”

เมนู “Model” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Process Model”, “Disturbance Model”

เมนู “Measurement Noise” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Measurement Noise”

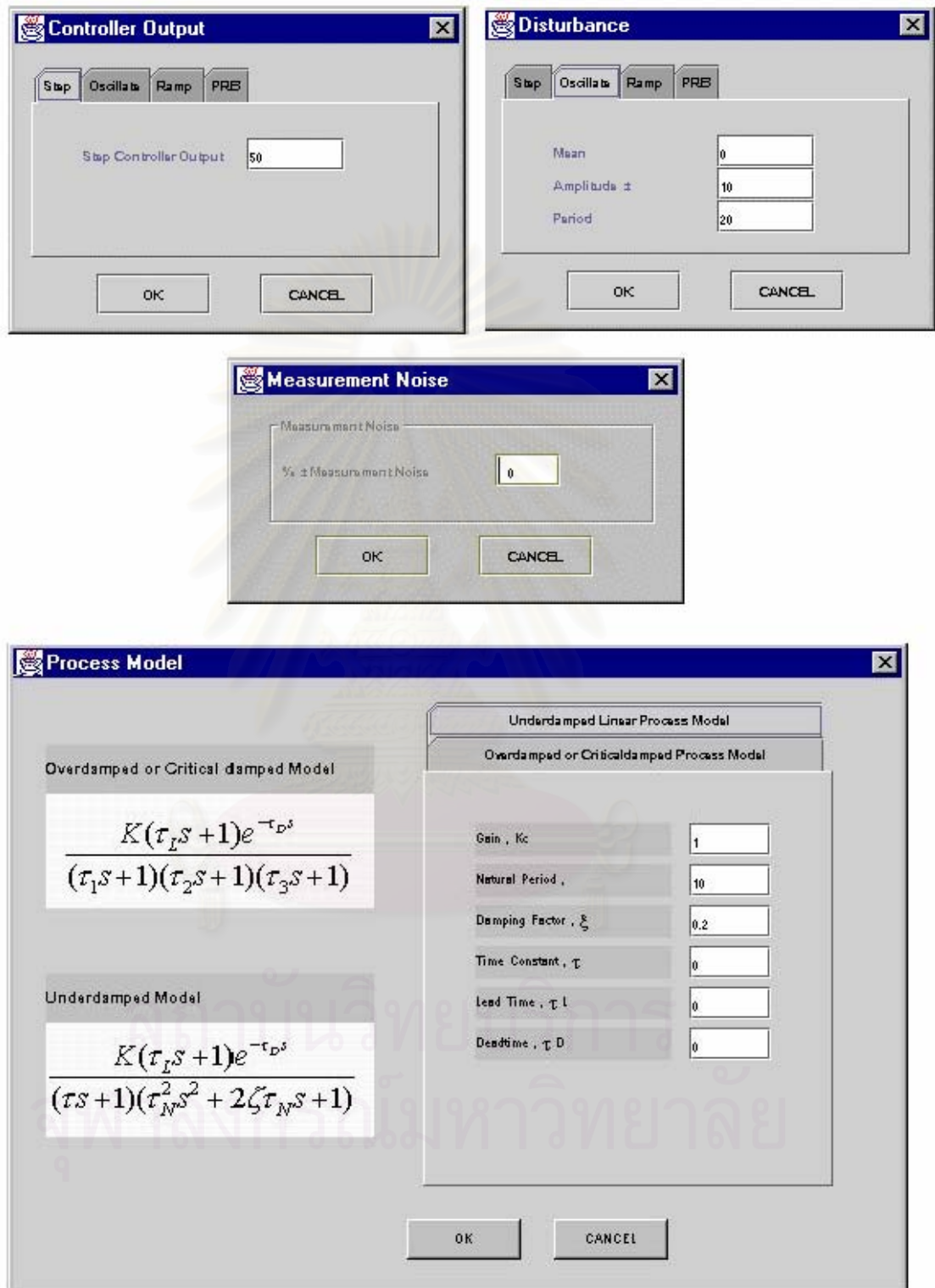
เมนู “Controller” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Manual”, “PID Controller”

เมนู “Help” ประกอบด้วยเมนูย่อย “About”

รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองได้จากตารางที่ 6.1 และหน้าจอของเมนูย่อยแสดงได้ดังรูปที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

เมนูย่อย	ผู้ใช้งานทำการเลือกเมื่อต้องการ
”Exit”	ออกจากโปรแกรม
”Start”	ประมวลผลโปรแกรม
”Pause”	หยุดประมวลผลโปรแกรม
”Continue”	ประมวลผลโปรแกรมต่อ
”Reset Clock”	ประมวลผลโปรแกรมใหม่
”Step”	กำหนดฟังก์ชันสเต็ปสำหรับตัวแปรปรับกระบวนการ หรือตัวรบกวนกระบวนการ
”Oscillate”	กำหนดฟังก์ชันไซน์สำหรับตัวแปรปรับกระบวนการ หรือตัวรบกวนกระบวนการ
”Ramp”	กำหนดฟังก์ชันเร่มสำหรับตัวแปรปรับกระบวนการ หรือตัวรบกวนกระบวนการ
”Square Wave”	กำหนดฟังก์ชันสแควเวฟสำหรับตัวแปรปรับกระบวนการ หรือตัวรบกวนกระบวนการ
”Process Model”	กำหนดพารามิเตอร์กระบวนการ
”Disturbance Model”	กำหนดพารามิเตอร์กระบวนการรบกวน
”Measurement Noise”	กำหนดเปอร์เซ็นต์รบกวนของการวัดตัวแปรกระบวนการ
”Manual”	เมื่อไม่ต้องการตัวควบคุม
”PID Controller”	กำหนดพารามิเตอร์ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี
”About”	บอกถึงชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม และอาจารย์ที่ปรึกษา



รูปที่ 6.2 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

รูปที่ 6.3 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง (ต่อ)

6.2.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในกระบวนการระบบระดับถัง

เมื่อผู้ใช้เลือกโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถังแล้วจะปรากฏหน้าจอหลักของโปรแกรมกระบวนการระบบ 1 ดังรูปที่ 6.4 กระบวนการระบบ 2 ดังรูปที่ 6.5 กระบวนการระบบ 3 ดังรูปที่ 6.6 หน้าจอหลักในแต่ละกระบวนการประกอบด้วยเมนูดังนี้

- File
- Run
- Parameter
- Flow Rate Inlet
- Disturbance
- Measurement Noise
- Controller
- Help

สำหรับเมนูแต่ละเมนูประกอบด้วยเมนูย่อยดังนี้

เมนู “File” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Exit”

เมนู “Run” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Start”, “Pause”, “Continue”, “Reset Clock”

เมนู “Parameter” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Parameter”

เมนู “Flow Rate Inlet” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Step”, “Sine”, “Ramp”, “Square Wave”

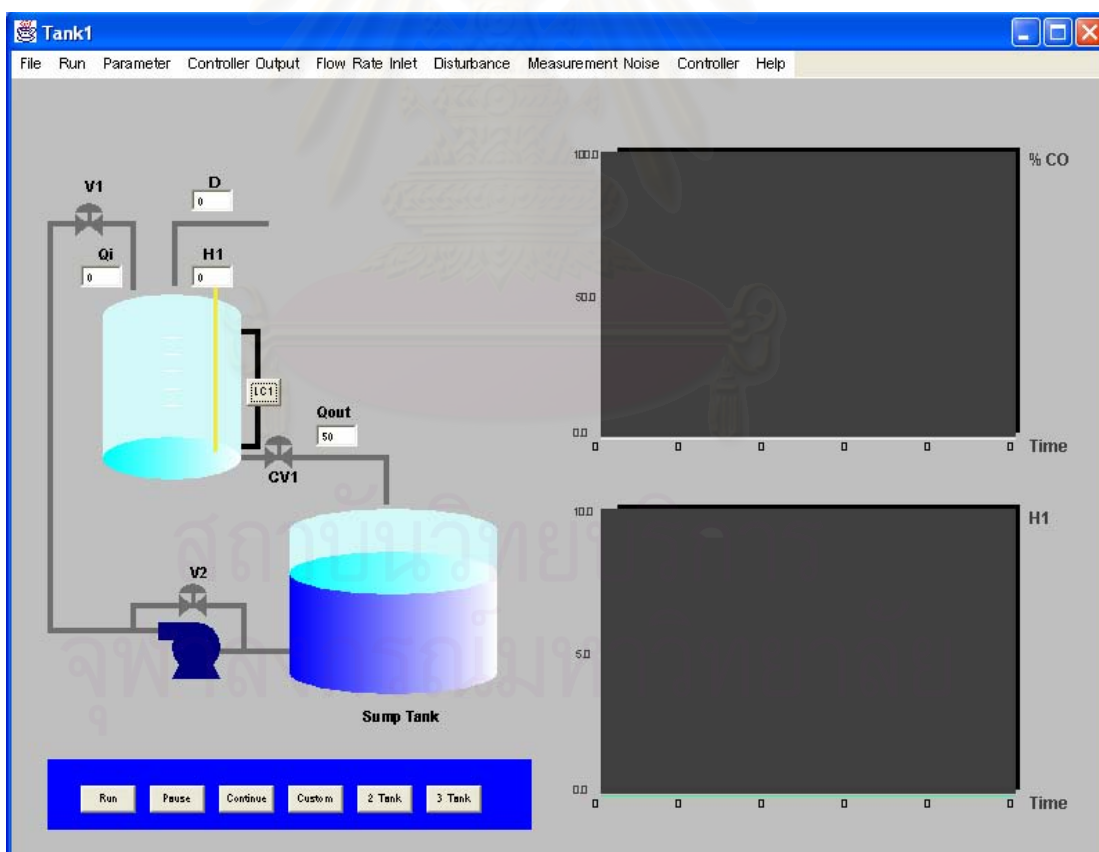
เมนู “Disturbance” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Step”, “Sine”, “Ramp”, “Square Wave”

เมนู “Measurement Noise” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Measurement Noise”

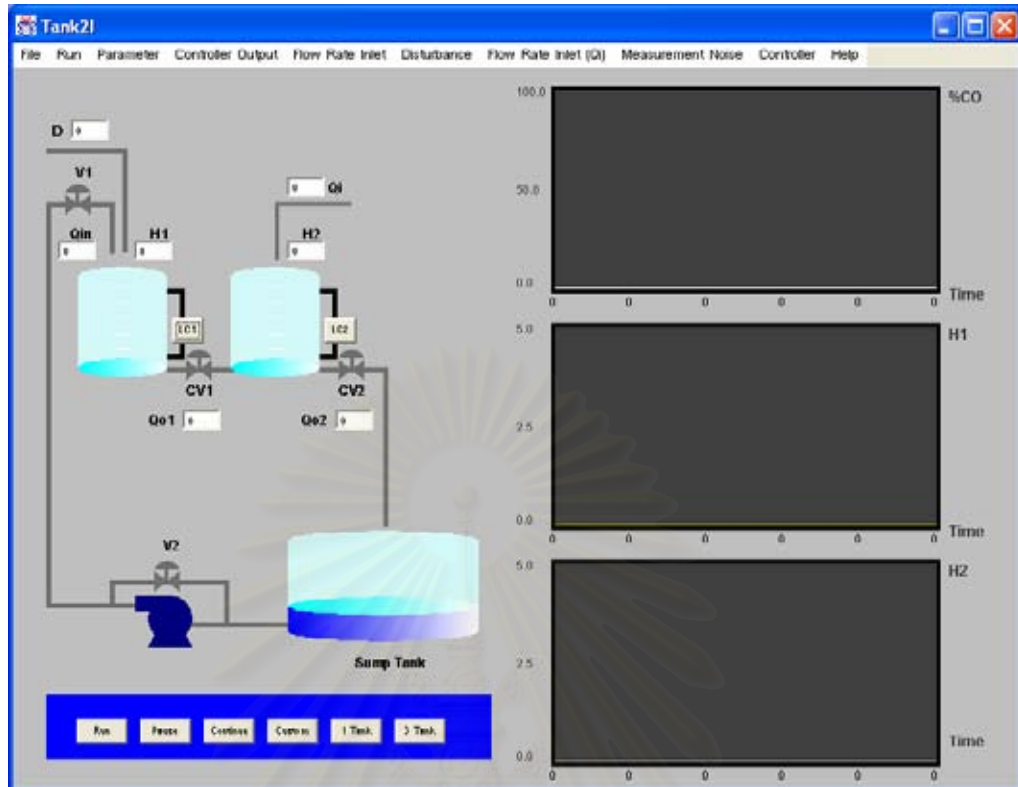
เมนู “Controller” ประกอบด้วยเมนูย่อย “Manual”, “PID Controller”

เมนู “Help” ประกอบด้วยเมนูย่อย “About”

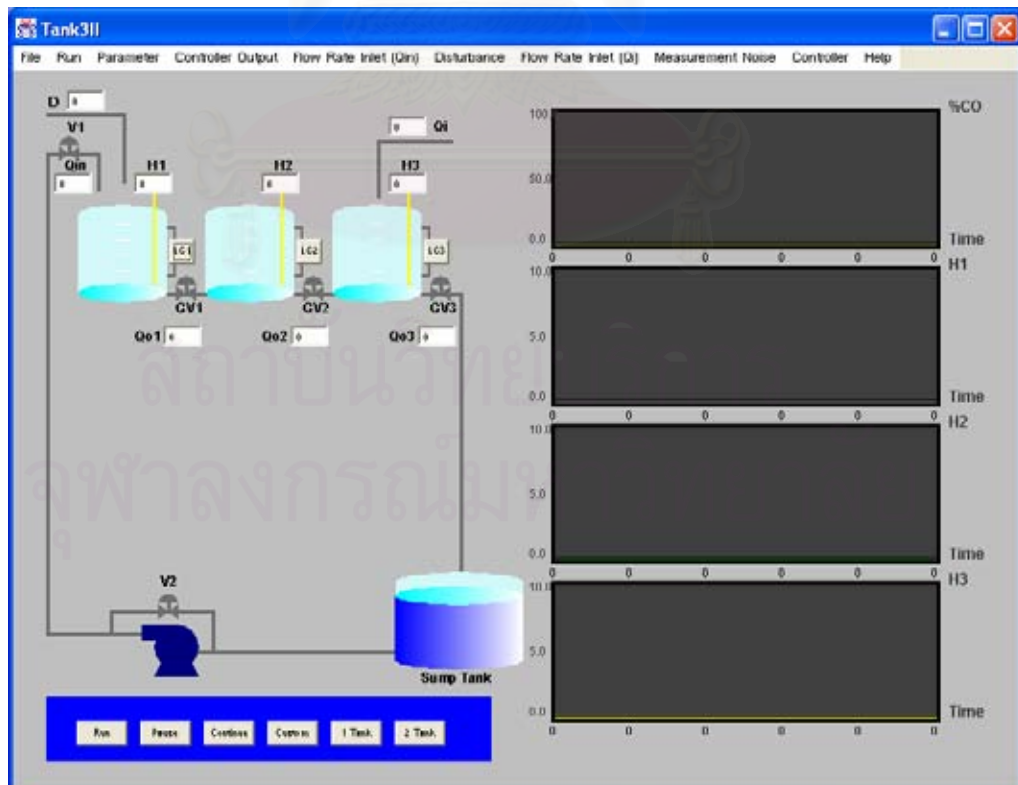
รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมระบบระดับถึงดูได้จากตารางที่ 6.2 และ หน้าจอของเมนูย่อยแสดงดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.4 โปรแกรมระบบวนการระบบ 1 ถึง



รูปที่ 6.5 โปรแกรมกระบวนการระบบ 2 ถัง

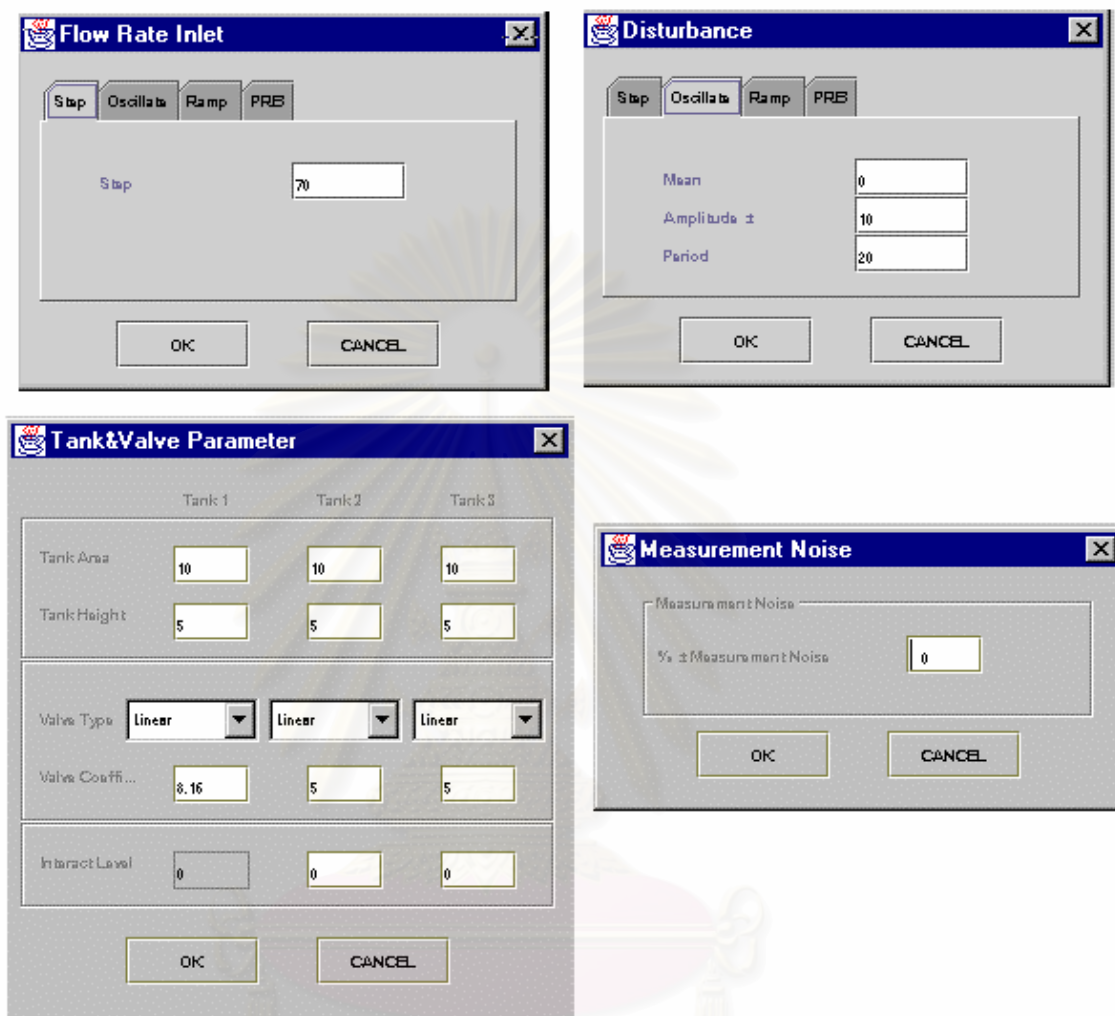


รูปที่ 6.6 โปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถัง

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดการใช้งานของเมนูย่อยในโปรแกรมระบบการระบบระดับถัง

เมนูย่อย	ผู้ใช้ทำการเลือกเมื่อต้องการ
”Exit”	ออกจากโปรแกรม
”Start”	ประมวลผลโปรแกรม
”Pause”	หยุดประมวลผลโปรแกรม
”Continue”	ประมวลผลโปรแกรมต่อ
”Reset Clock”	ประมวลผลโปรแกรมใหม่
”Parameter”	กำหนดพื้นที่หน้าตัด ความสูง ค่าคงที่ของวาล์วควบคุม ค่าคงที่คุณลักษณะของวาล์วควบคุม และระดับที่ทำให้เกิดการรบกวนของระดับของของเหลวระหว่างถังของถังแต่ละใบ
”Step”	กำหนดฟังก์ชันสเต็ปสำหรับอัตราการไหลเข้าของของเหลว หรืออัตราการไหลรบกวนของของเหลว
”Oscillate”	กำหนดฟังก์ชันไซน์สำหรับอัตราการไหลเข้าของของเหลว หรืออัตราการไหลรบกวนของของเหลว
”Ramp”	กำหนดฟังก์ชันเริ่มสำหรับอัตราการไหลเข้าของของเหลว หรืออัตราการไหลรบกวนของของเหลว
”Square Wave”	กำหนดฟังก์ชันสแควเวฟสำหรับอัตราการไหลเข้าของของเหลว หรืออัตราการไหลรบกวนของของเหลว
”Measurement Noise”	กำหนดเปอร์เซ็นต์รบกวนของการวัดตัวแปรกระบวนการ
”Manual”	เมื่อไม่ต้องการตัวควบคุม
”PID Controller”	กำหนดพารามิเตอร์ตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดี
”About”	บอกถึงชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม และอาจารย์ที่ปรึกษา

ในแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบการระบบ 1 ถัง ระบบ 2 ถัง และระบบ 3 ถังมีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นผู้เขียนจึงขอแสดงเมนูย่อยของแต่ละเมนูในโปรแกรมระบบการระบบ 3 ถังเพียงโปรแกรมเดียวเท่านั้น



รูปที่ 6.7 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบระดับถัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The screenshot shows a 'Controller' window with three columns for Tank 1, Tank 2, and Tank 3. Each tank has a 'PID Controller' dropdown menu. Below this are input fields for 'Sample Time', 'Set Point', and 'Bias'. The 'Proportional Mode' section includes dropdown menus for 'Direct Acting' and 'Gain' input fields. The 'Integral Mode' section includes dropdown menus for 'Reset Windup' and 'Integral Time' input fields. The 'Derivative Mode' section includes dropdown menus for 'OFF Derivative mode' and 'Derivative Time' input fields. The 'Alarm' section includes 'low' and 'High' input fields. At the bottom are 'OK' and 'CANCEL' buttons.

	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Controller	PID Controller	PID Controller	PID Controller
Sample Time	1		
Set Point	3	2	1
Bias	0	0	0
Proportional Mode	Direct Acting	Direct Acting	Direct Acting
Gain	0.1	0.05	0.01
Integral Mode	Reset Windup	Reset Windup	Reset Windup
Integral Time	1	0.5	0.25
Derivative Mode	OFF Derivative mode	OFF Derivative mode	OFF Derivative mode
Derivative Time	10	10	10
Alarm low	0	0	0
Alarm High	5	5	5

รูปที่ 6.8 หน้าจอของแต่ละเมนูย่อยในโปรแกรมระบบระดับถัง (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.2 ส่วนการประมวลผล

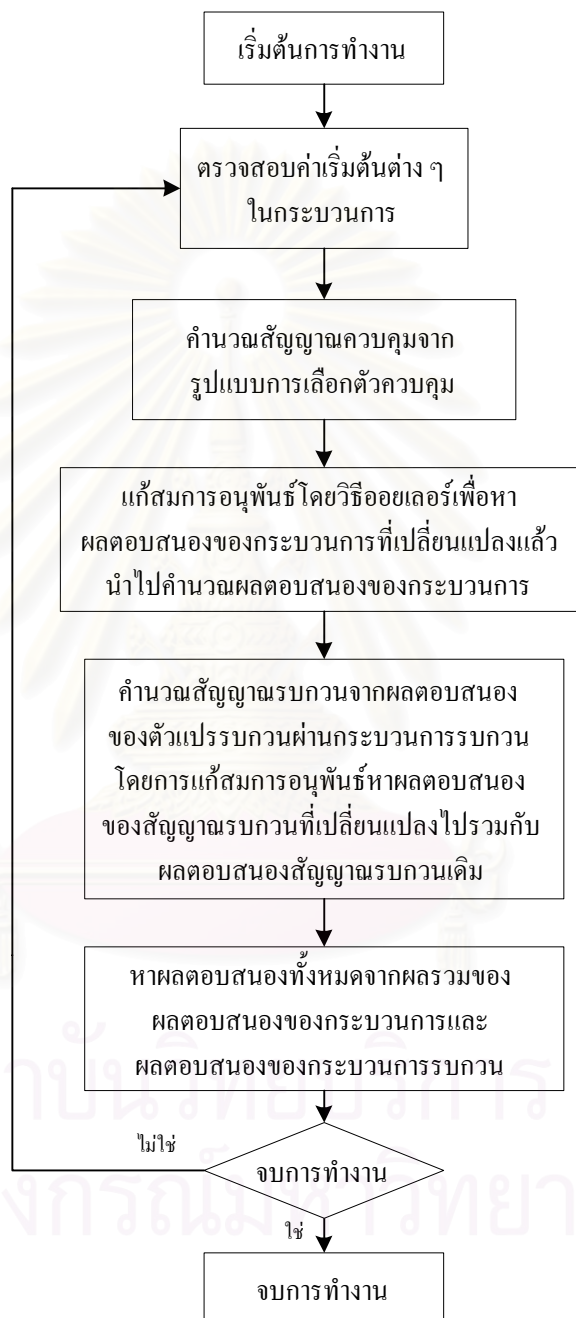
ส่วนประมวลผลนี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณหาผลตอบสนองของกระบวนการหรือตัวแปรกระบวนการจากการเลียนแบบกระบวนการหลังจากที่ผู้ใช้ป้อนพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้าไปในโปรแกรม และเลือกเมนูย่อย “Start” หรือกดปุ่ม “Start” จากหน้าจอหลักในโปรแกรม ถ้าผู้ใช้ไม่ทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ โปรแกรมจะใช้ค่า default โดยอัตโนมัติหลังจากเลือกเมนูย่อย “Start” หรือกดปุ่ม “Start” เนื่องจากกระบวนการระบบ 3 ถึง มีการทำงานคล้ายกับกระบวนการระบบ 2 ถึง และ 1 ถึง ดังนั้นในส่วนนี้ผู้เขียนจะกล่าวถึงลำดับขั้นในการคำนวณในโปรแกรมเลียนแบบกระบวนการแบบกำหนดเอง และโปรแกรมเลียนแบบกระบวนการระบบ 3 ถึงเท่านั้น

6.2.2.1 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง เนื่องจากแนวคิดที่ว่าผู้ใช้ทราบกระบวนการและกระบวนการรบกวนที่อยู่ในรูปทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแบบทรานสฟอร์มโดเมน ดังนั้นเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์กระบวนการ ชนิดและขนาดของตัวแปรปรับกระบวนการและตัวรบกวนกระบวนการ กำหนดโมดการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ควบคุมแล้ว ทำให้สามารถคำนวณพลวัตการตอบสนองการควบคุมกระบวนการ โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบตัวแปรกระบวนการหรือผลตอบสนองกระบวนการ
2. คำนวณค่าตัวแปรปรับกระบวนการจากฟังก์ชันและค่าของตัวแปรปรับกระบวนการที่ผู้ใช้กำหนด
3. คำนวณผลตอบสนองกระบวนการจากค่าตัวแปรปรับกระบวนการและกระบวนการที่ผู้ใช้กำหนด
4. คำนวณค่าตัวแปรรบกวนกระบวนการจากฟังก์ชันและค่าของตัวแปรรบกวนกระบวนการที่ผู้ใช้กำหนด
5. คำนวณสัญญาณรบกวนจากตัวแปรรบกวนกระบวนการที่ป้อนเข้าไปยังกระบวนการรบกวน
6. คำนวณผลตอบสนองกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปได้จากผลบวกข้อ 3 และข้อ 5
7. คำนวณผลตอบสนองกระบวนการใหม่จากผลตอบสนองกระบวนการเดิม (ข้อ 1) รวมกับผลตอบสนองกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไป (ข้อ 6)

โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

6.2.2.2 ลำดับขั้นในการคำนวณโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง

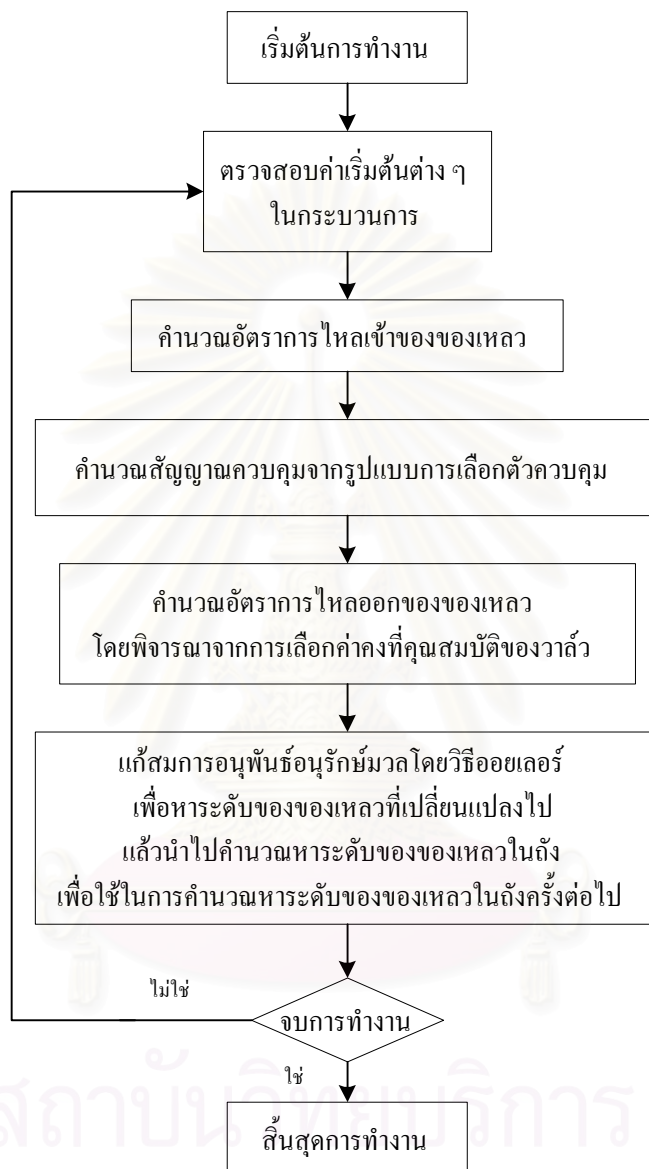
แนวคิดในการคำนวณนี้เกิดจากการสมมติฐานว่า

- ก. อัตราการไหลออกของของเหลวแปรเปลี่ยนตามรากที่สองของระดับของของเหลวในถัง
- ข. อุณหภูมิ ความดันคงที่
- ค. ของเหลวมีความหนาแน่นคงที่เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ง. ไม่มีอัตราการสูญคงที่

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณที่อยู่บนสมมติฐานข้างต้น เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์กระบวนการ ชนิดและขนาดของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลรอบวน กำหนดโมดการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ควบคุมแล้ว ทำให้สามารถคำนวณพลวัตการตอบสนองการควบคุมกระบวนการได้จากสมการอนุกรมมวลสาร โดยลำดับขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1. คำนวณอัตราการไหลของของเหลวเข้าสู่ถังที่ 1 จากอัตราการไหลของของเหลวเนื่องจากปั๊มและอัตราการไหลรอบวน
2. ตรวจสอบระดับของของเหลวในถังที่ 1 ถึงที่ 2 และถังที่ 3 และตรวจสอบว่าเกิดการรบกวนระดับของของเหลวระหว่างถังเพื่อคำนวณทิศทางการไหลของของเหลวออกจากถังแต่ละใบ
3. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุมตัวที่ 1 โดยใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมตัวที่ 1
4. คำนวณอัตราการไหลของของเหลวออกจากถังที่ 1 โดยพิจารณาชนิดของวาล์วควบคุมตัวที่ 1 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากถังที่ 1 สู่อัตราการรบกวนระดับของของเหลวระหว่างถัง ซึ่งอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 1 เป็นอัตราการไหลของของเหลวเข้าสู่ถังที่ 2
5. คำนวณระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำการคูณมวลในถังที่ 1 แก่สมการอนุพันธ์อันดับ 1 โดยใช้วิธีของออยเลอร์
6. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุมตัวที่ 2 โดยใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมตัวที่ 2

7. คำนวณอัตราการใช้ของของเหลวออกจากถังที่ 2 โดยพิจารณาจากชนิดวาล์วควบคุมตัวที่ 2 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากถังที่ 2 สู่อุปกรณ์ที่ 3 และการระบายระดับของของเหลว ระหว่างถัง ซึ่งอัตราการใช้ของของเหลวจากถังที่ 2 เป็นอัตราการใช้ของของเหลวเข้า ถังที่ 3
 8. คำนวณระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำการดูผลรวมในถังที่ 2 แก๊สมการอนุพันธ์ อันดับ 1 โดยใช้วิธีของออยเลอร์
 9. คำนวณตัวแปรปรับกระบวนการที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุมตัวที่ 3 โดยใช้พารามิเตอร์ของตัว ควบคุมตัวที่ 3
 10. คำนวณอัตราการใช้ของของเหลวออกจากถังที่ 3 โดยพิจารณาจากชนิดวาล์วควบคุมตัวที่ 3
 11. คำนวณระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำการดูผลรวมในถังที่ 3 แก๊สมการอนุพันธ์ อันดับ 1 โดยใช้วิธีของออยเลอร์
 12. คำนวณระดับของของเหลวในถังที่ 1 ถังที่ 2 และถังที่ 3 ใหม่ได้จากระดับของของเหลวในถัง รวมกับระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไป
 13. คำนวณค่าโดยใช้วิธีเดียวกันจากข้อ 1 ถึงข้อ 12 ตามลำดับ
- โปรแกรมแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถังแสดงได้ดังรูปที่ 6.10



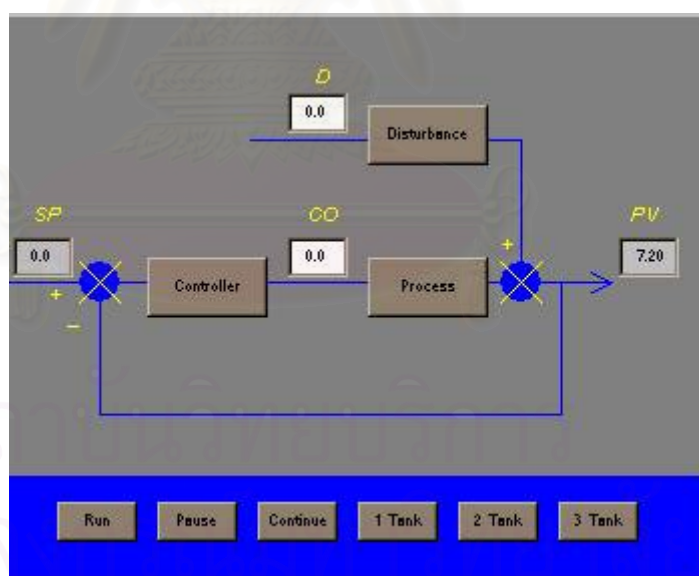
รูปที่ 6.10 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถัง

6.2.3 ส่วนแสดงผล

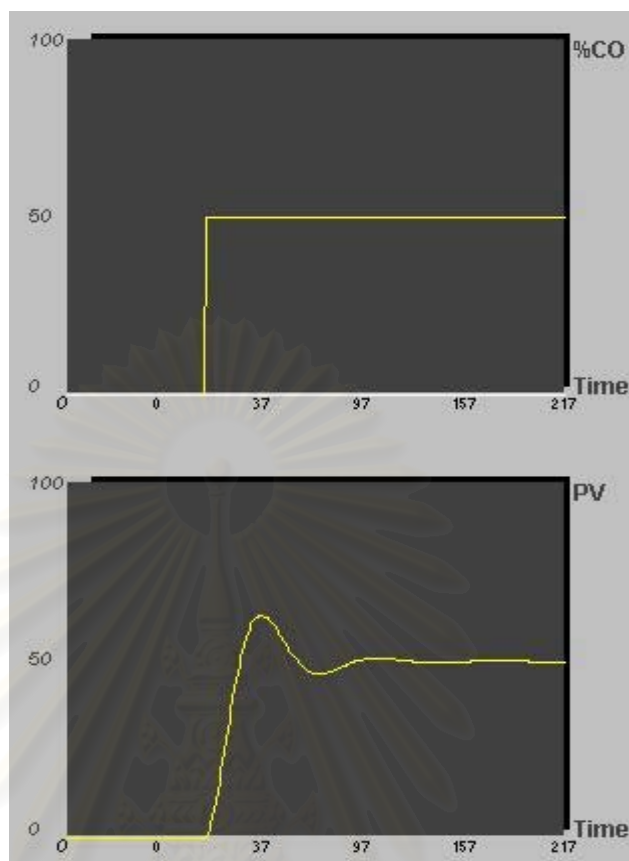
ส่วนแสดงผลเป็นส่วนที่แสดงผลที่ได้จากส่วนประมวลผล ซึ่งประกอบด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงระบบเมื่อมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม ซึ่งในแต่ละโปรแกรมมีหน้าจอหลักเป็นหน้าจอแสดงผล

6.2.3.1 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

ในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกระบวนการด้วยค่าที่เป็นตัวเลข กราฟ และกราฟแท่งของตัวแปรปรับกระบวนการ ตัวแปรกระบวนการ และค่าเป้าหมาย ดังรูปที่ 6.11 รูปที่ 6.12 และรูปที่ 6.13 ตามลำดับ

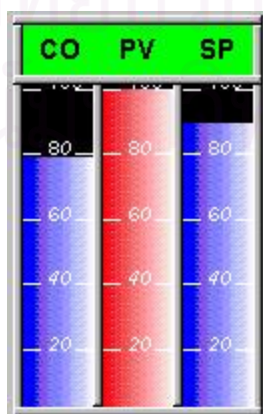


รูปที่ 6.11 บล็อกไดอะแกรมแสดงผลค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง



รูปที่ 6.12 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

รูปที่ 6.12 แสดงผลในระบบด้วยกราฟ 2 กราฟ คือ กราฟรูปบนแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรปรับกระบวนการ (และค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวรบกวนกระบวนการที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการเมื่อมีตัวแปรรบกวน) กราฟรูปล่างแสดงผลตอบสนองของกระบวนการ (และค่าเป้าหมายเมื่อมีการควบคุม)

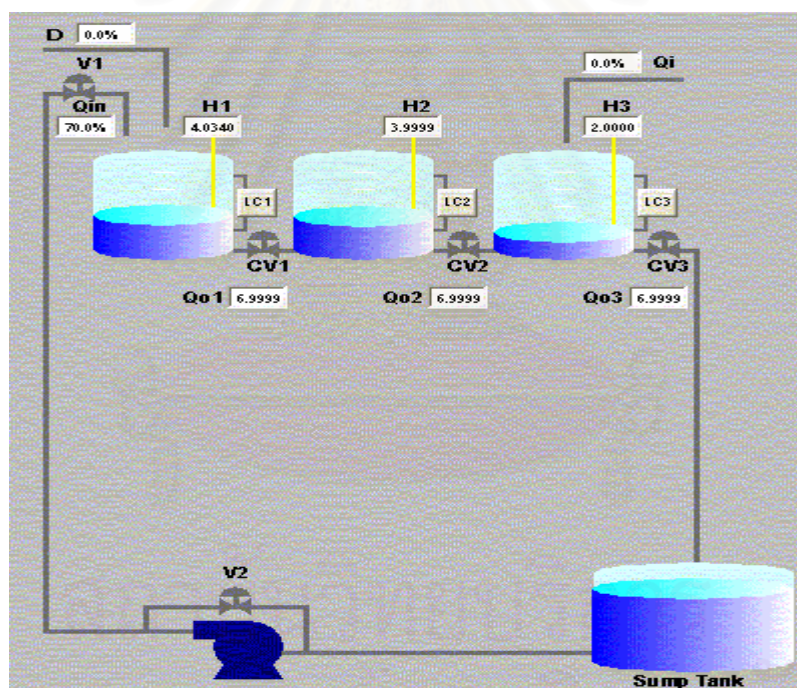


รูปที่ 6.13 การแสดงผลด้วยกราฟแท่งของโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

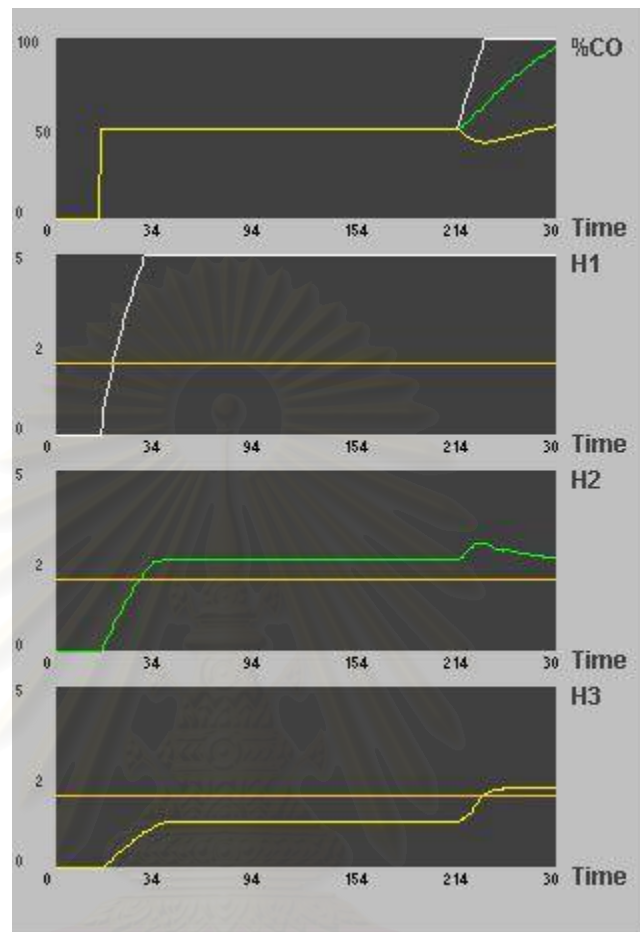
เมื่อค่าตัวแปรปรับกระบวนการ หรือผลตอบสนองของกระบวนการสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด สีของการแสดงผลด้วยกราฟแท่งจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง

6.2.3.2 ส่วนแสดงผลของโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถัง

ในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถังแสดงผลการเปลี่ยนแปลงแบบกระบวนการลักษณะแบบเดียวกันทั้งระบบ 1 ถัง 2 ถัง และ 3 ถัง แสดงผลด้วยกราฟ ค่าตัวเลขและรูปภาพ และแสดงตำแหน่งการเปิดปิดวาล์ว ระดับของของเหลว และค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างระบบ 3 ถัง ดังแสดงใน รูปที่ 6.14 และรูปที่ 6.15 ตามลำดับ



รูปที่ 6.14 การแสดงผลด้วยรูปภาพและค่าที่เป็นตัวเลขของโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถัง



รูปที่ 6.15 การแสดงผลด้วยกราฟของโปรแกรมกระบวนการระบบ 3 ถึง

รูปที่ 6.15 แสดงกราฟ 4 กราฟ กราฟด้านบนสุดแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรปรับกระบวนการ กราฟด้านล่างลงมาแสดงค่าระดับของของเหลวและค่าเป้าหมายเมื่อมีการควบคุมในถังที่ 1 ถังที่ 2 และถังที่ 3 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 ผลการทดสอบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมที่ได้พัฒนาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นนี้ แบ่งเป็นกรณีศึกษา 5 กรณี โดยในแต่ละกรณีศึกษาได้ทำการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย และตัวรบกวนกระบวนการ ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสอง

กรณีศึกษาที่ 2 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสาม

กรณีศึกษาที่ 3 ระบบ 1 ถึง

กรณีศึกษาที่ 4 ระบบ 2 ถึง ($h2n=0$)

กรณีศึกษาที่ 5 ระบบ 3 ถึง ($h2n=0, h3n=0$)

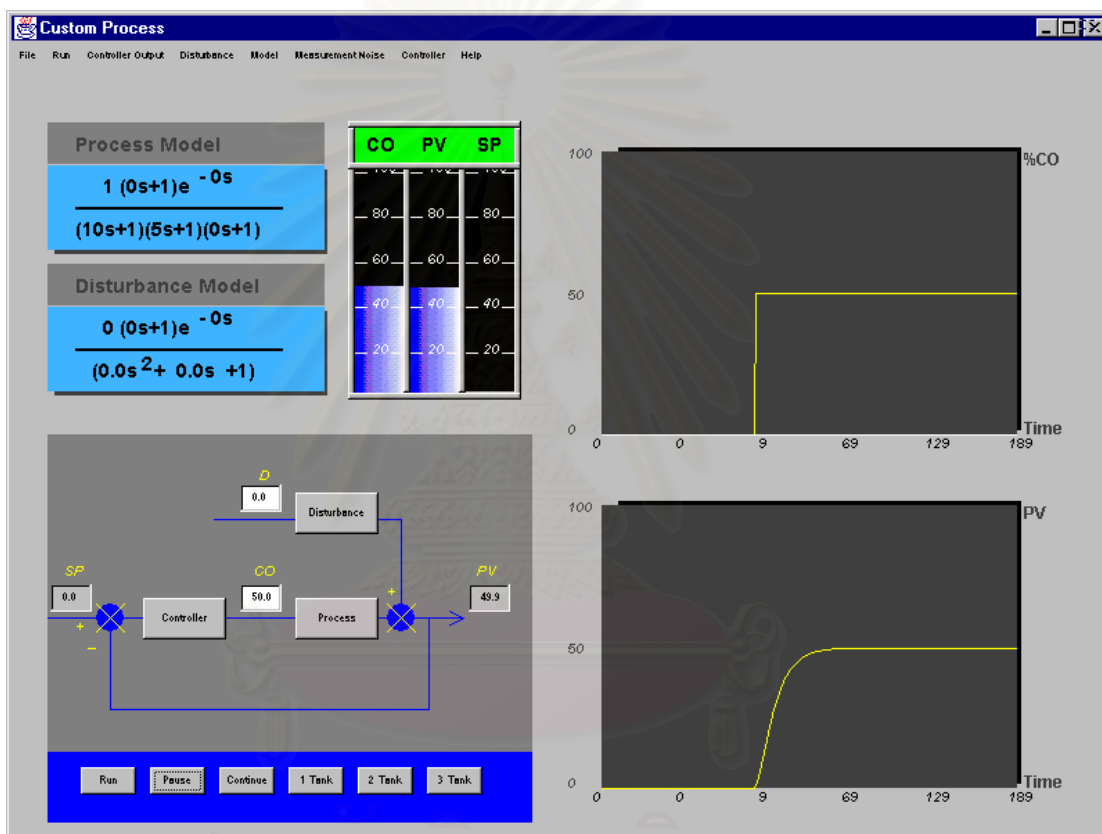
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบเพื่อดูแนวโน้มผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนากับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ โดยโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองแบบ Overdamped และโปรแกรมระบบระดับถึง 1 ถึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ส่วนโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองแบบ Underdamped โปรแกรมระบบระดับถึง 2 ถึง และ 3 ถึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับโปรแกรม Matlab โดยใช้ Simulink ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเชิงพาณิชย์นี้ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นได้ว่ารูปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาควบคุมกัน

6.3.1 กรณีศึกษาที่ 1 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสอง

ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้เลือกทำผลการเลียนแบบกระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสองแบบ Overdamped และ Undamped ขึ้นมาเนื่องจากครอบคลุมผลการเลียนแบบกระบวนการที่ใช้ศึกษากระบวนการ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ และพารามิเตอร์ควบคุมนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่า default ในกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped ในโปรแกรม Control Station ซึ่งในโปรแกรม Control Station ในรุ่นทดลองใช้สามารถเลือกพารามิเตอร์ของกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped และ Critically damped เท่านั้น ส่วนกระบวนการแบบ Underdamped ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ขึ้นมาเอง โดยได้ทำการทดสอบกับโปรแกรม Simulink โดยได้แสดงผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการของโปรแกรม

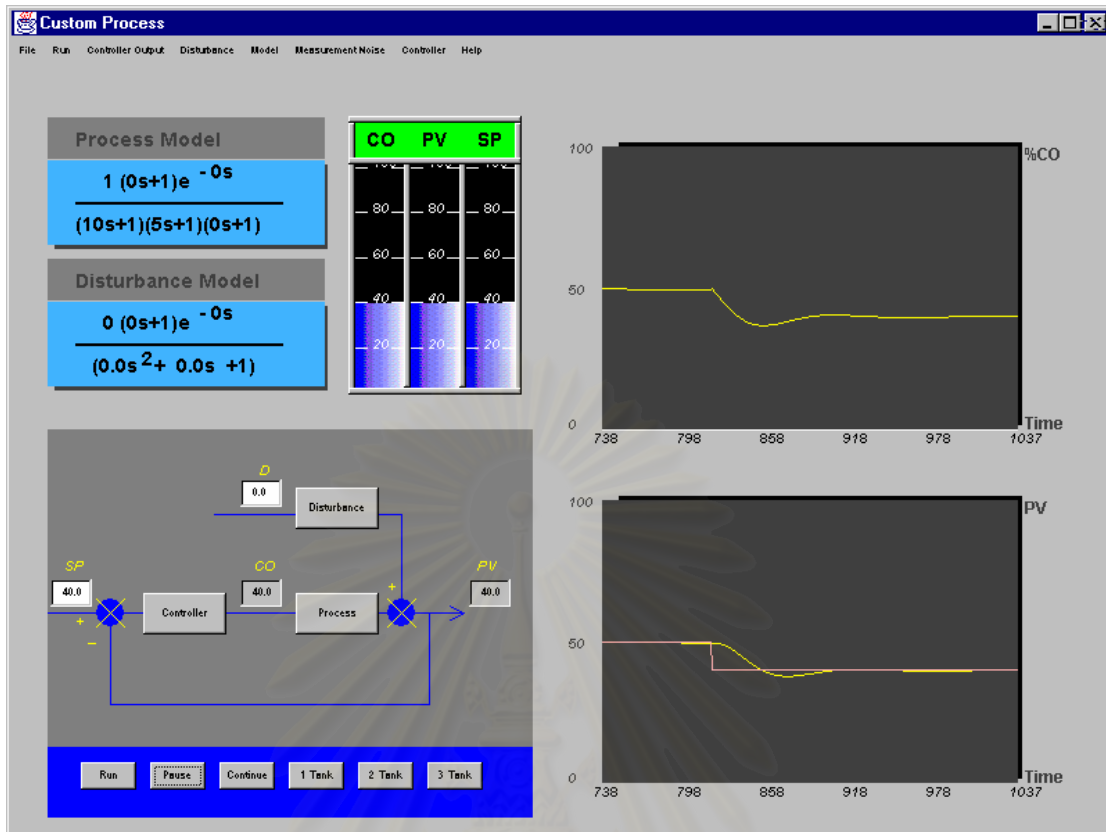
เชิงพาณิชย์นี้ไว้ควบคุมกับผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยพัฒนา ได้ผลการเลียนแบบกระบวนการและการควบคุมกระบวนการดังนี้

ก. กรณีกระบวนการอันดับสองแบบ **Overdamped** ($g(s) = \frac{1}{(10s + 1)(5s + 1)}$)
ผลการเลียนแบบกระบวนการได้ผลดังนี้

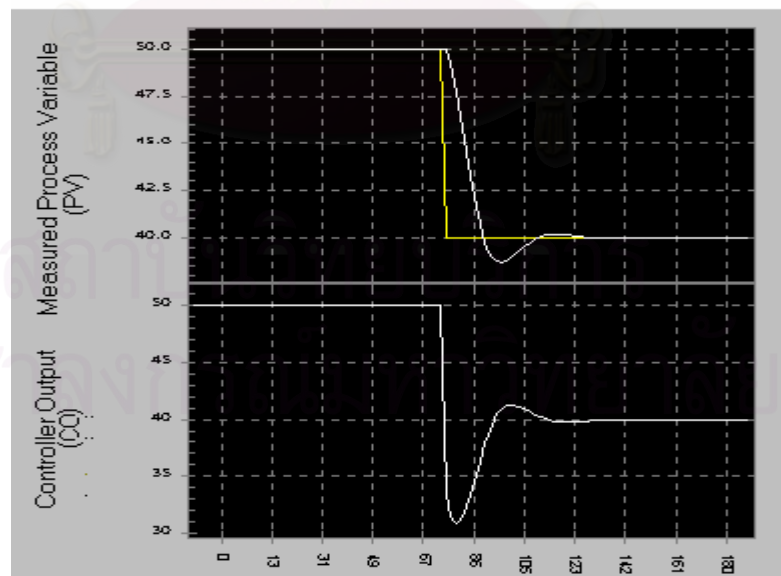


รูปที่ 6.16 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped

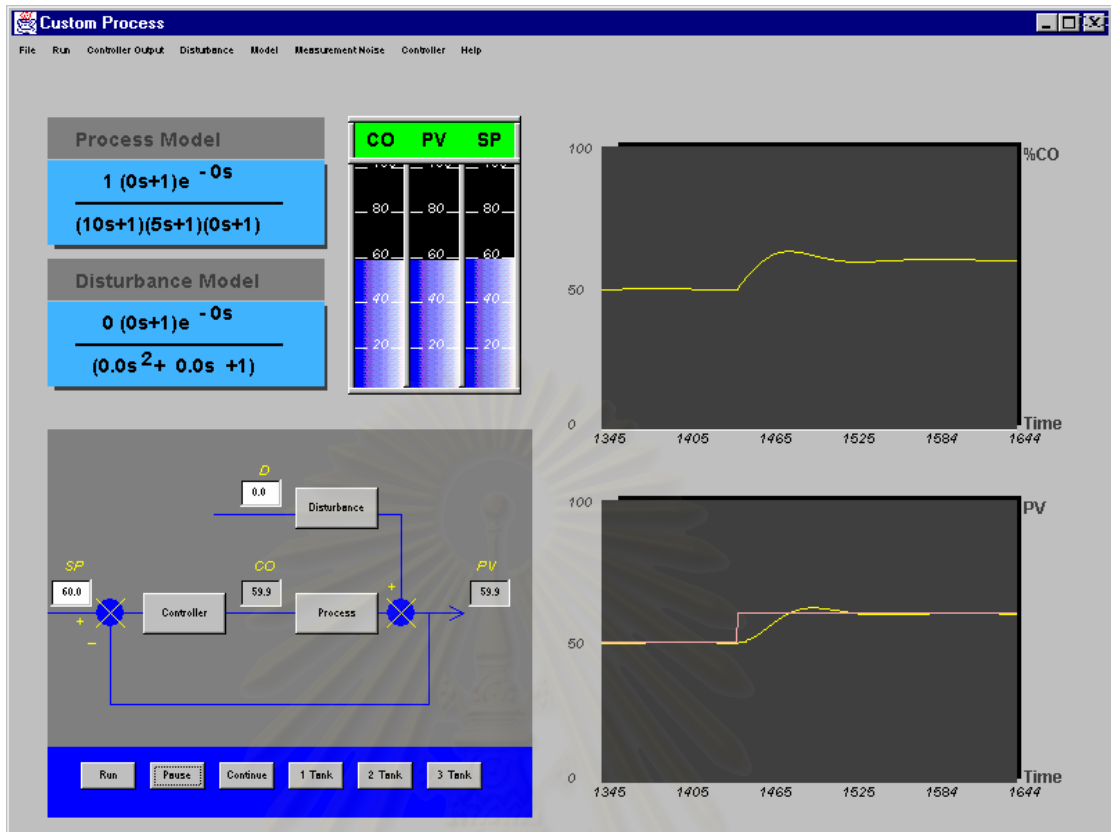
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_c = 0.6$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการควบคุมนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่า default ในโปรแกรม Control Station ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายดังรูปที่ 6.17 และรูปที่ 6.19 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ได้ผลดังรูปที่ 6.18 และรูปที่ 6.20 ดังนี้



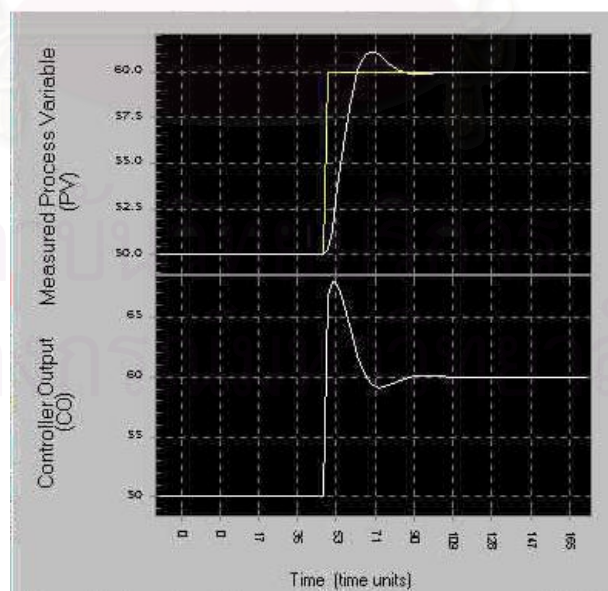
รูปที่ 6.17 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง
จาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย



รูปที่ 6.18 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า
เป้าหมายลดลงจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย



รูปที่ 6.19 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น
จาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย

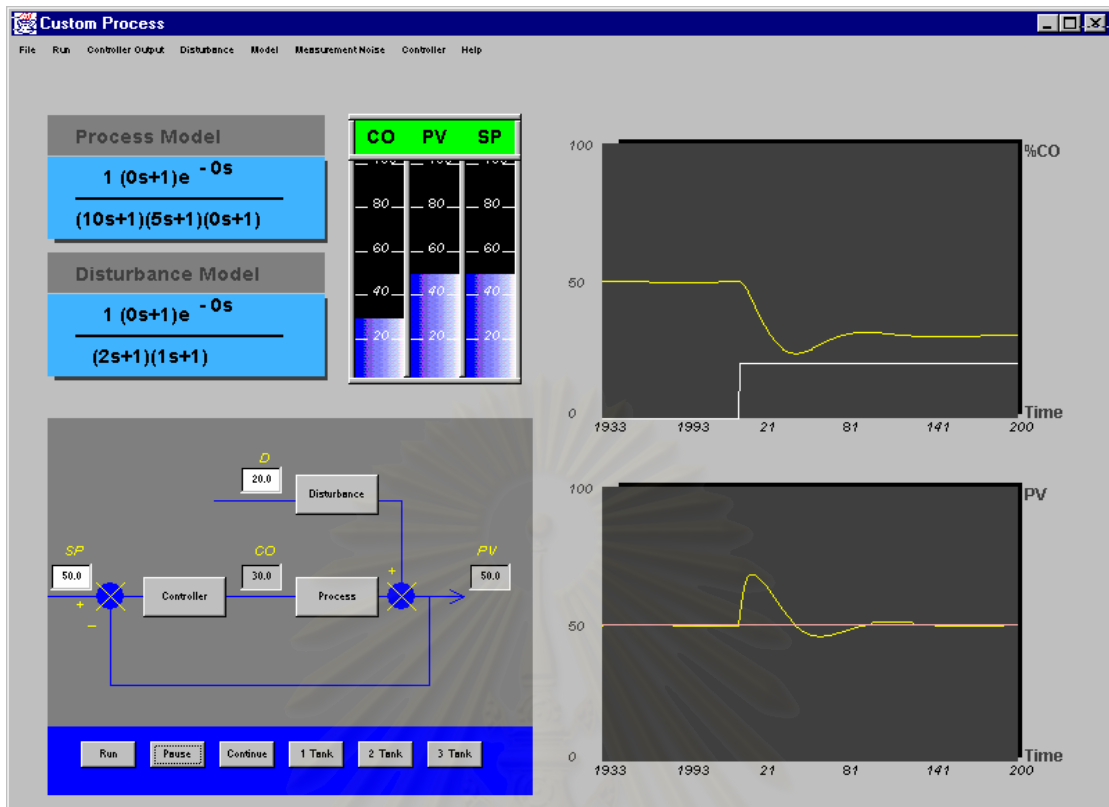


รูปที่ 6.20 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่า
เป้าหมายเพิ่มขึ้นจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการอันดับสองแบบ Overdamped เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_c = 0.6$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการควบคุมนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่า default ในโปรแกรม Control Station ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรบวกรูปที่ 6.21 และรูปที่ 6.23 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ได้ผลดังรูปที่ รูปที่ 6.22 และรูปที่ 6.24 ดังนี้

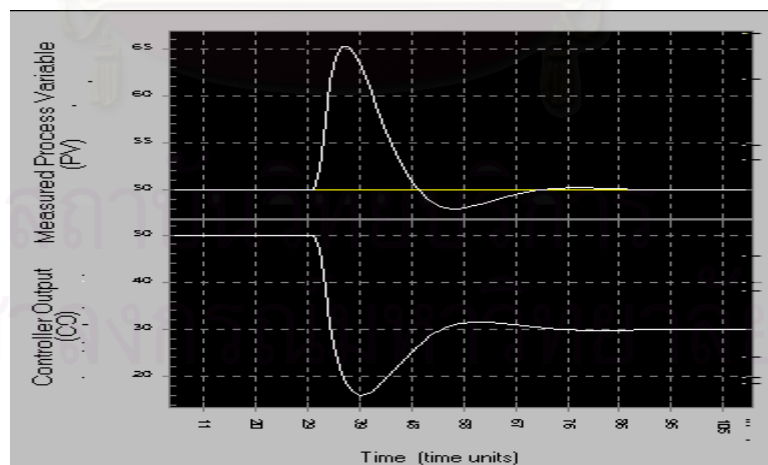


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



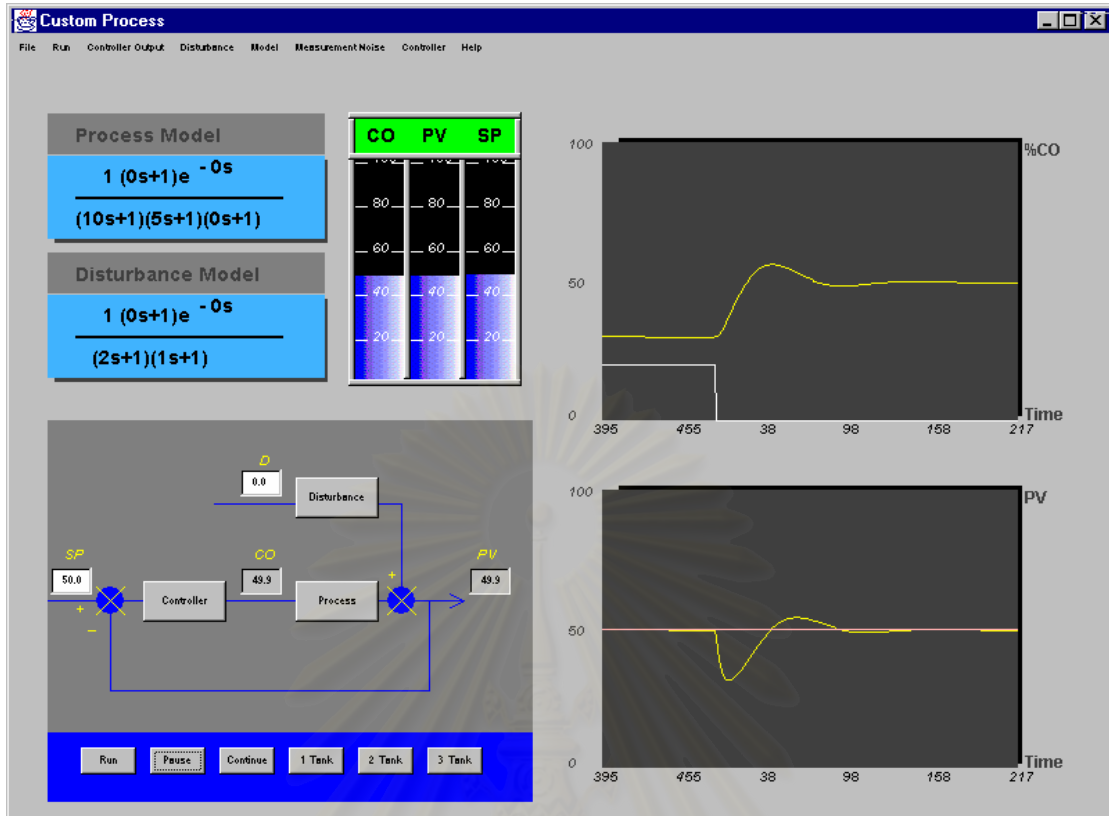
รูปที่ 6.21 ผลการเดินแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้นจาก 0 หน่วยเป็น 20 หน่วยผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$



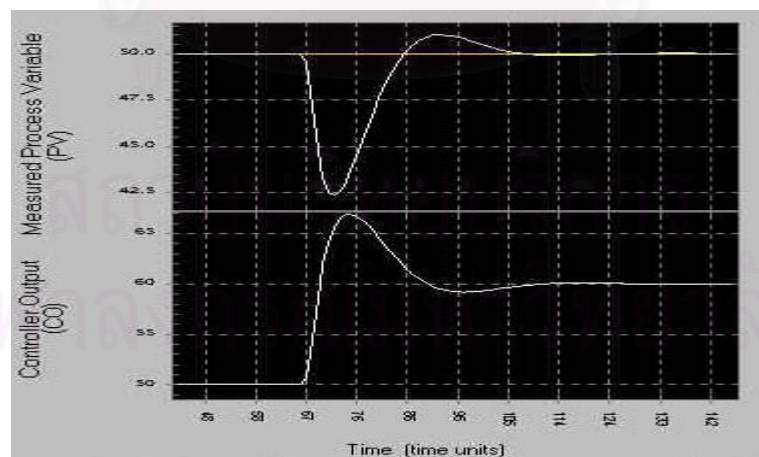
รูปที่ 6.22 ผลการเดินแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้น 20 หน่วยผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$



รูปที่ 6.23 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรบวกลดลงจาก 20 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$

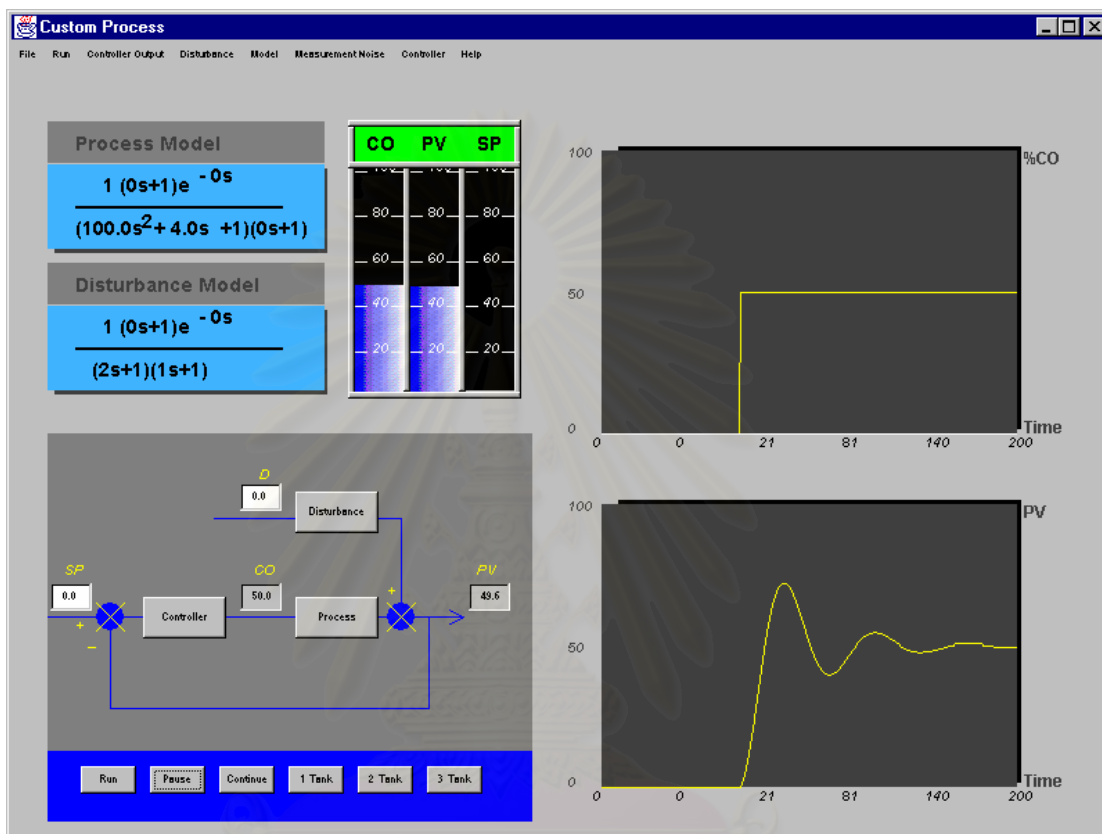


รูปที่ 6.24 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรบวกลดลง 20 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$

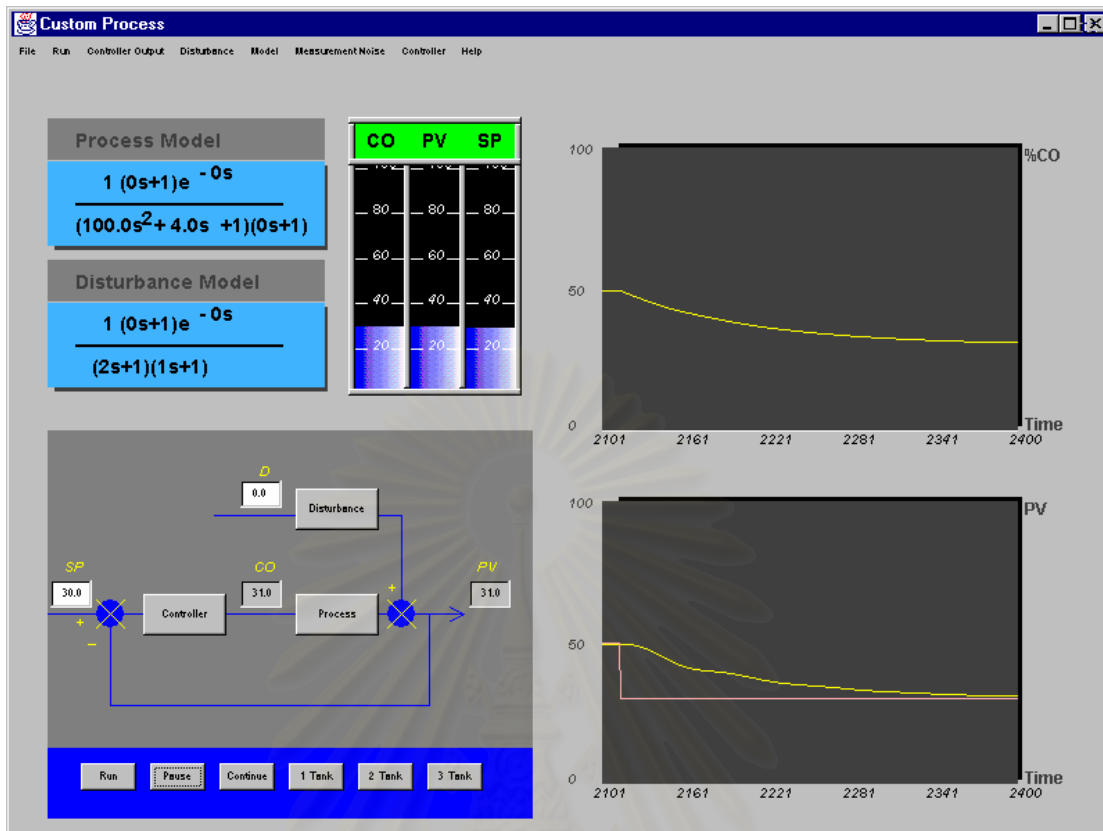
ข. กรณีกระบวนการอันดับสองแบบ **Underdamped** ($g(s) = \frac{1}{(100s^2 + 4s + 1)}$)

ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการได้ผลดังนี้

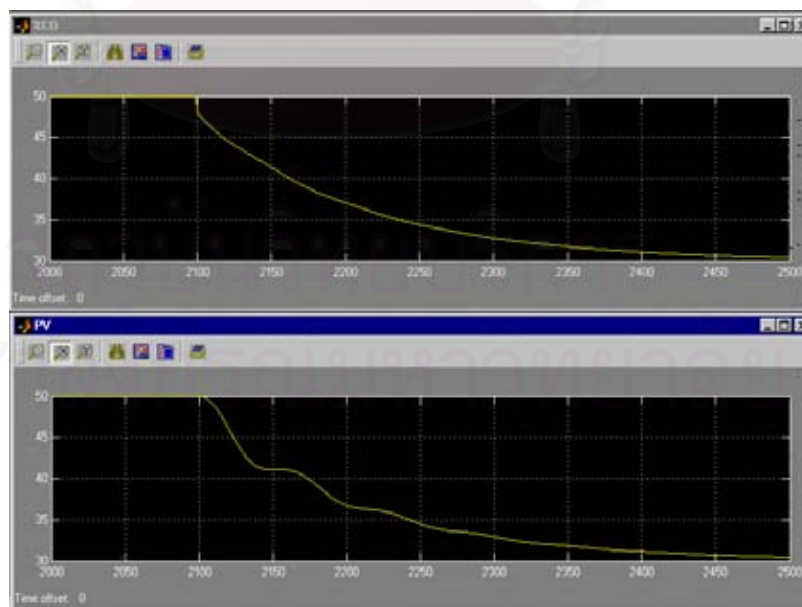


รูปที่ 6.25 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสองแบบ Underdamped

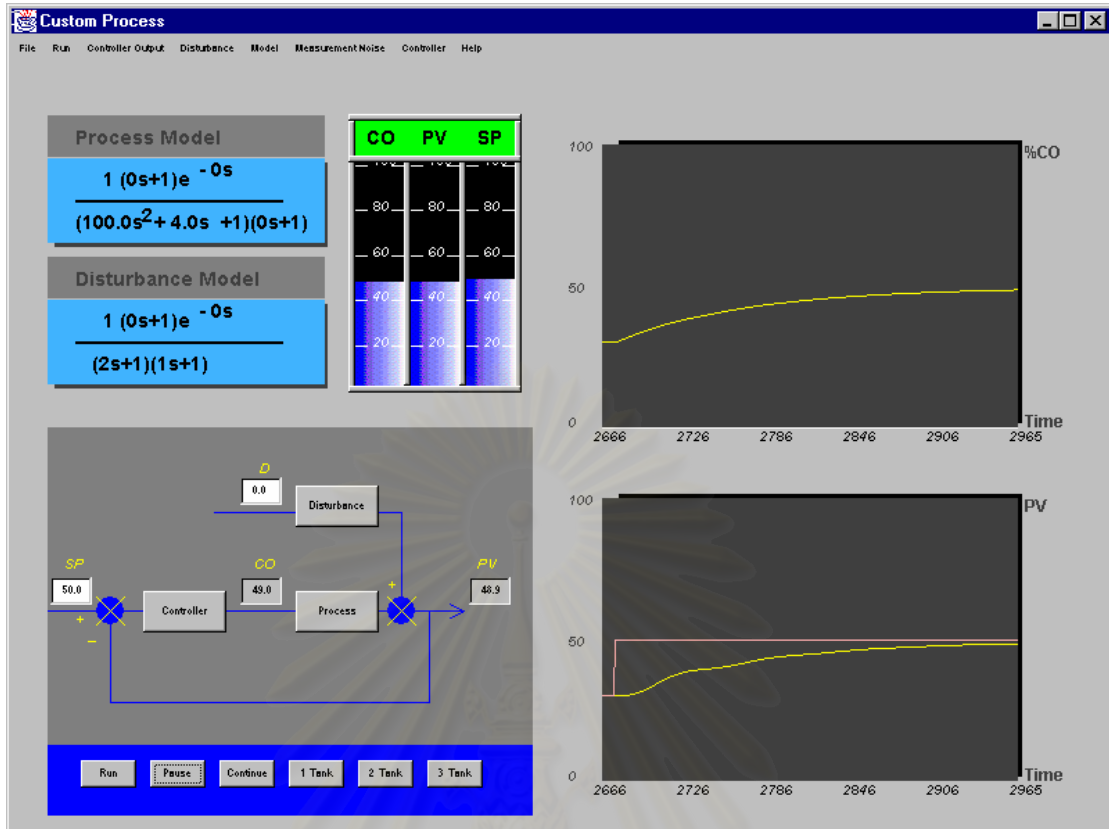
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการอันดับสองแบบ Underdamped เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.1$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายดังรูปที่ 6.26 และรูปที่ 6.28 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Simulink ได้ผลดังรูปที่ 6.27 และรูปที่ 6.29



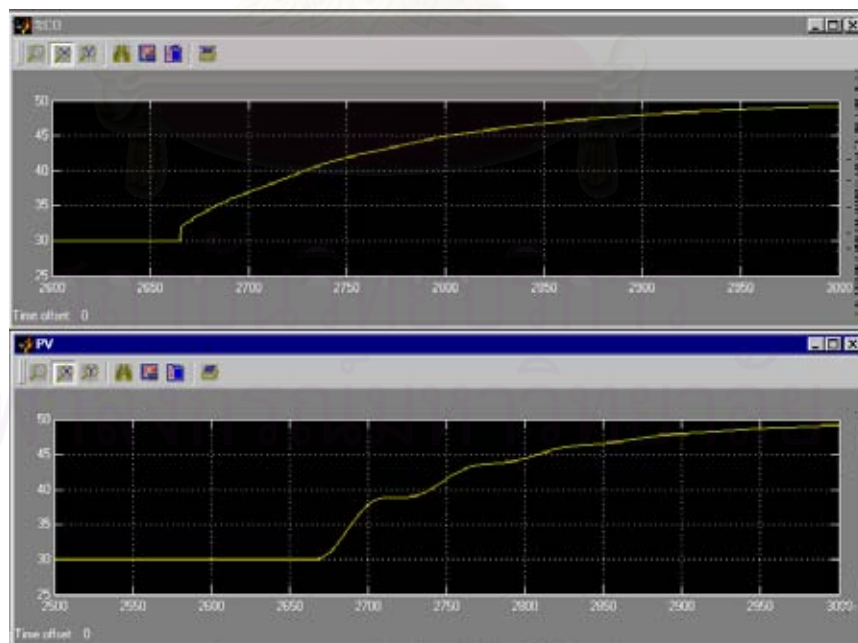
รูปที่ 6.26 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง จาก 50 หน่วยเป็น 30 หน่วย



รูปที่ 6.27 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง จาก 50 หน่วยเป็น 30 หน่วยในโปรแกรม Simulink



รูปที่ 6.28 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น
จาก 30 หน่วยเป็น 50 หน่วย

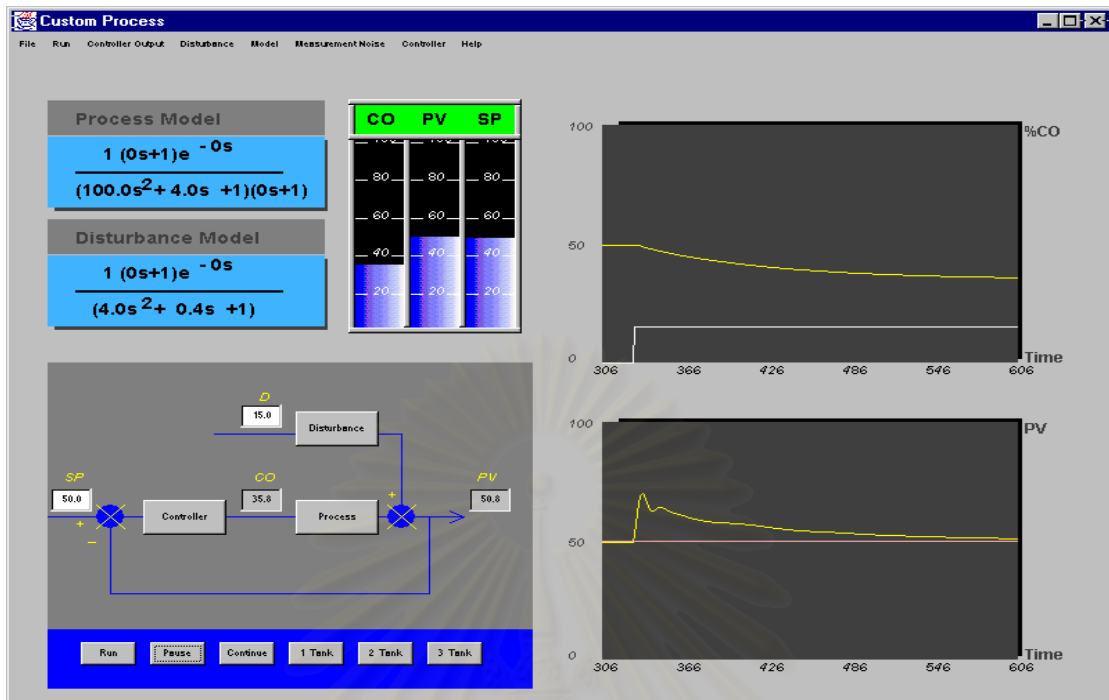


รูปที่ 6.29 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น
จาก 30 หน่วยเป็น 50 หน่วยในโปรแกรม Simulink

ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบการอันดับสองแบบ Underdamped เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.1$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมระบบการเมื่อมีการเปลี่ยนตัวแปรบวกรูปที่ 6.30 และรูปที่ 6.32 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Simulink ได้ผลดังรูปที่ 6.31 และรูปที่ 6.33

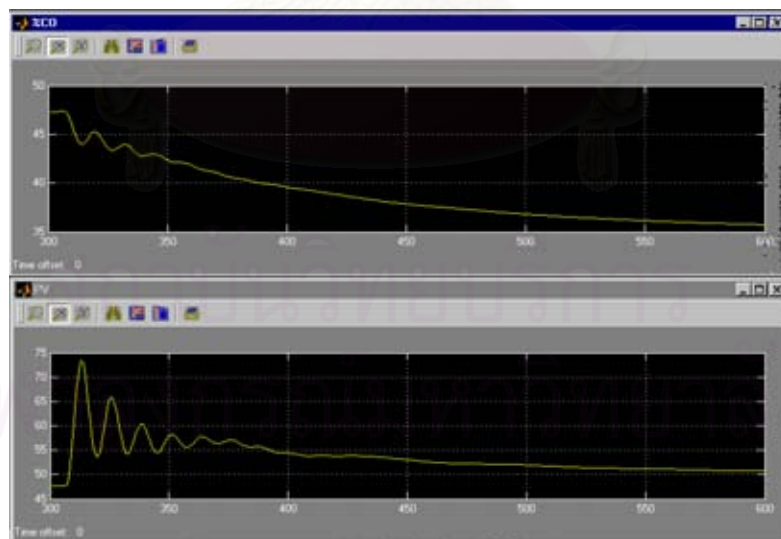


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



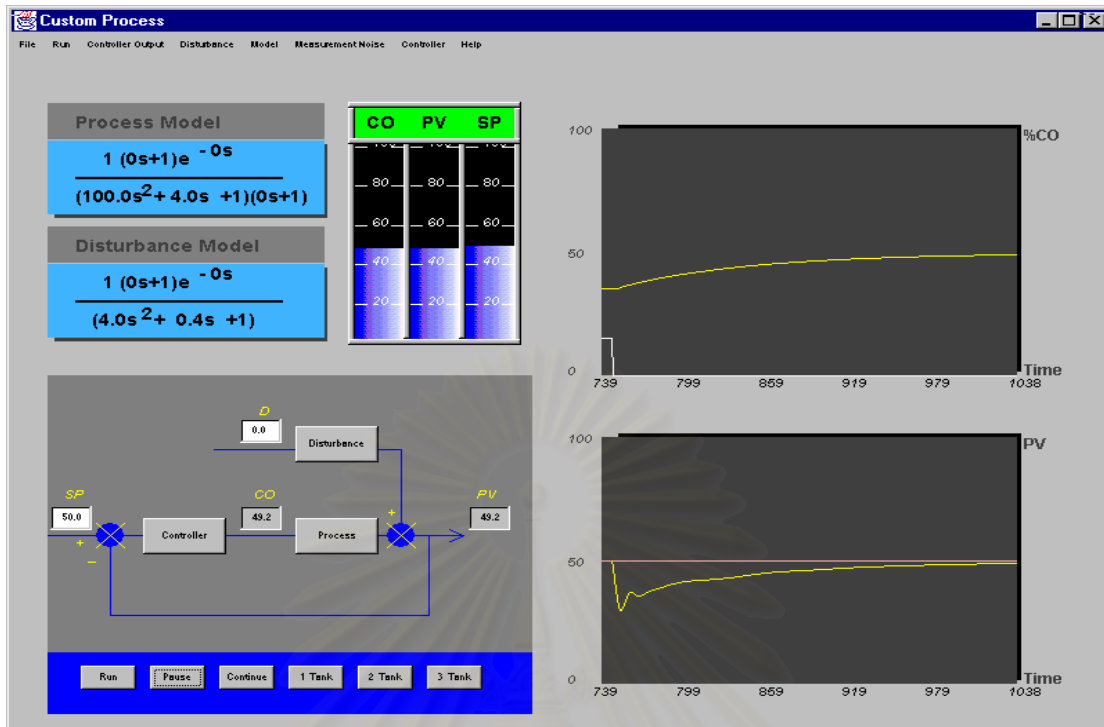
รูปที่ 6.30 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรบกวนเพิ่มขึ้นจาก 0 หน่วยเป็น 15 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทราจัสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$$



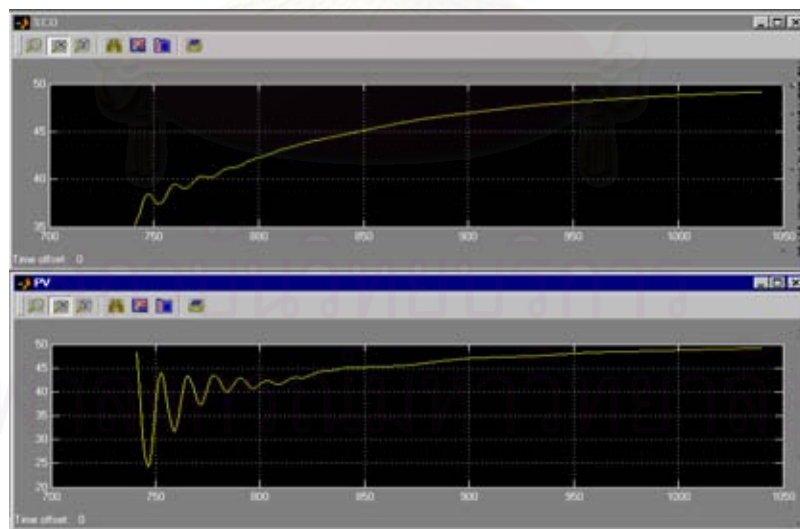
รูปที่ 6.31 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรบกวนเพิ่มขึ้นจาก 0 หน่วยเป็น 15 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทราจัสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink}$$



รูปที่ 6.32 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมลดลงจาก 15 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)}$$



รูปที่ 6.33 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมลดลงจาก 15 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 0.4s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink}$$

6.3.2 กรณีศึกษาที่ 2 กระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสาม

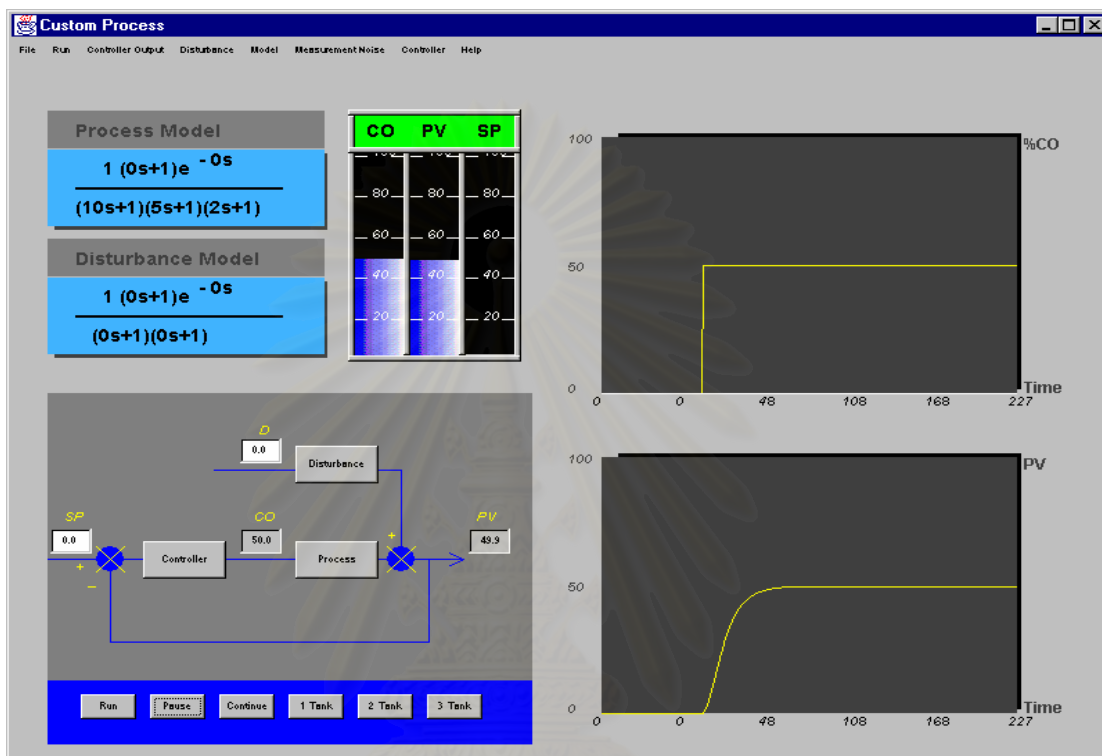
ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบกระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสามแบบ Overdamped และ Undamped การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มค่าขึ้นมาเอง การทดสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนานี้ ทำโดยเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ซึ่งในโปรแกรม Control Station ในรุ่นทดลองใช้สามารถเลือกพารามิเตอร์ของกระบวนการอันดับสามได้แบบ Overdamped และ Critically damped เท่านั้น โดยได้แสดงผลการเปรียบเทียบกระบวนการของโปรแกรม Control Station ไว้ควบคู่กับผลการเลียนแบบกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา ส่วนกระบวนการแบบ Underdamped ผู้วิจัยไม่ได้ทำการทดสอบกับโปรแกรม Control Station แต่ได้ทำการเลียนแบบกระบวนการ เพื่อดูแนวโน้มผลการเลียนแบบกระบวนการว่าถูกต้องหรือไม่ และสามารถควบคุมผลการเลียนแบบกระบวนการได้หรือไม่ ได้ผลการเลียนแบบกระบวนการและการควบคุมกระบวนการดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

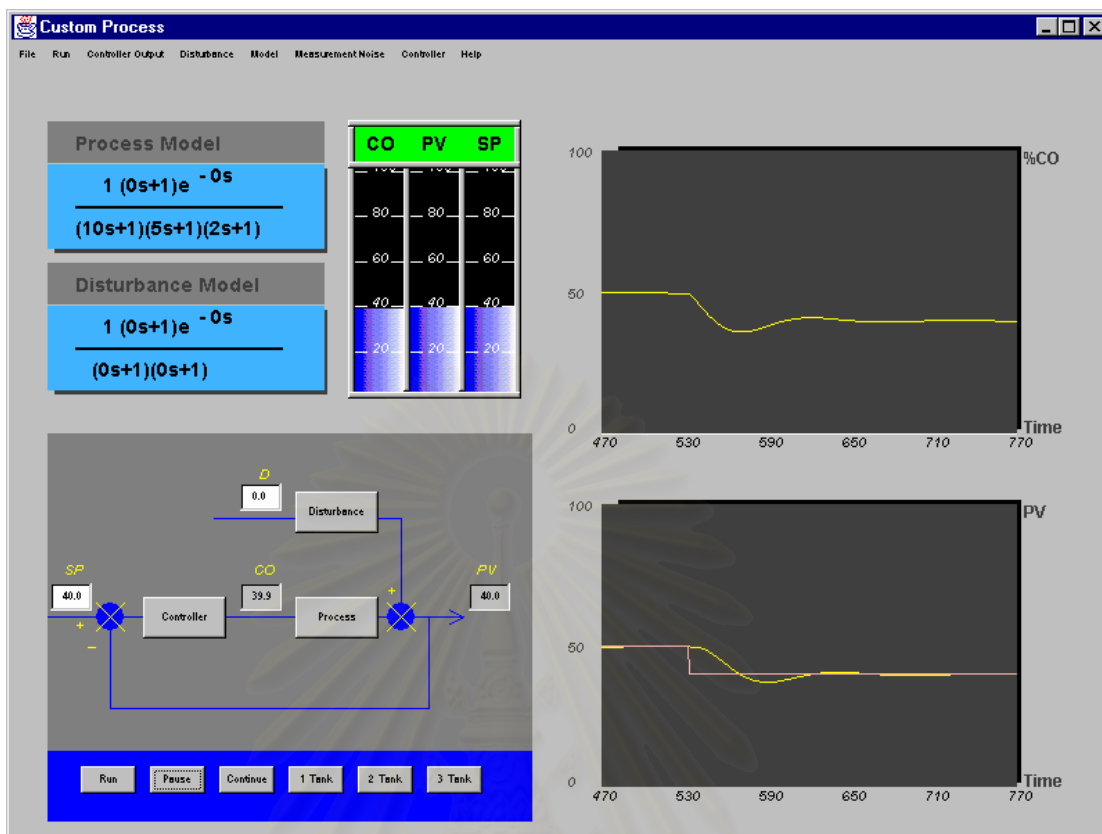
ก. กรณีกระบวนการอันดับสามแบบ **Overdamped**

$$(g(s) = \frac{1}{(10s+1)(5s+1)(2s+1)}) \text{ ผลการเลียนแบบกระบวนการได้ผลดังรูปที่ 6.34}$$

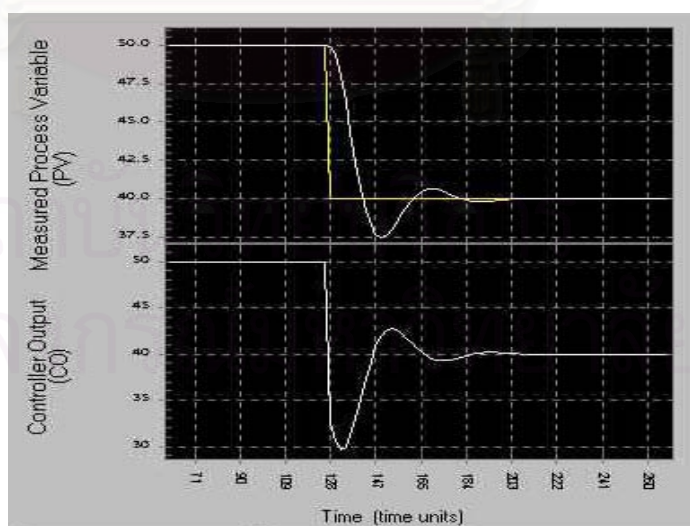


รูปที่ 6.34 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสามแบบ Overdamped

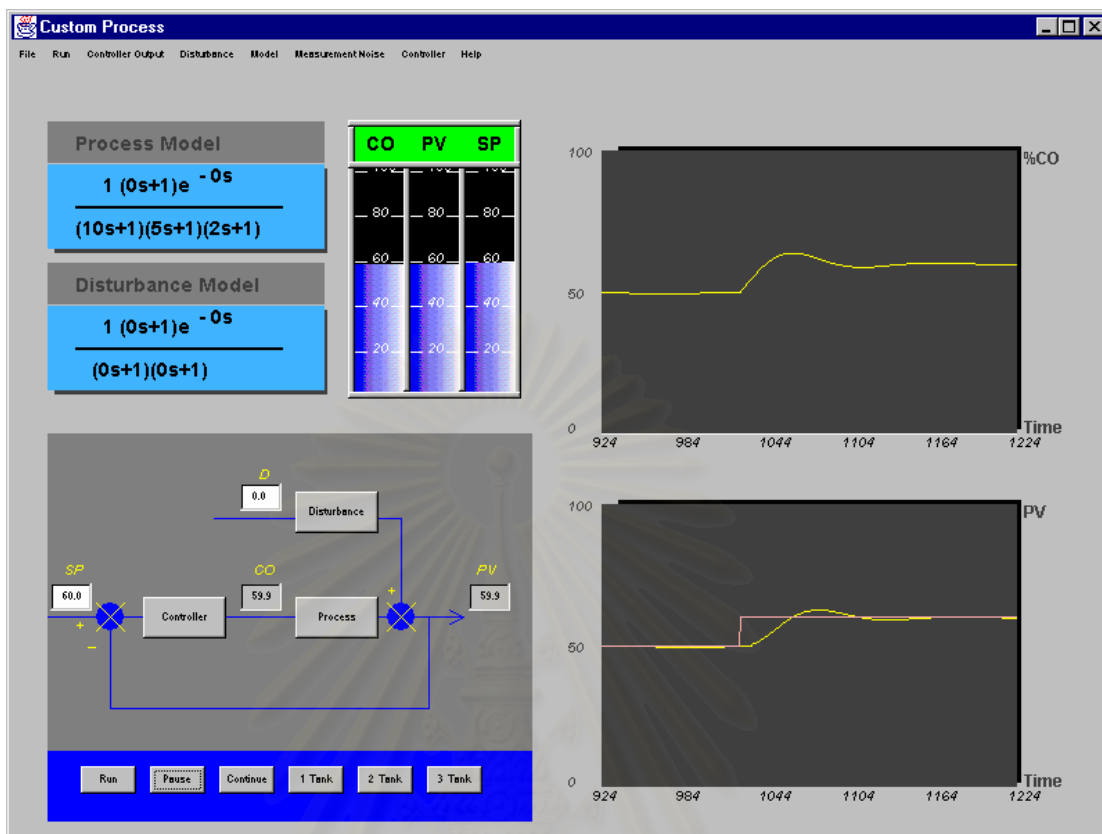
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการอันดับสามแบบ Overdamped เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.6$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการควบคุมนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ default ชุดเดิมในโปรแกรม Control Station ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายดังรูปที่ 6.35 และรูปที่ 6.37 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ได้ผลดังรูปที่ 6.36 และรูปที่ 6.38 ดังนี้



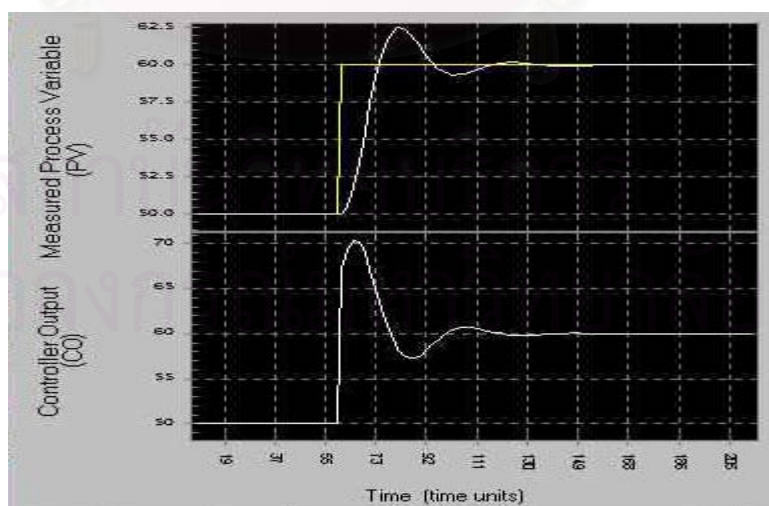
รูปที่ 6.35 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง จาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย



รูปที่ 6.36 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลงจาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย



รูปที่ 6.37 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น จาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย

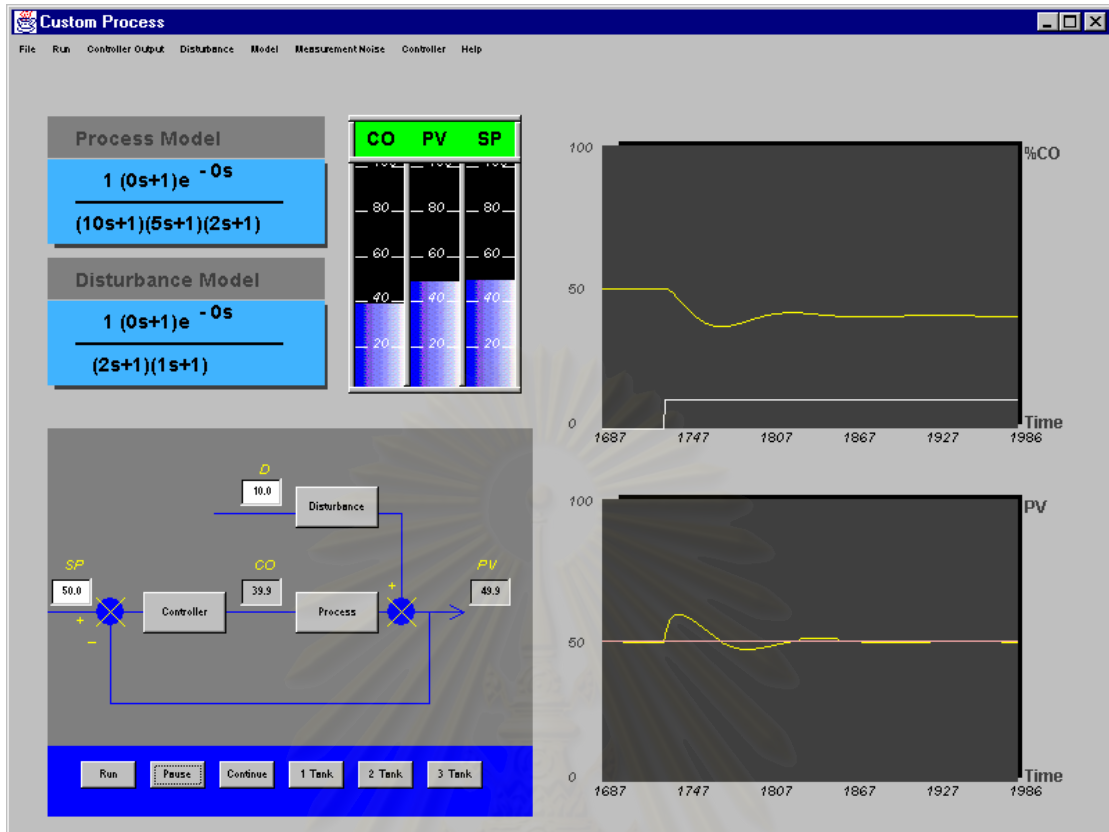


รูปที่ 6.38 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นจาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการอันดับสามแบบ **Overdamped** เมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.6$, $\tau_i = 10$, $\tau_d = 0$ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการควบคุมนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ default ชุดเดิมในโปรแกรม **Control Station** ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนตัวแปรรบกวนดังรูปที่ 6.39 และรูปที่ 6.41 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม **Control Station** ได้ผลดังรูปที่ 6.40 และรูปที่ 6.42 ดังนี้



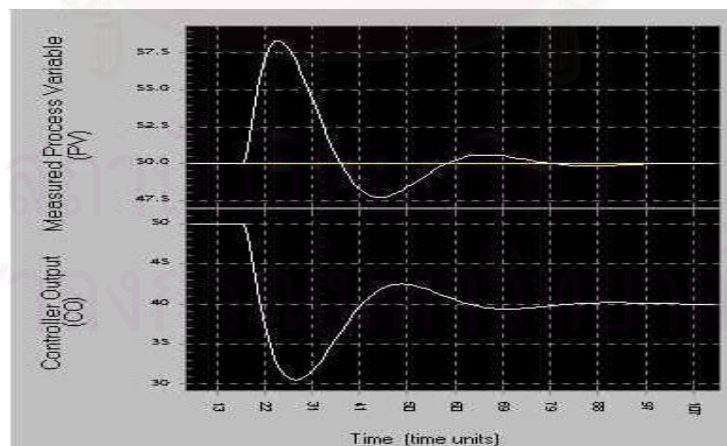
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.39 ผลการเดินแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรรบกวนเพิ่มขึ้นจาก

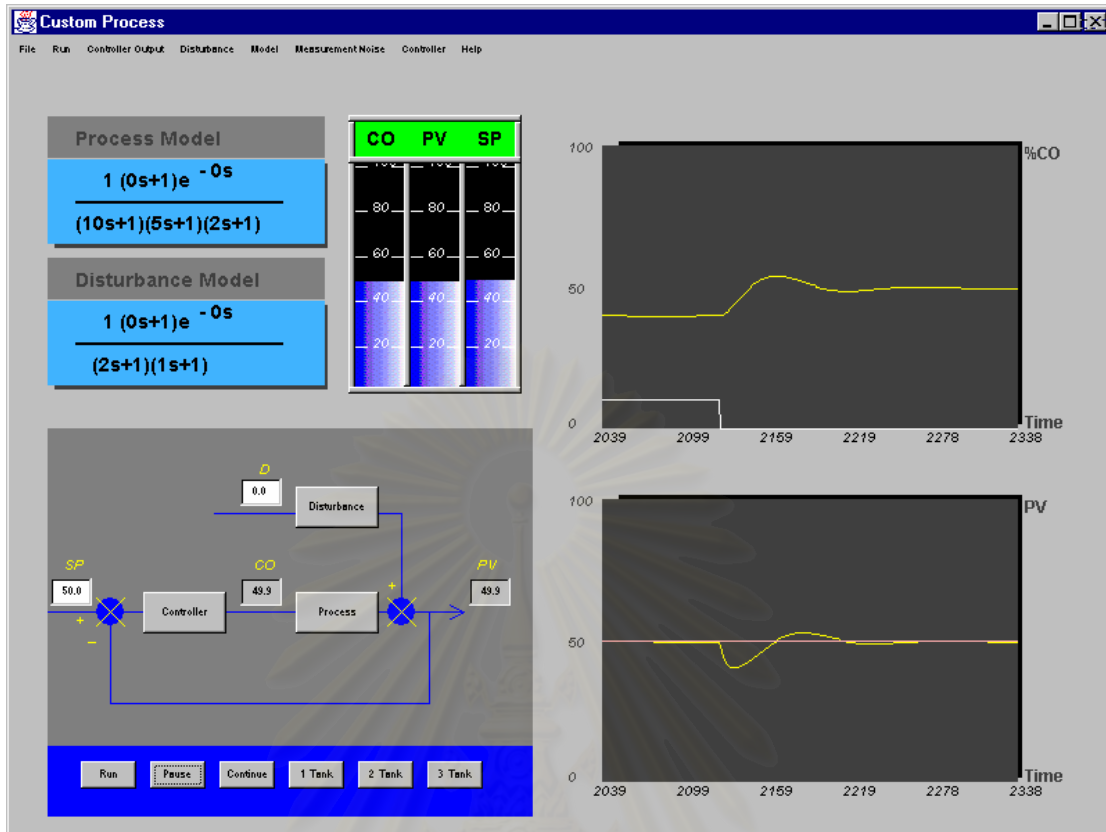
0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s+1)(s+1)}$$



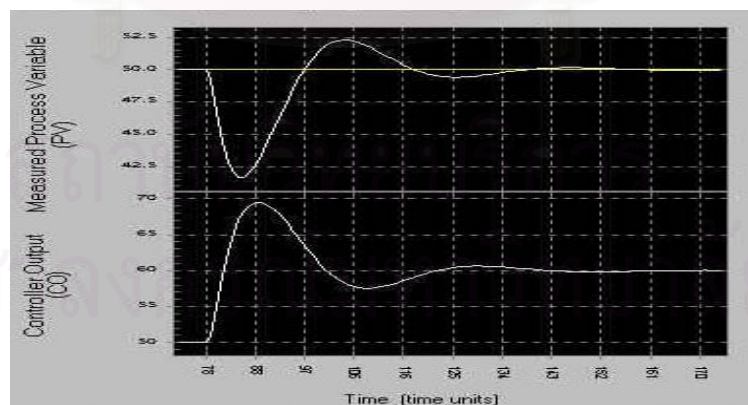
รูปที่ 6.40 ผลการเดินแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรรบกวนเพิ่มขึ้นจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการรบกวนอันดับ 2 ที่มี

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(2s+1)(s+1)}$



รูปที่ 6.41 ผลการเดินแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรบวกลดลงจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวงอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$$



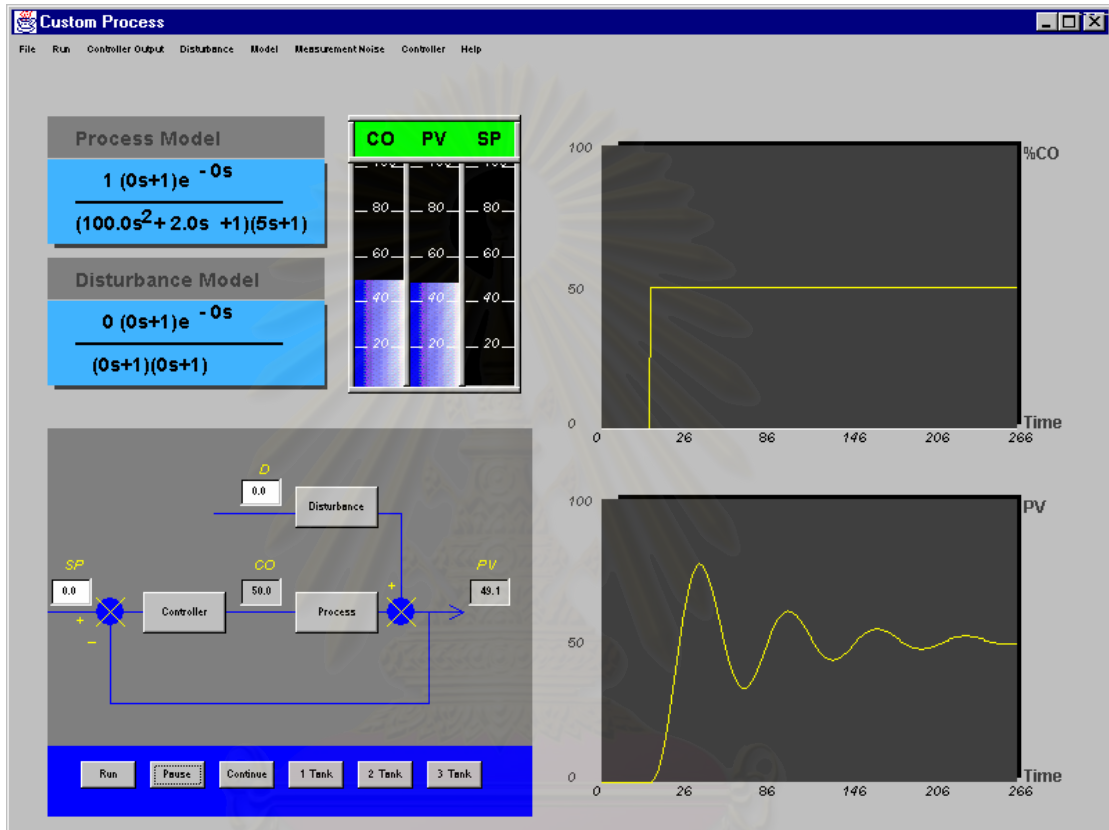
รูปที่ 6.42 ผลการเดินแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนตัวแปรบวกลดลงจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบวง อันดับ 2 ที่มี

ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน $g_d(s) = \frac{1}{(2s + 1)(s + 1)}$

ข. กรณีกระบวนการอันดับสามแบบ Underdamped

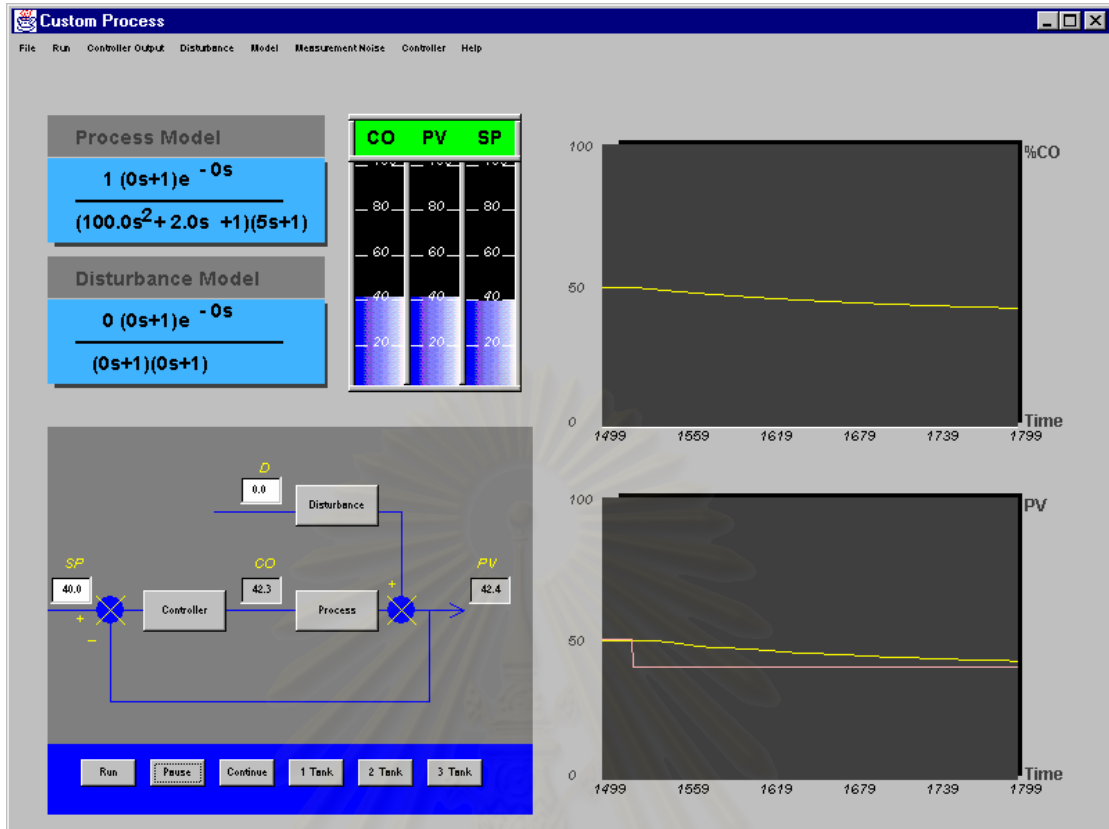
$$(g(s) = \frac{1}{(100s^2 + 2s + 1)(5s + 1)})$$

ผลการเลียนแบบกระบวนการกระบวนการได้ผลดังนี้

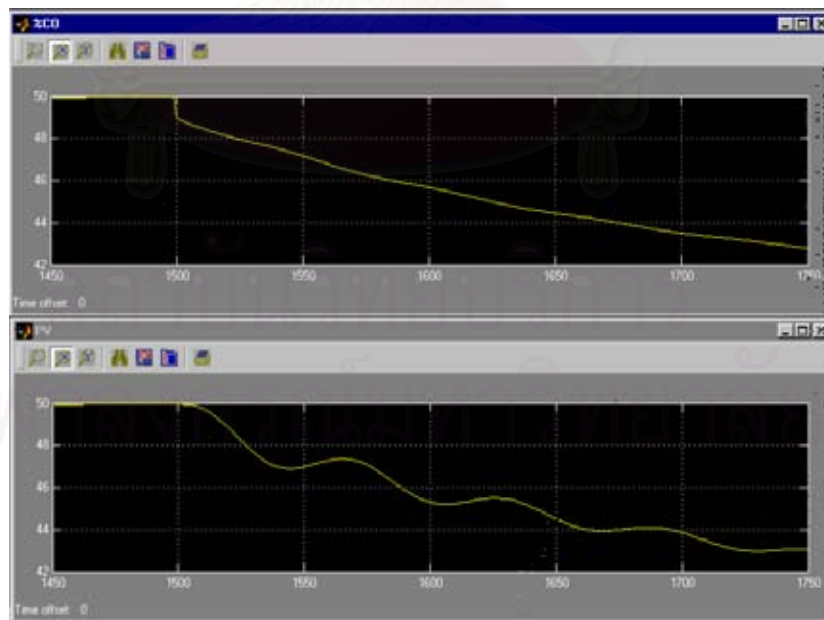


รูปที่ 6.43 ผลการเลียนแบบกระบวนการอันดับสามแบบ Underdamped

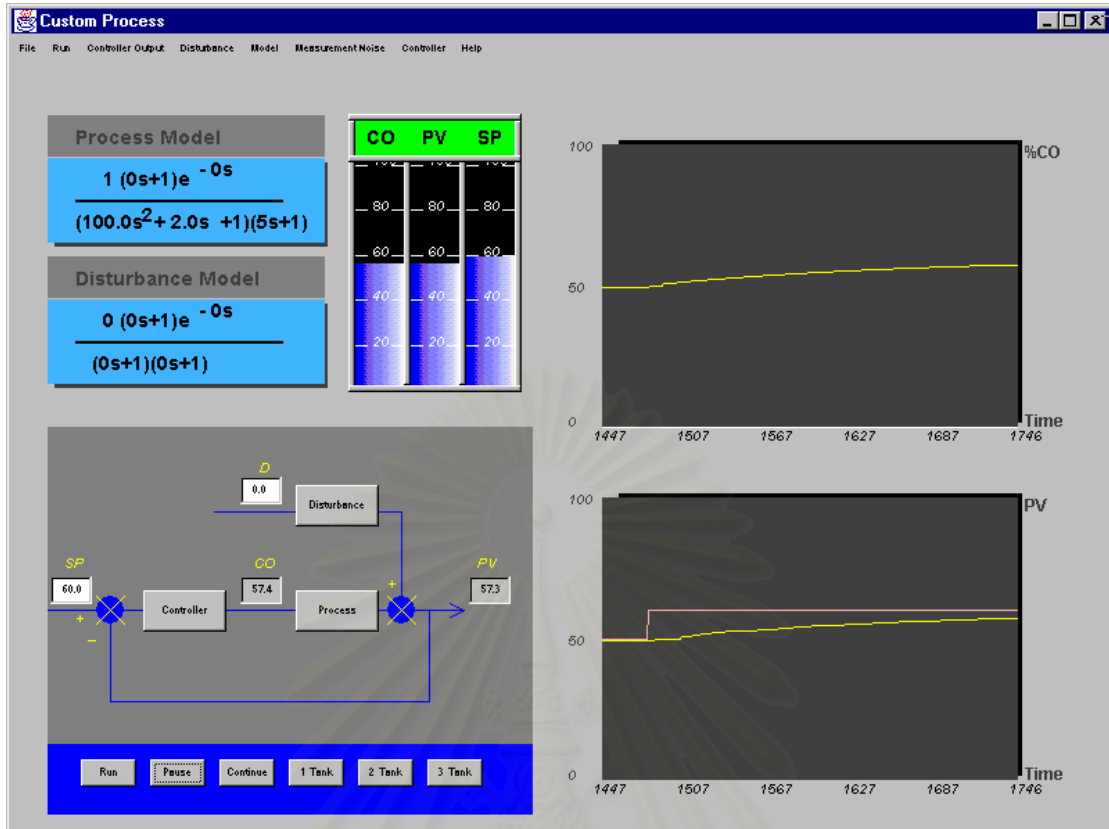
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.1$, $\tau_i = 20$, $\tau_d = 0$ ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายดังรูปที่ 6.44 และรูปที่ 6.46 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Simulink ได้ผลดังรูปที่ 6.45 และรูปที่ 6.47 ดังนี้



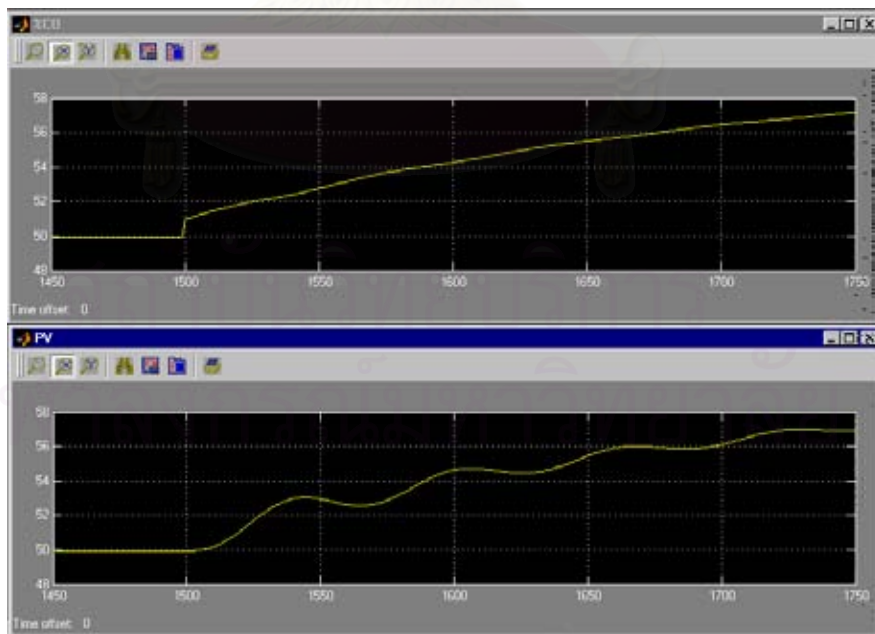
รูปที่ 6.44 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง จาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วย



รูปที่ 6.45 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายลดลง จาก 50 หน่วยเป็น 40 หน่วยในโปรแกรม Simulink



รูปที่ 6.46 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น จาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วย

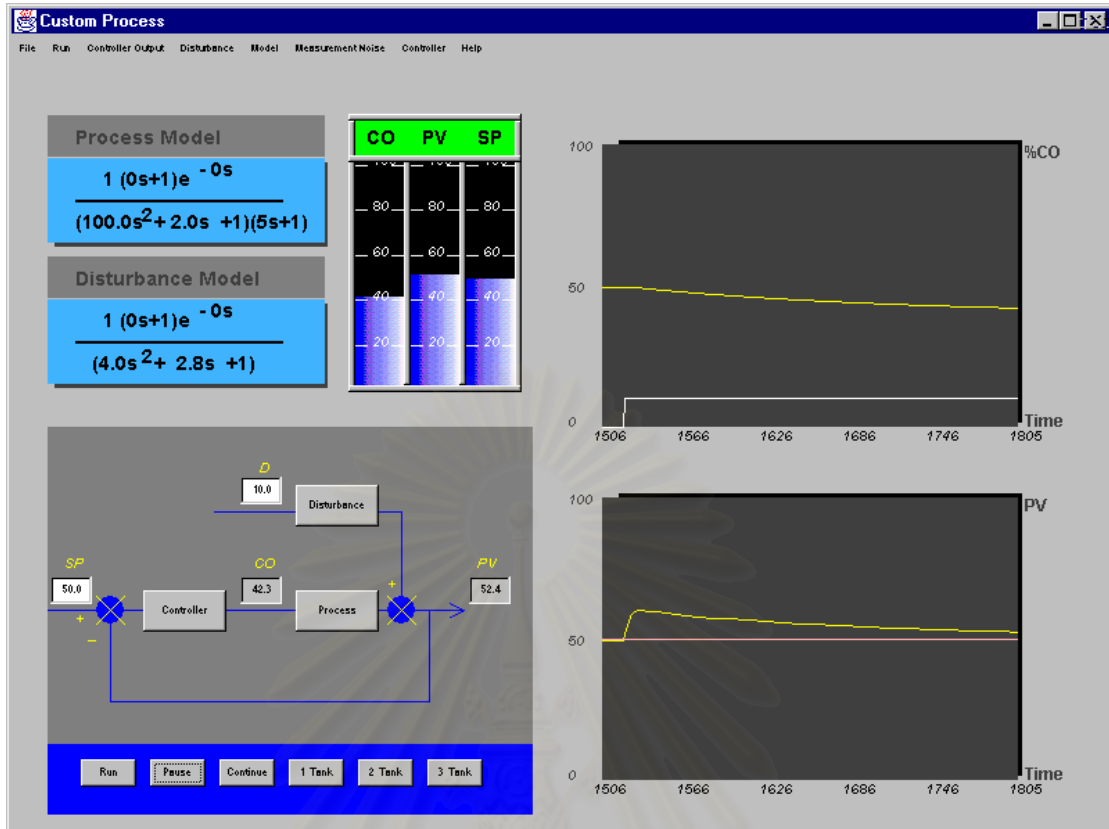


รูปที่ 6.47 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้น จาก 50 หน่วยเป็น 60 หน่วยในโปรแกรม Simulink

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อพารามิเตอร์การควบคุม $K_C = 0.1$, $\tau_i = 20$, $\tau_d = 0$ ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรรบกวนดังรูปที่ 6.48 และรูปที่ 6.50 ส่วนผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Simulink ได้ผลดังรูปที่ 6.49 และรูปที่ 6.51 ดังนี้

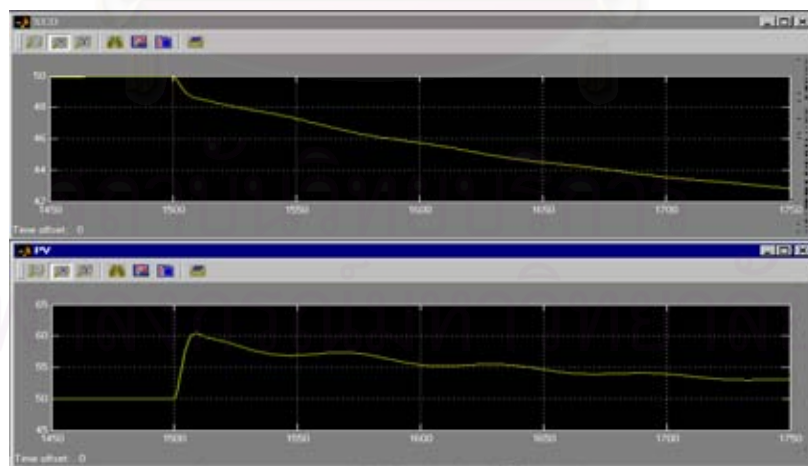


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.48 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้นจาก 0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการควบคุมอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

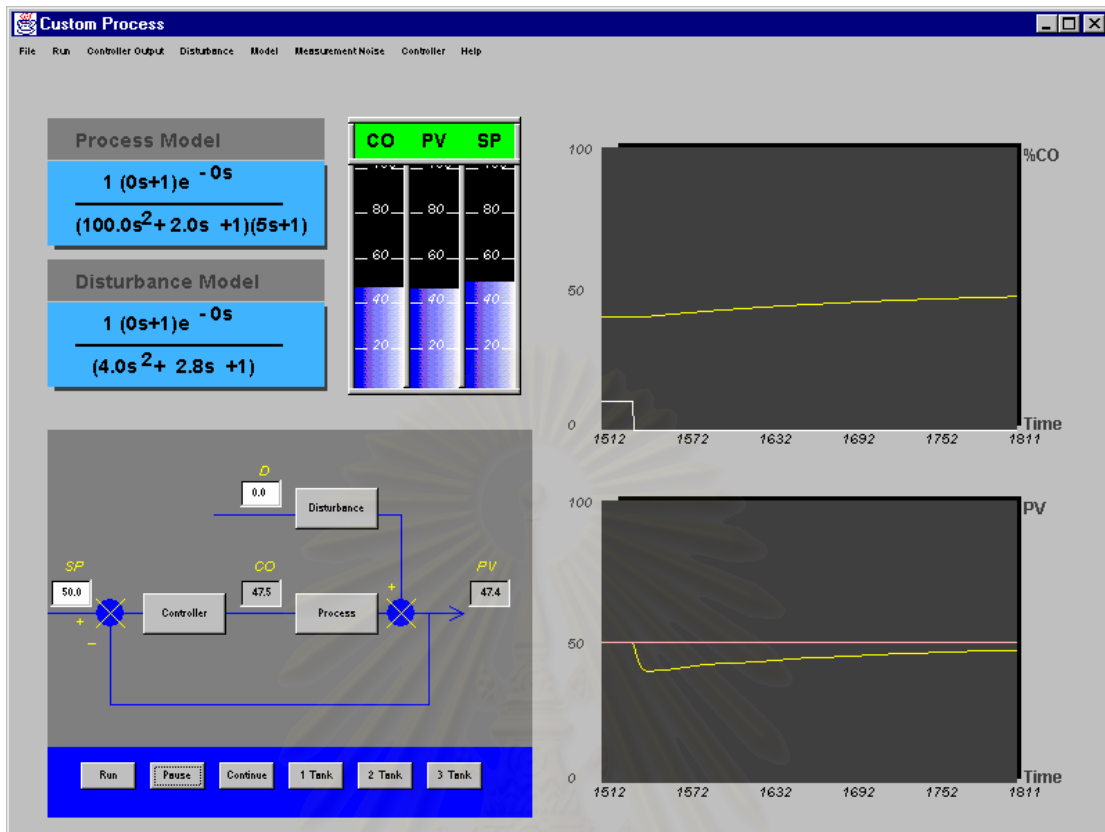
$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)}$$



รูปที่ 6.49 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้นจาก

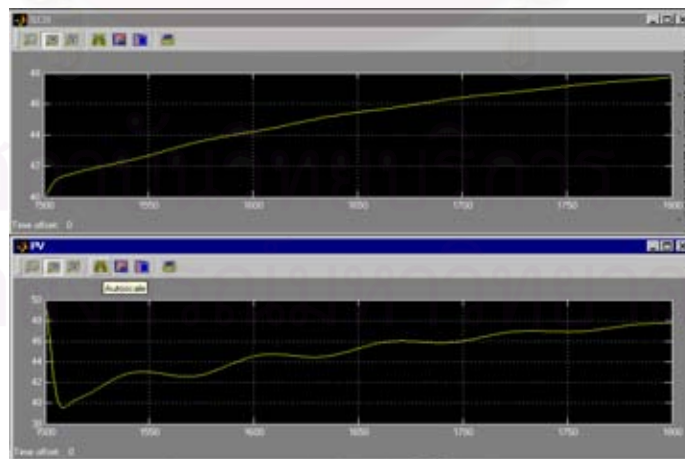
0 หน่วยเป็น 10 หน่วย ผ่านกระบวนการควบคุมอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink}$$



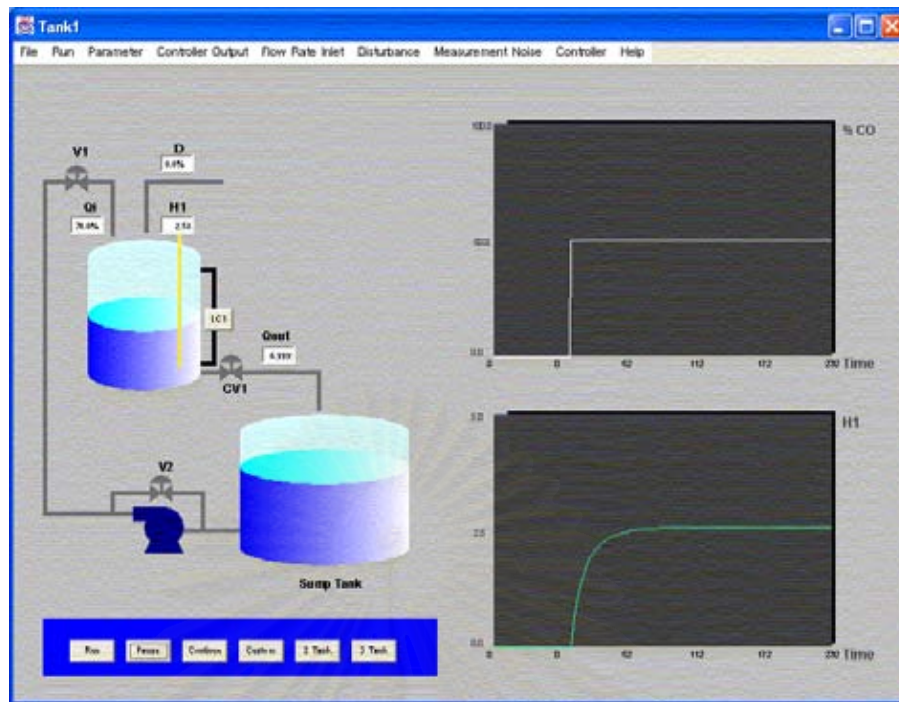
รูปที่ 6.50 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมลดลงจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)}$$

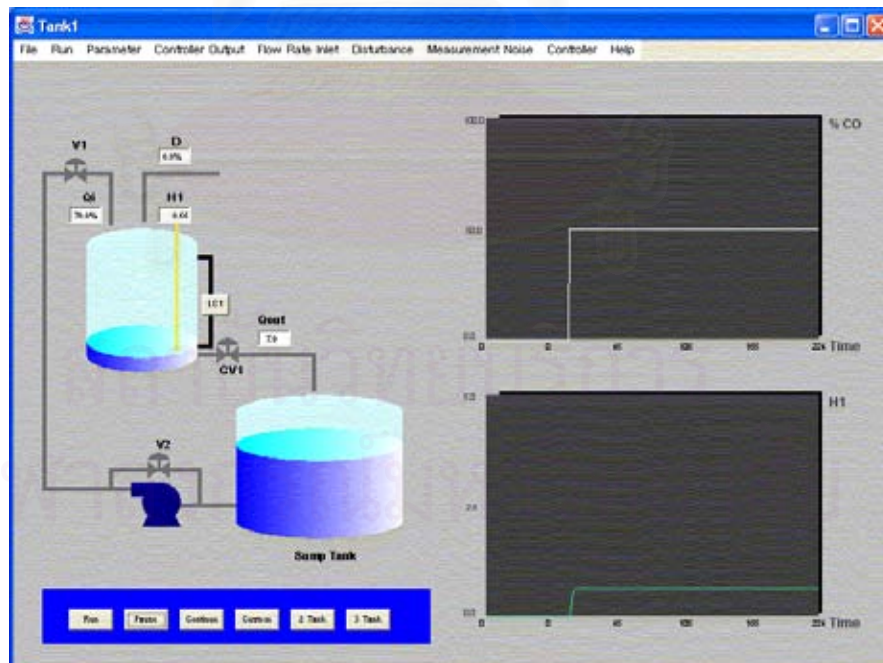


รูปที่ 6.51 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อเปลี่ยนตัวแปรควบคุมลดลงจาก 10 หน่วยเป็น 0 หน่วย ผ่านกระบวนการรอบกวนอันดับ 2 ที่มีทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน

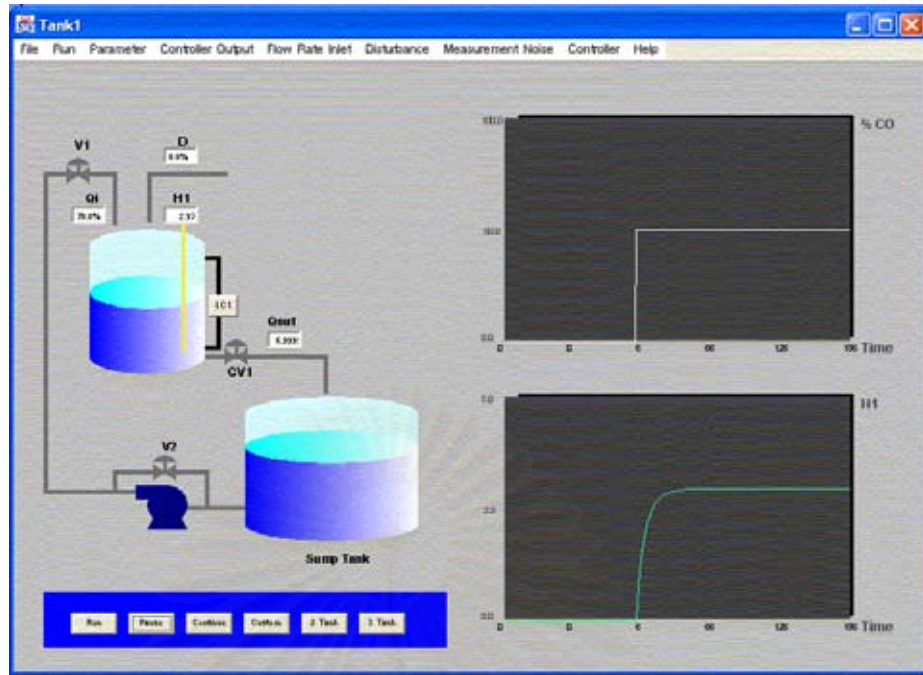
$$g_d(s) = \frac{1}{(4s^2 + 2.8s + 1)} \text{ ในโปรแกรม Simulink}$$



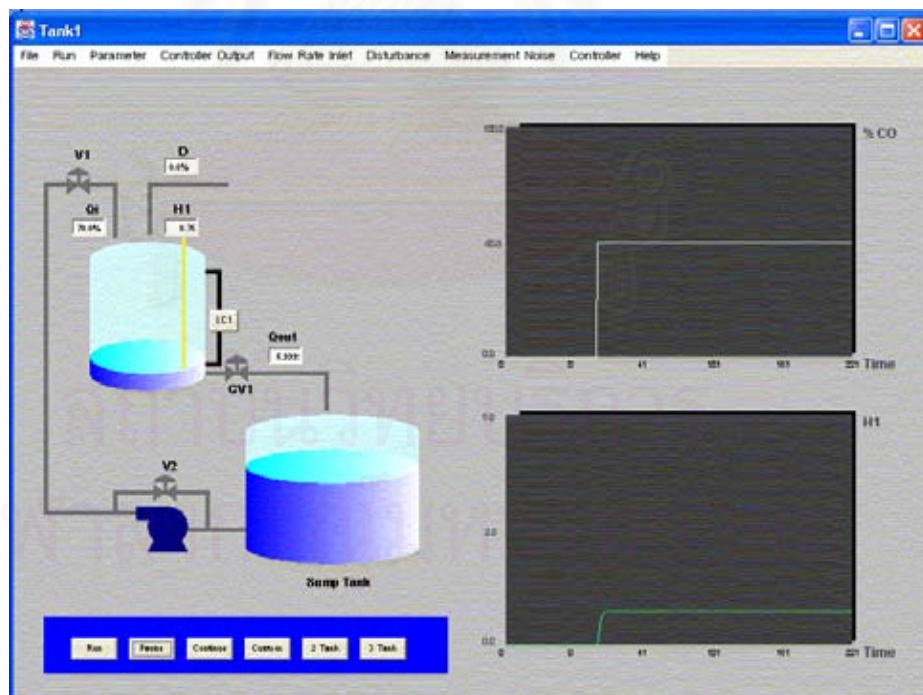
รูปที่ 6.53 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 20 ft².
 ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} ล้นวาล์วชนิดเชิงเส้น
 ระดับความสูงของของเหลวที่สภาวะคงตัว 2.59 เมตร



รูปที่ 6.54 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft².
 ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 15 gpm/psi^{1/2} ล้นวาล์วชนิดเชิงเส้น
 ระดับความสูงของของเหลวที่สภาวะคงตัว 0.17 เมตร

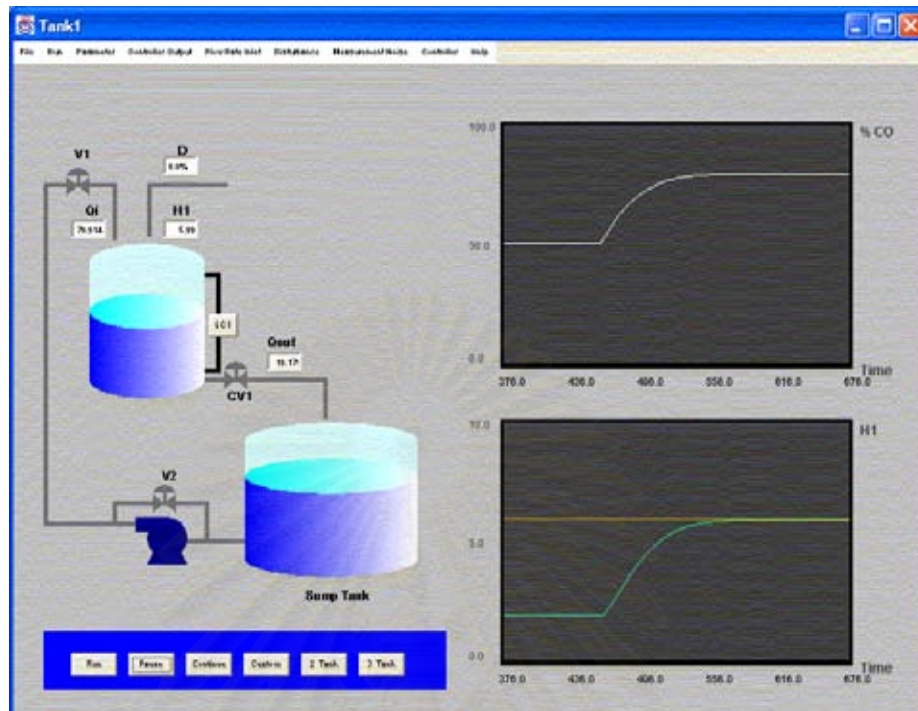


รูปที่ 6.55 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft^2
 ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = $8.17 \text{ gpm/psi}^{1/2}$ ล้นวาล์วชนิด Equal percentage
 ระดับความสูงของของเหลวที่สภาวะคงตัว 2.97 เมตร

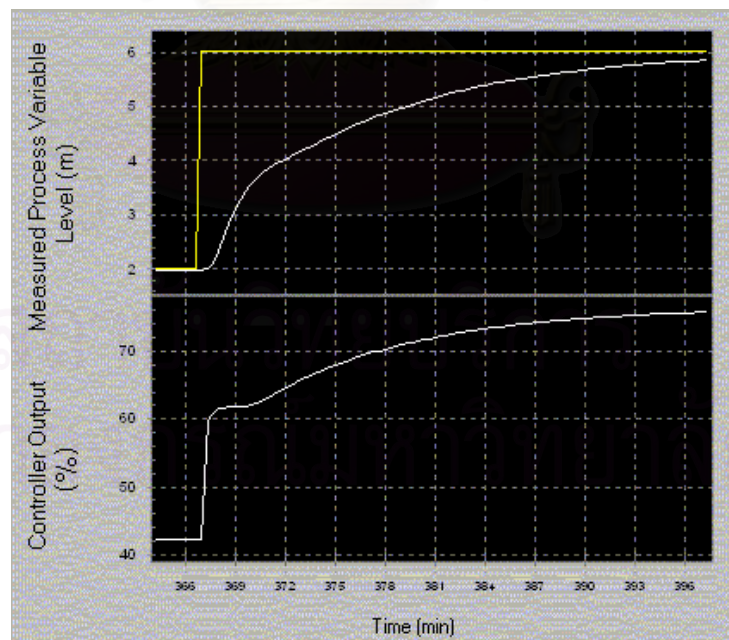


รูปที่ 6.56 ผลการเลียนแบบกระบวนการเมื่อพื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft^2
 ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = $8.17 \text{ gpm/psi}^{1/2}$ ล้นวาล์วชนิด Quick opening
 ระดับความสูงของของเหลวที่สภาวะคงตัว 0.77 เมตร

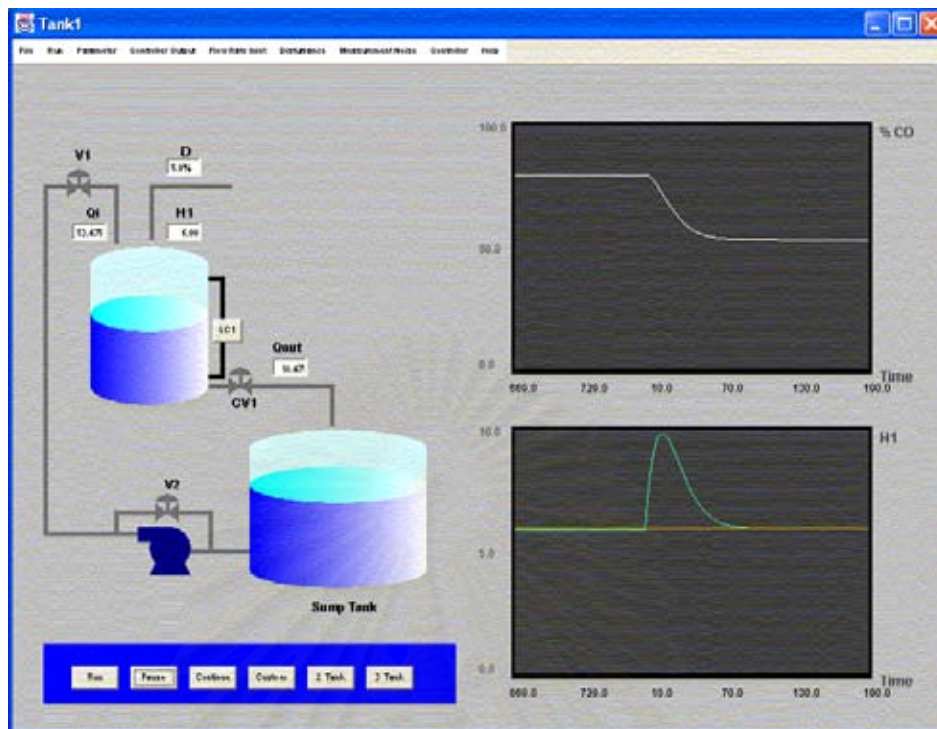
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการ ให้ถังมีความสูง 10 ft พื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft² ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 6.18 gpm/psi^{1/2} ล้วนวาล์วชนิดเชิงเส้น โดยกำหนดให้อัตราการไหลของของเหลวเข้าเป็น 25 ลิตรต่อนาทีเนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station ดังนั้นจึงกำหนดค่าอัตราการไหลซึ่งเป็นค่าที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม Control Station และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการข้างต้นเป็นค่าที่กำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับพารามิเตอร์ของกระบวนการในโปรแกรม Control Station ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์การควบคุม $K_c = 4$, $\tau_i = 4$, $\tau_d = 0$ ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์การควบคุม default ในโปรแกรม Control Station ได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายจาก 2 ft เป็น 6 ft ดังรูปที่ 6.57 และผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลรอบวนเพิ่มขึ้นในถัง 5 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 6.59 ส่วนผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม Control Station แสดงไว้ทางด้านล่างของผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการของผู้วิจัยควบคุมกันดังรูปที่ 6.58 และรูปที่ 6.60



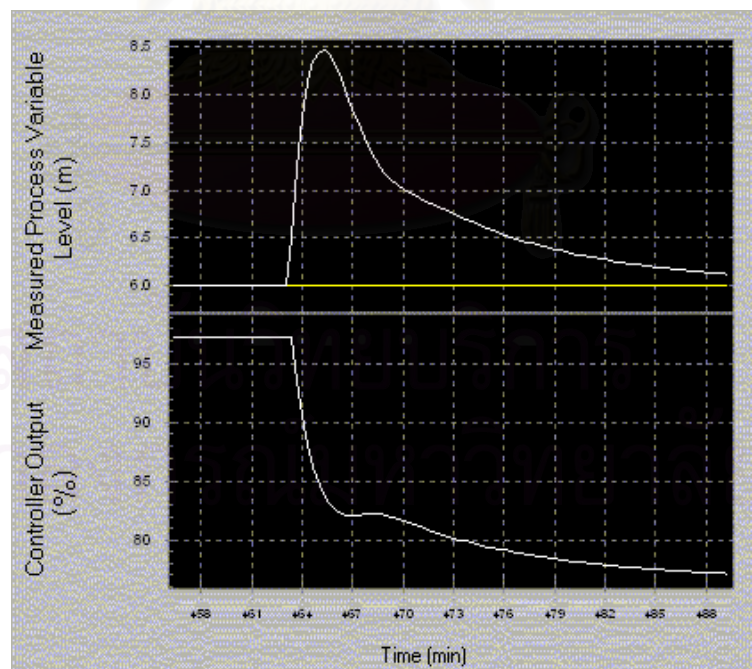
รูปที่ 6.57 ผลการเดินแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นจาก 2 ft เป็น 6 ft



รูปที่ 6.58 ผลการเดินแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นจาก 2 ft เป็น 6 ft



รูปที่ 6.59 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อปรับอัตราการไหลรบกวนเพิ่มขึ้น 5 ลิตรต่อนาที

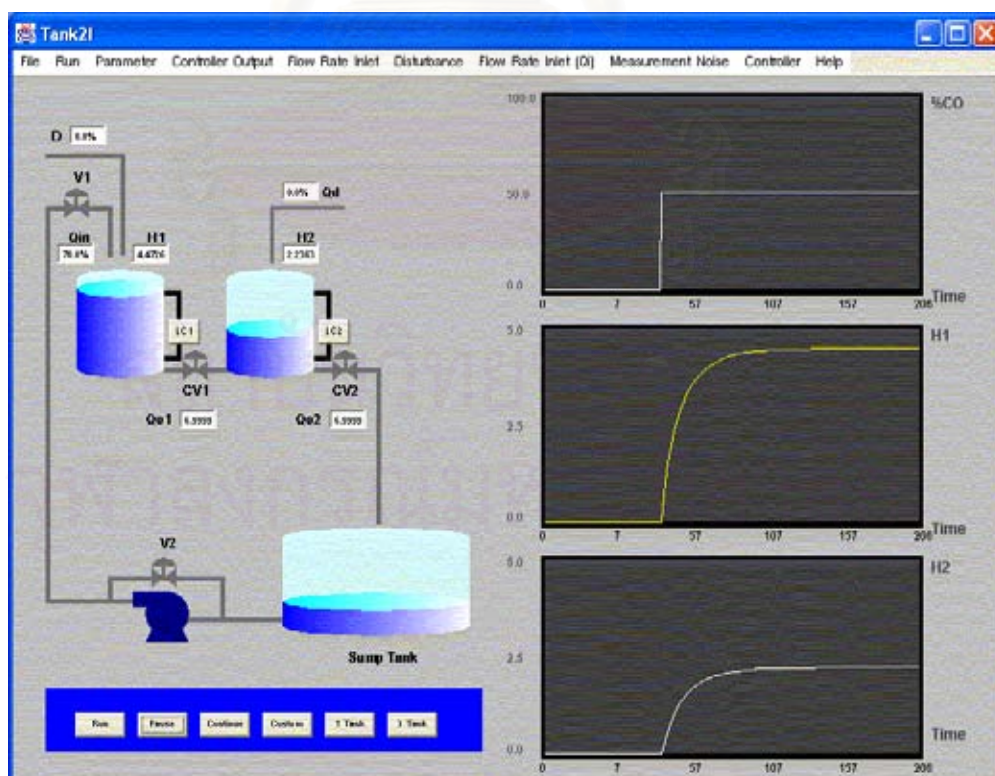


รูปที่ 6.60 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Control Station เมื่อปรับอัตราการไหลรบกวนเพิ่มขึ้น 5 ลิตรต่อนาที

6.3.4 กรณีศึกษาที่ 4 กระบวนการระบบ 2 ถัง ($h2n=0$)

ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบกระบวนการระบบ 2 ถัง การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ในกระบวนการนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มค่าขึ้นมาเอง เนื่องจากโปรแกรม Control Station มีโปรแกรม การเลียนแบบกระบวนการระบบเพียงอย่างเดียวผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบความถูกต้องโปรแกรมโดย ดูแนวโน้มของผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Simulink และ แสดงไว้ควบคู่กับผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ผู้วิจัยได้พัฒนา รายละเอียดเกี่ยวกับการ เลียนแบบการควบคุมกระบวนการของโปรแกรม Simulink ดูได้จากภาคผนวก ก

ผลการเลียนแบบกระบวนการระบบ 2 ถังนี้ได้ศึกษาเฉพาะกรณีที่เกิดการรบกวนของ ระดับของของเหลว ผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการในถังใบที่ 1 และถังใบที่ 2 มีค่า เท่ากันคือ ความสูงของถัง = 5 ft พื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft² วาล์วชนิดเชิงเส้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์ ของวาล์ว = 8.17 $\text{gpm/psi}^{1/2}$ กำหนดให้อัตราการไหลเข้าของของเหลวมีค่าเป็น 70% ของอัตราการ ไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม และตัวแปรปรับกระบวนการมีค่า 50% ได้ผลการเลียนแบบ กระบวนการดังรูปที่ 6.61



รูปที่ 6.61 ผลการเลียนแบบกระบวนการในระบบ 2 ถัง

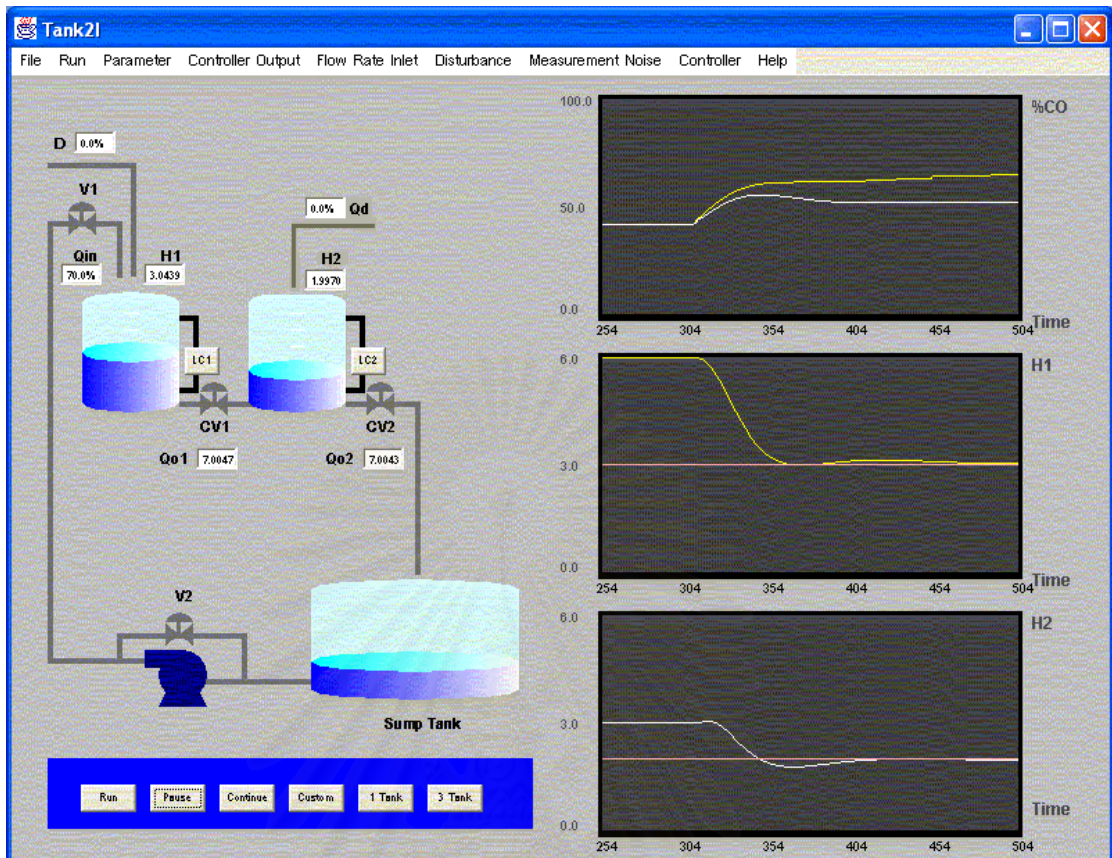
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในถังใบที่ 1 และถังใบที่ 2 เท่ากัน คือ ความสูงของถัง = 5 ft พื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft² ลี้นวาล์วชนิดเชิงเส้นค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} อัตราการไหลเข้าของของเหลวเท่ากับ 70% ของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม ที่สภาวะคงตัวก่อนทำการควบคุมระดับความสูงของเหลวในถังใบที่ 1 และใบที่ 2 เท่ากับ 4.47 ft และ 2.24 ft ตามลำดับปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุมกระบวนการทั้งสองใบแบบทดลอง-สอบผล ได้ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในถังแต่ละใบแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 พารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากการปรับตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 2 ถัง

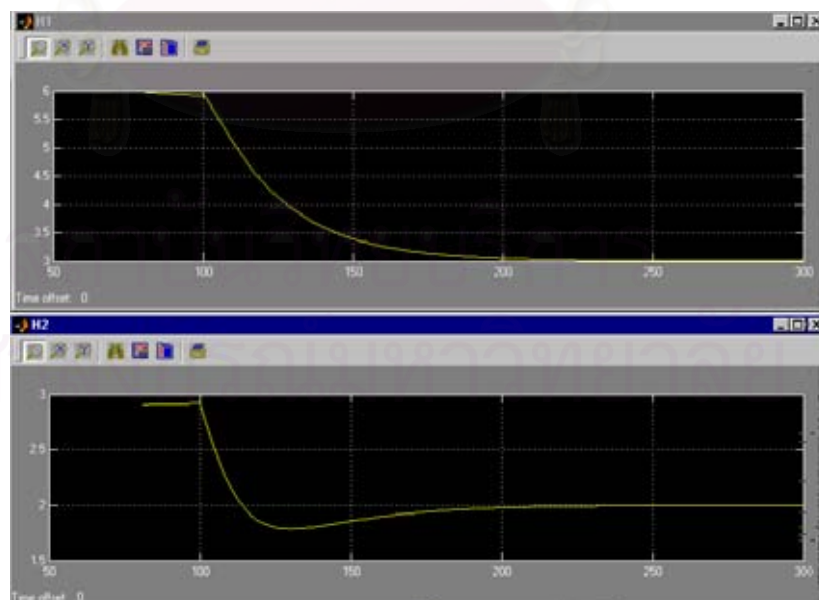
พารามิเตอร์ควบคุม	K_C	τ_i	τ_d
ถังใบที่ 1	0.2	0.5	0
ถังใบที่ 2	0.1	0.5	0

ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในตารางที่ 6.3 สามารถให้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายได้ดังรูปที่ 6.62 และผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อปรับอัตราการไหลรอบวนได้ดังรูปที่ 6.64 ส่วนผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Simulink แสดงได้ดังรูปที่ 6.63 และรูปที่ 6.65

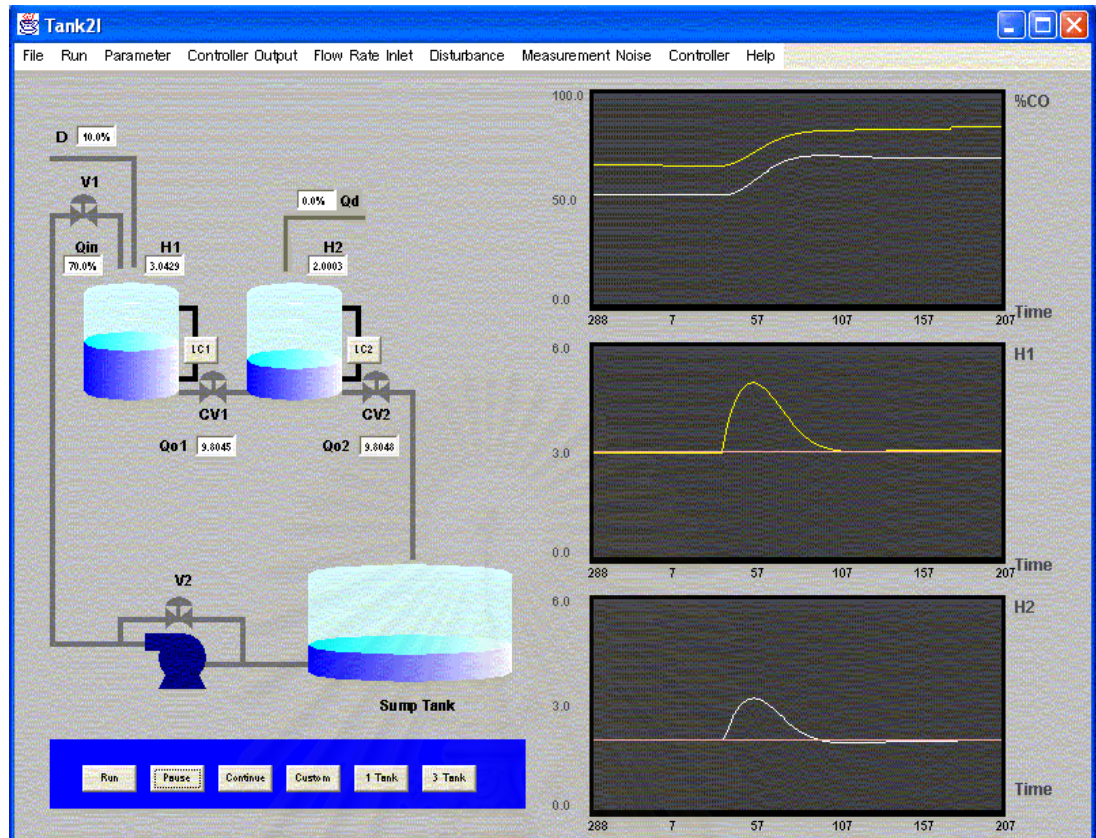
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



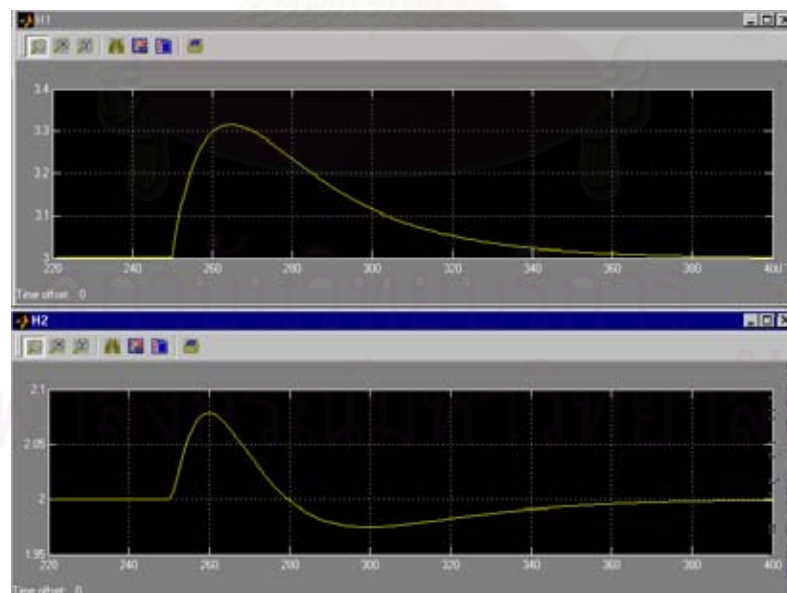
รูปที่ 6.62 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อค่าเป้าหมายในถังที่ 1 = 3 ft และค่าเป้าหมายในถังที่ 2 = 2 ft



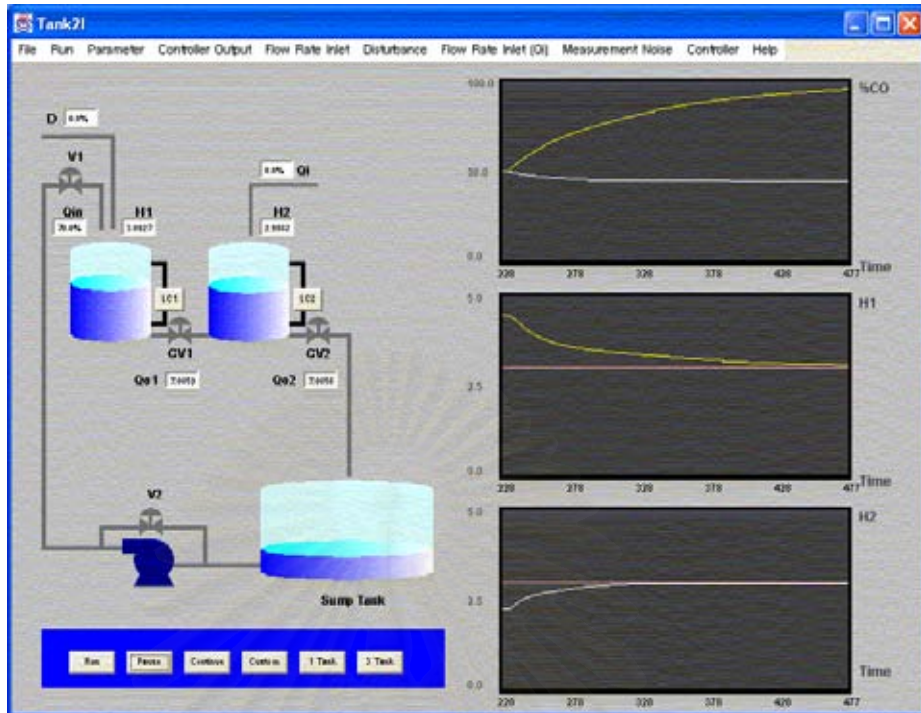
รูปที่ 6.63 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่อค่าเป้าหมายในถังที่ 1 = 3 ft และค่าเป้าหมายในถังที่ 2 = 2 ft



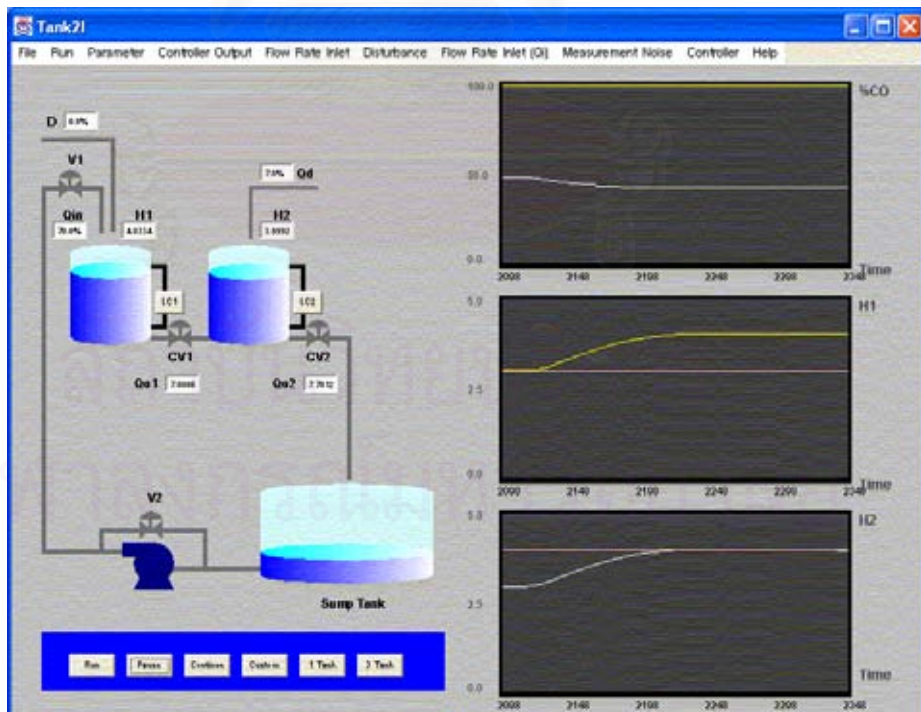
รูปที่ 6.64 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่ออัตราการไหลรบกวนเพิ่มขึ้นในถังใบที่ 1 10% ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft



รูปที่ 6.65 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่ออัตราการไหลรบกวนในถังใบที่ 1 เพิ่มขึ้น 10% ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft ค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 2 ft



รูปที่ 6.66 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ เมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 3 ft

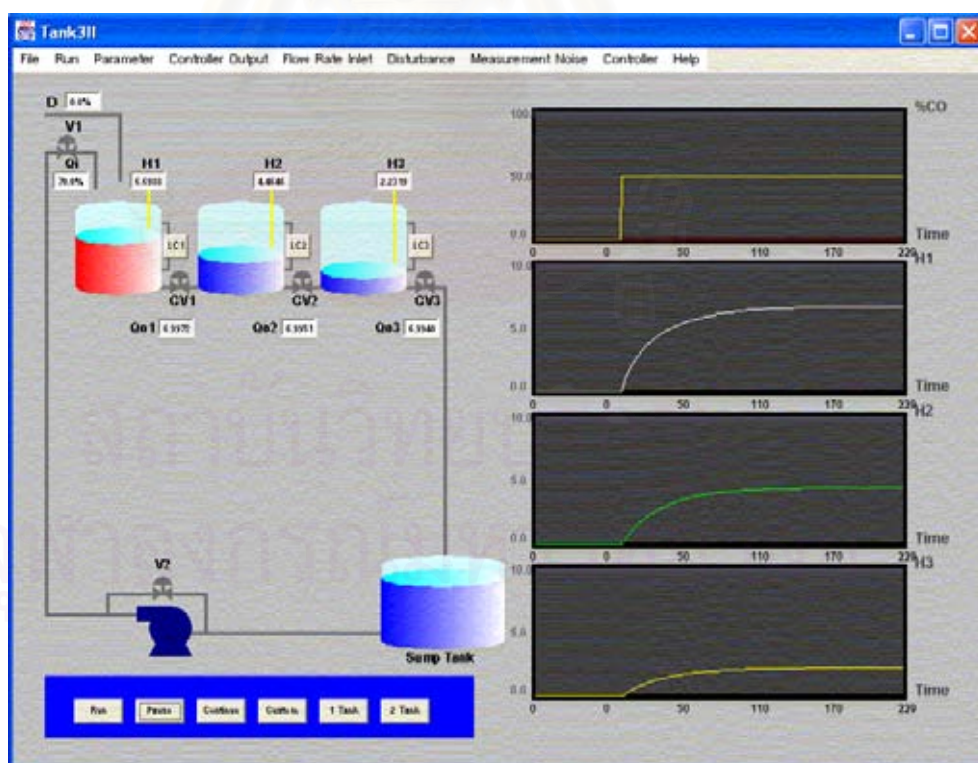


รูปที่ 6.67 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ เมื่อค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft และค่าเป้าหมายในถังใบที่ 2 = 4 ft

6.3.5 กรณีศึกษาที่ 5 กระบวนการระบบ 3 ถัง ($h_{2n}=0, h_{3n}=0$)

ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ทำผลการเลียนแบบกระบวนการระบบ 3 ถัง ค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มค่าขึ้นเองและทำการทดสอบโปรแกรมโดยดูแนวโน้มของผลเลียนแบบการควบคุมกระบวนการกับโปรแกรม Simulink ผลการทดสอบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรม Simulink แสดงไว้ควบคู่กับผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการที่ได้พัฒนา

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการระบบ 3 ถังนี้ศึกษาเฉพาะกรณีที่เกิดการรบกวนของระดับของของเหลว ผู้วิจัยได้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในถังทั้งสามใบในระบบ 3 ถังมีค่าเท่ากัน คือ ความสูงของถัง = 10 ft พื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft² ลิ้นวาล์วชนิดเชิงเส้นค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} กำหนดให้อัตราการไหลเข้าของของเหลวเป็น 70% ของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม และตัวแปรปรับกระบวนการเป็น 50% ได้ผลการเลียนแบบกระบวนการดังรูปที่ 6.68

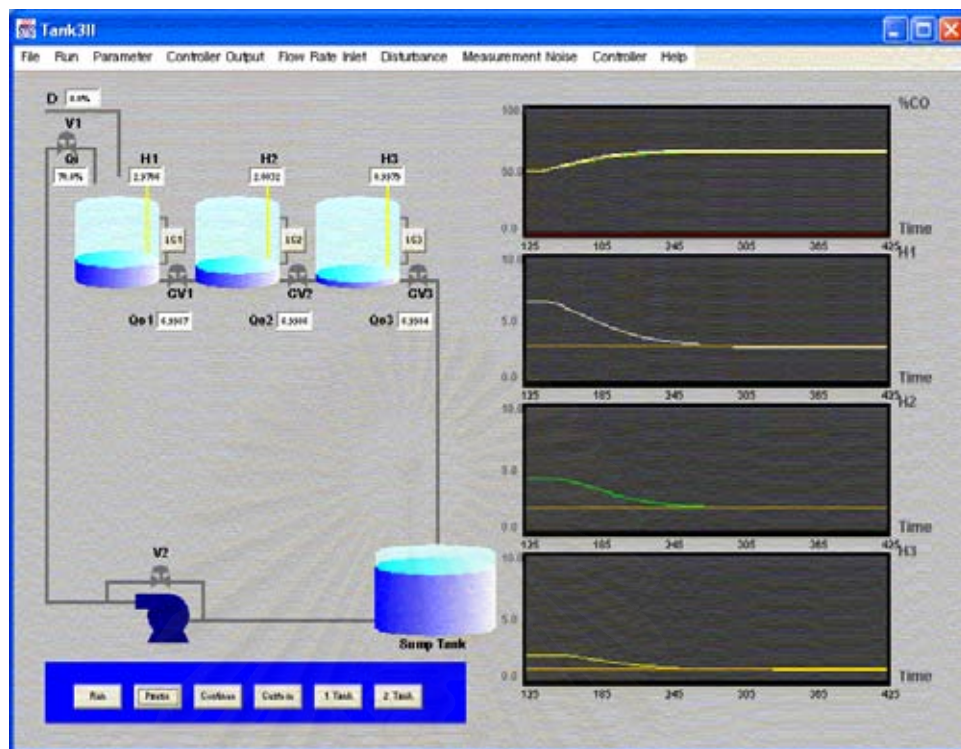


รูปที่ 6.68 ผลการเลียนแบบกระบวนการระบบ 3 ถัง

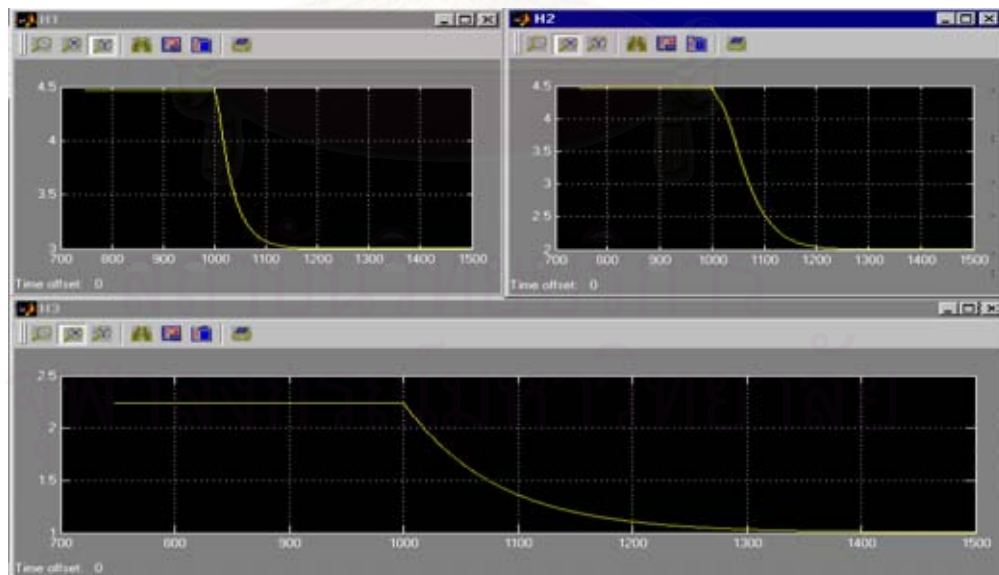
ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการโดยใช้พารามิเตอร์ของกระบวนการในถังทั้งสามใบชุดเดียวกัน คือ ความสูงของถัง = 5 ft พื้นที่หน้าตัดของถัง = 10 ft² ลื่นวาล์วชนิดเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์ว = 8.17 gpm/psi^{1/2} อัตราการไหลเข้าของของเหลวเป็น 70% ของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม ทำการปรับพารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการของถังทั้งสามใบแบบทดลอง-สอบผล เมื่อทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย และปรับอัตราการไหลรอบวนได้ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการดังรูปที่ 6.69 และรูปที่ 6.71 ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการที่ได้จากการปรับระบุไว้ดังตารางที่ 6.4 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink แสดงได้ดังรูปที่ 6.70 และรูปที่ 6.72 และผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนลำดับค่าเป้าหมายสูงสุดแสดงดังรูปที่ 6.73 และ รูปที่ 6.74

ตารางที่ 6.4 พารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากการปรับตัวควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 3 ถัง

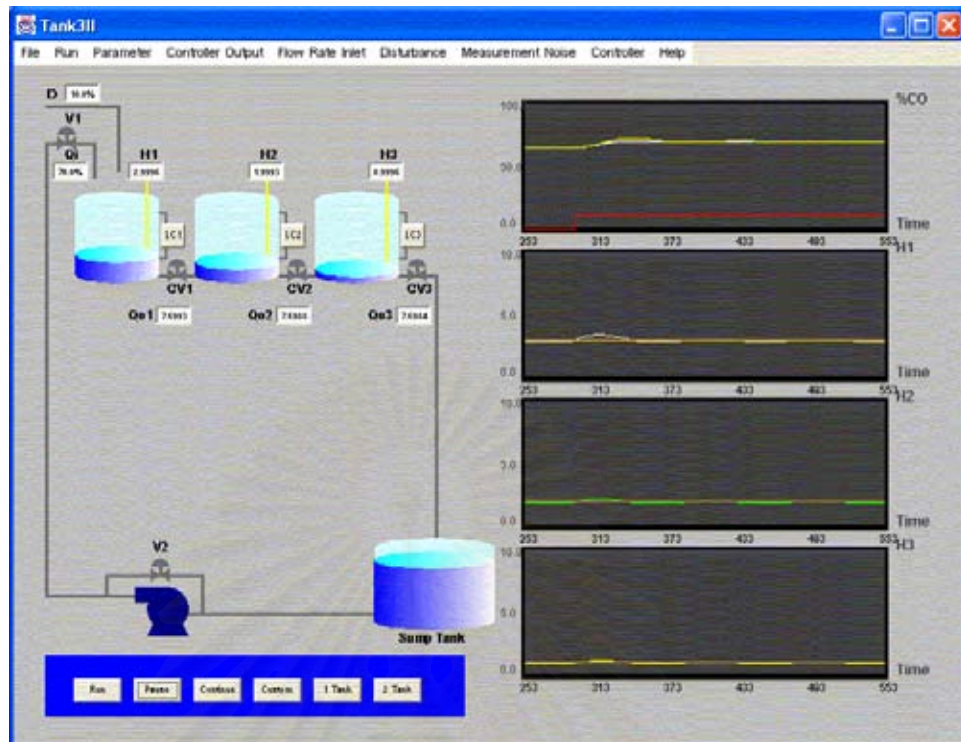
พารามิเตอร์ควบคุม	K_C	τ_i	τ_d
ถังใบที่ 1	0.01	0.5	0
ถังใบที่ 2	0.05	0.5	0
ถังใบที่ 3	0.1	0.5	0



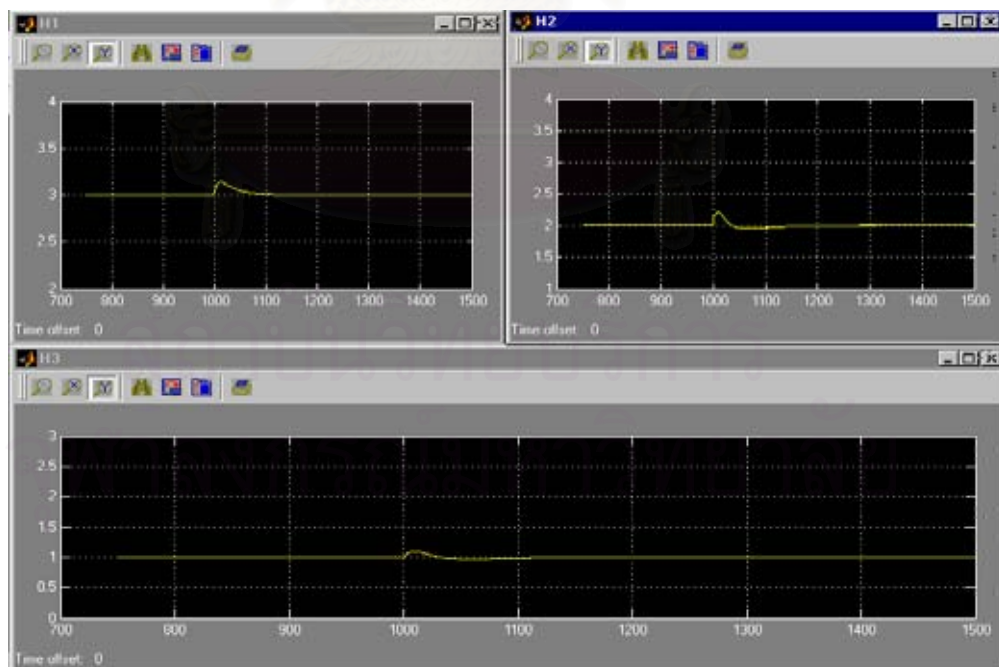
รูปที่ 6.69 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย โดยค่าเป้าหมายถึงใบที่ 1 = 3 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft ถึงใบที่ 3 = 1 ft



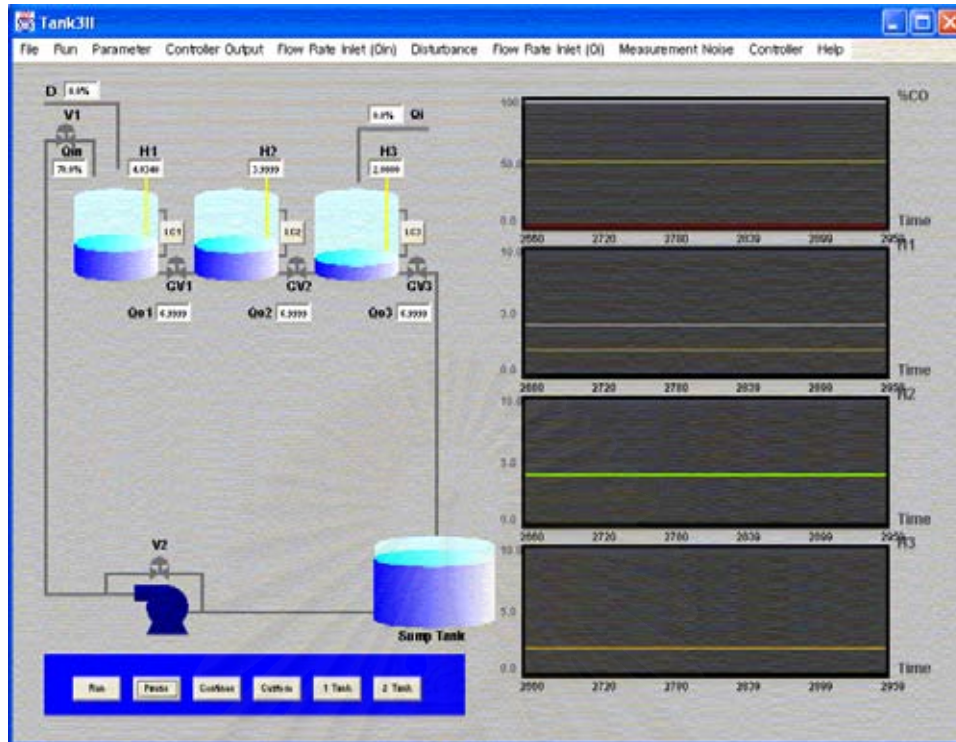
รูปที่ 6.70 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย โดยค่าเป้าหมายในถังใบที่ 1 = 3 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft และถังใบที่ 3 = 1 ft



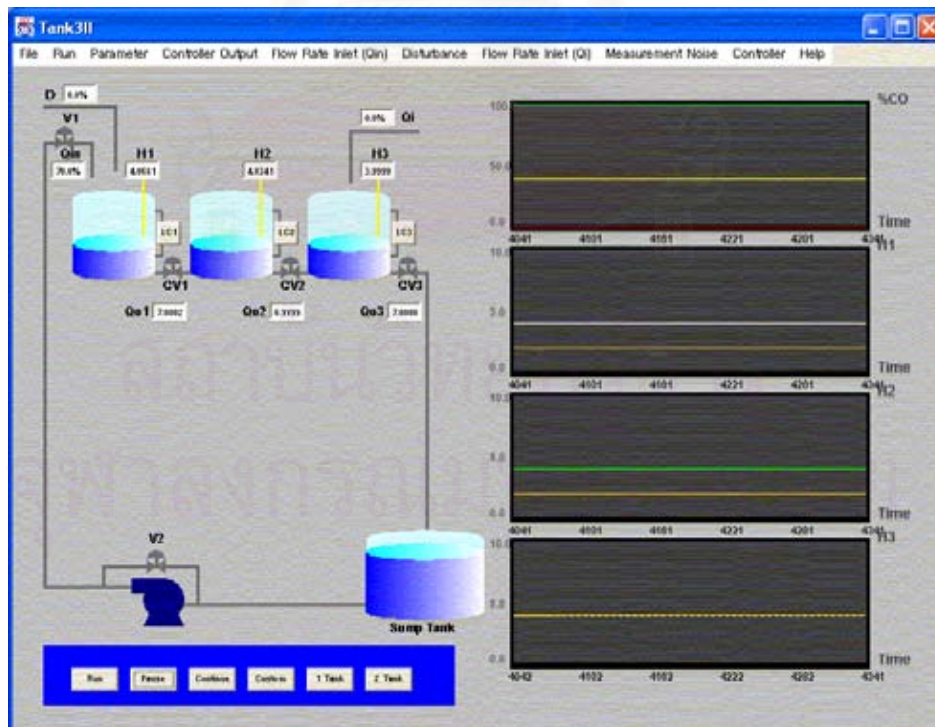
รูปที่ 6.71 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลรบกวนขึ้น 10%
เมื่อค่าเป้าหมายถังใบที่ 1 = 3 ft ถังใบที่ 2 = 2 ft ถังใบที่ 3 = 1 ft



รูปที่ 6.72 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการใน Simulink เมื่อเพิ่มอัตราการไหลรบกวน
ขึ้น 10% เมื่อค่าเป้าหมายถังใบที่ 1 = 3 ft ถังใบที่ 2 = 2 ft ถังใบที่ 3 = 1 ft



รูปที่ 6.73 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย โดยค่าเป้าหมายถังใบที่ 1 = 2 ft ถึงใบที่ 2 = 4 ft ถึงใบที่ 3 = 2 ft



รูปที่ 6.74 ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย โดยค่าเป้าหมายถังใบที่ 1 = 2 ft ถึงใบที่ 2 = 2 ft ถึงใบที่ 3 = 4 ft

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

บทนี้เป็นบทส่งท้ายซึ่งสรุปเกี่ยวกับผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลัดและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงที่ผู้วิจัยได้พัฒนาโดยใช้ภาษาจาวาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ รวมทั้งข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัย

7.1 ข้อสรุปโปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลัดและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึง

โปรแกรมสำหรับฝึกอบรมพลัดและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเอง และระบบระดับถึงใช้ภาษาจาวา JDK1.2 ในการพัฒนาโปรแกรม มีความต้องการทางด้านระบบ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium II ขึ้นไปหรือเทียบเท่า พร้อมหน่วยความจำอย่างน้อย 64 MB และเนื้อที่ว่างในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 MB ระบบปฏิบัติการที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ Window98 ประกอบด้วยไฟล์ทั้งหมด 13 ไฟล์เป็นไฟล์จาวา 4 ไฟล์ และเป็นรูปภาพ 7 ไฟล์ มีขนาดประมาณ 350 กิโลไบต์สามารถบันทึกไฟล์ทั้งหมดไว้ในแผ่นดิสก์ 1.44 นิ้วได้ โปรแกรมนี้ใช้ในการเรียนรู้พลวัตการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงในรูปโปรแกรมช่วยสอนคาดว่าผู้ใช้โปรแกรม คือ นิสิต นักศึกษา วิศวกร บุคลากรในกระบวนการอุตสาหกรรม และผู้สนใจ

7.2 เงื่อนไขการทดสอบโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถึงกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมประกอบด้วย 2 เงื่อนไขดังนี้

- ก. ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแล้วเปรียบเทียบแนวโน้มผลการตอบสนองการควบคุมกระบวนการ
- ข. ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกระบวนการแล้วเปรียบเทียบแนวโน้มผลการตอบสนองการควบคุมกระบวนการ

7.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถังเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

ผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองและระบบระดับถังเปรียบเทียบกับโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยได้สรุปการเปรียบเทียบโปรแกรมดังนี้

- ก. โปรแกรมกระบวนการกำหนดเองอันดับสามแบบ **Overdamped** เปรียบเทียบกับโปรแกรม **Control Station** และโปรแกรมกระบวนการกำหนดเองอันดับสามแบบ **Underdamped** เปรียบเทียบกับโปรแกรม **Simulink**
- ข. โปรแกรมระบบระดับถัง 1 ถังเปรียบเทียบกับโปรแกรม **Control Station**
- ค. โปรแกรมระบบระดับถัง 2 ถังและ 3 ถังเปรียบเทียบกับโปรแกรม **Simulink**

7.3.1 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

จากการเปรียบเทียบผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองกับโปรแกรม **Control Station** ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.3.1 และ 6.3.2 กรณีศึกษากระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสองและอันดับสามแบบ **Overdamped** และผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองกับโปรแกรม **Simulink** ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.3.1 และ 6.3.2 กรณีศึกษากระบวนการแบบกำหนดเองอันดับสองและอันดับสามแบบ **Underdamped** ตามลำดับ ปรากฏว่าผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการไปในทิศทางเดียวกัน รูปภาพที่ได้เหมือนกัน และมีค่าที่สภาวะคงที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสรุปว่าโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองได้

7.3.2 สรุปผลการเปรียบเทียบแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง 1 ถึง

ผลการเปรียบเทียบการเทียบแบบการควบคุมกระบวนการระบบระดับถึง 1 ถึงกับโปรแกรม Control Station ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.3.3 กรณีศึกษาที่ 3 กระบวนการระบบ 1 ถึงโปรแกรมระบบระดับถึง 1 ถึงที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้ต่างจากโปรแกรม Control Station ดังนี้

- ก. ในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการไหลออกของของเหลว ส่วนในโปรแกรม Control Station ตัวแปรปรับกระบวนการ คือ อัตราการไหลเข้าของของเหลว
- ข. ในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น อัตราการไหลรวมเป็นอัตราการไหลเข้าสู่ถึง ในการปรับอัตราการไหลรวมผู้ใช้สามารถปรับได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปุ่ม ส่วนในโปรแกรม Control Station อัตราการไหลรวมเป็นอัตราการออกจากถึงและในการปรับผู้ใช้สามารถกำหนดค่าในปรับได้แต่ไม่เกินค่าที่โปรแกรมกำหนด
- ค. ในโปรแกรม Control Station ผู้ใช้ไม่สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์วาล์ว ชนิดลิ้นวาล์ว ว่าเป็นแบบเชิงเส้น แบบ Equal percentage หรือ แบบ Quick Opening และไม่สามารถกำหนดความสูงของถึง และพื้นที่หน้าตัดของถึงซึ่งในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถกำหนดได้

ในการทำผลการเปรียบเทียบการเทียบแบบการควบคุมกระบวนการ ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าเฉลี่ยใหม่ในกระบวนการการในโปรแกรม Control Station ให้สอดคล้องกับโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบผลการเทียบแบบการควบคุมกระบวนการเนื่องจากไม่ทราบค่าและชนิดของพารามิเตอร์ในโปรแกรม Control Station ผลการเทียบแบบการควบคุมกระบวนการปรากฏว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายและอัตราการไหลรวม

7.3.3 สรุปผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการในโปรแกรมกระบวนการระบบระดับถึง 2 ถึงและ 3 ถึง

ผลการเปรียบเทียบการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการระบบระดับถึง 2 ถึงและ 3 ถึงกับโปรแกรม Simulink ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.3.4 กรณีศึกษาที่ 4 กระบวนการระบบ 2 ถึงและในหัวข้อ 6.3.5 กรณีศึกษาที่ 5 กระบวนการระบบ 3 ถึง ปรากฏว่าผลการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการคล้ายกัน และผลการควบคุมกระบวนการมีทิศทางไปในทางเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายและอัตราการไหลรอบวงดังนี้

ถ้าอัตราการไหลออกของของเหลวยังขึ้นกับระดับของของเหลวในถัง ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ระบบจะเป็น Self regulating และระบบจะมีเสถียรภาพตรงเท่าที่อัตราการไหลออกของของเหลวเปลี่ยนตามระดับของของเหลวในถัง ไม่ว่าจะขนาดวาล์วจะเป็นอย่างไร และมีตัวควบคุมหรือไม่ก็ตาม

ระบบที่มีเสถียรภาพ แต่ถ้ากำหนดลำดับของค่าเป้าหมายไม่เหมาะสมก็จะไม่สามารถควบคุมระดับของของเหลวในบางถังได้ เช่น ถ้ากำหนดค่าเป้าหมายให้ระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 ถึงใบที่ 2 และถึงใบที่ 3 เป็น 2 ฟุต 4 ฟุตและ 2 ฟุตตามลำดับที่สภาวะคงตัวระดับของของเหลวในถังใบที่ 1 ถึงใบที่ 2 และถึงใบที่ 3 เป็น 4 ฟุต 4 ฟุตและ 2 ฟุตตามลำดับ

ถ้าอัตราการไหลออกของของเหลวไม่ขึ้นกับระดับของของเหลวในถังระบบจะเป็น Integrating ระบบไม่เสถียร ไม่ว่าจะกำหนดขนาดของวาล์ว หรือค่าเป้าหมายอย่างไร

7.4 ขีดจำกัดของโปรแกรม

ขีดจำกัดของโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการในด้านต่าง ๆ มีดังนี้

- ก. โปรแกรมกระบวนการระบบถึงนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมเป็น 3 ไฟล์ โดยได้พัฒนาโปรแกรมที่เป็นไฟล์จาวาได้แก่โปรแกรมระบบ 1 ถึง 2 ถึง และ 3 ถึง รวมเป็น 3 ไฟล์ ไม่สามารถรวมเป็นไฟล์เดียวกันได้ และในการใช้งานต้องทำการติดตั้งโปรแกรมที่สามารถประมวลผลภาษาจาวาได้ เนื่องจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไม่ได้พัฒนาในรูปแบบ Execute file
- ข. ผู้ใช้งานต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านการควบคุมกระบวนการจึงจะสามารถเข้าใจในกระบวนการในโปรแกรมฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการ
- ค. โปรแกรมไม่สามารถเก็บประวัติการเลียนแบบการควบคุมกระบวนการ ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการทำงานผู้ใช้ต้องทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนการจบการทำงาน
- ง. ในระหว่างการใช้โปรแกรมไม่ควรทำการเปิดโปรแกรมอื่น ๆ มากเกินไป เนื่องจากทำให้การทำงานของโปรแกรมช้าลง

7.5 ข้อเสนอแนะ

ในโปรแกรมระบบระดับถึงอาจทำการพัฒนาโปรแกรมต่อโดยสามารถปรับอัตราการใช้หรืออัตราการใช้ของเหลวจากถังโดยตัวควบคุมเมื่อมีการควบคุม หรือผู้ใช้อาจกำหนดค่าอัตราการใช้หรืออัตราการใช้ของเหลวจากถังได้เมื่อไม่มีการควบคุม หรือสามารถกำหนดขนาดปั๊มได้ในโปรแกรม เพื่อให้การใช้โปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมมีลักษณะใกล้เคียงกับกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม ส่วนในโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเองสามารถพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมได้หลากหลายมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

دنۇفل گینگسۇنرئى. การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา JAVA. กรุงเทพฯ: ส.เอเชียเพรส, 2540.
302 หน้า

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

มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ:
อินโฟเพรส, 2543. 508 หน้า

สุรัตน์ บุญพิง. การจำลองแบบระบบควบคุมระดับของสองถึง, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สมหวัง ชัยกิตติวณิชย์. การเลียนแบบสมรรถนะเชิงพลวัตของระบบควบคุมหอกลับ, วิทยานิพนธ์
ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2514.

อรอนพ ลิ้มไพบูลย์. การจำลองพลศาสตร์และการควบคุมหอกลับ, วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Campione, Mary. The Java tutorial continued: the rest of the JDK. Reading, Mass.:
Addison-Wesley, 1999.

Cay S. Horstmann, Gary Cornell, Core JAVA Volume I – Fundamentals. California:
Sun Microsystems, 1999.

Cay S. Horstmann, Gary Cornell, Core JAVA Volume II – Advanced Features.
California: Sun Microsystems, 2000.

Deitel, Harvey M. Java: how to program. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall
PTR, 1998.

Douglas, J., M. Process Dynamics and Control. New Jersey: Prentice Hall, 1972.

James, M.L. Applied numerical methods for digital computation with FORTRAN and
CSMP. New York: Harper and Row, 1977.

Naughton, Patrick. The Java handbook. Berkeley, Calif.: Osborne McGraw-Hill,
1996.

Perry, R., H. Perry 's Chemical Engineers' Handbook. New York: McGraw-Hill, 1984.

Pew, John A. Instant JAVA. Upper Saddle River, N.J.: Sunsoft Press, 1996.

Satyaraj Pantham. Pure JFC Swing. Indiana, 1999.

Seborg, Edgar & Mellichamp, Process Dynamic and Control. Singapore: John Wiley, 1989.

Smith, Carlos A. Principles and Practice of Automatic Process Control. Canada: John Wiley, 1985.

Topley, Kim. Core Java foundation classes. Upper Saddle River, NJ.: Prentice Hall PTR, 1998.

Weiner, Scott R. Programming with JFC. New York: Wiley, 1998.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

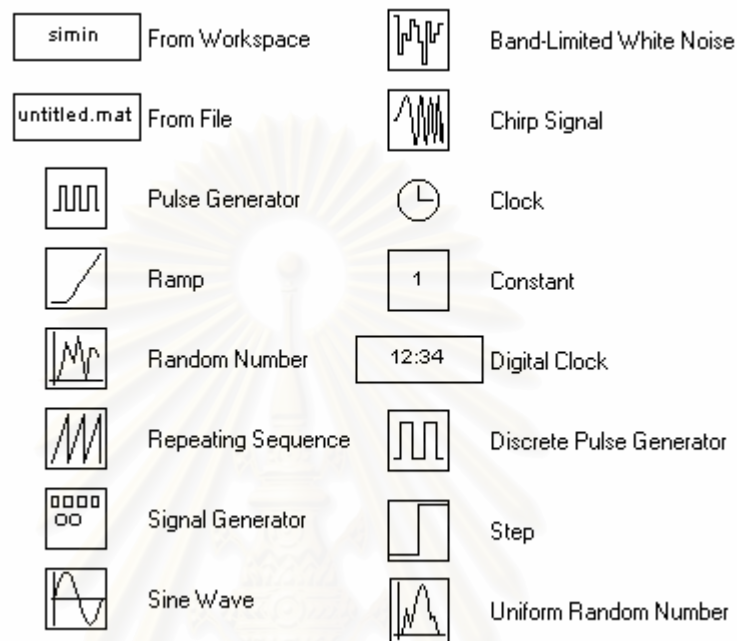
ภาคผนวก ก

โปรแกรม Simulink

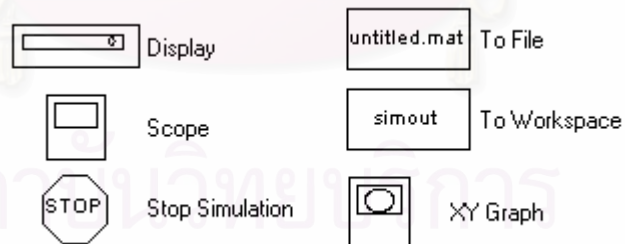
โปรแกรม Simulink เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับทำการจำลองระบบแบบพลวัต หรือวิเคราะห์แบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ Simulink เป็นโปรแกรมที่ขยายออกมาจากโปรแกรม Matlab ประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นระบบ โดยสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ

การใช้งานโปรแกรม Simulink สามารถทำได้โดยการพิมพ์คำว่า “simulink” บนหน้าจอคำสั่งของโปรแกรมแมทแล็บในรุ่น 12 หลังจากนั้นหน้าจอจะปรากฏบล็อกไดอะแกรมต่าง ๆ ให้ทำการสร้างไฟล์ใหม่จากหน้าจอ Simulink จะได้นหน้าต่างใหม่ ใช้เมาส์ลากบล็อกไดอะแกรมที่ต้องการสร้างการจำลองระบบมาไว้ที่หน้าต่างใหม่นี้ เมื่อเลือกบล็อกไดอะแกรมมาวางบนหน้าต่างใหม่เสร็จแล้ว ให้ทำการเชื่อมต่อบล็อกไดอะแกรมแต่ละบล็อกเข้าด้วยกันตามต้องการ หลังจากนั้นจึงทำการซิมูเลทโปรแกรม โดยเราดูผลการซิมูเลทได้จากการเลือกกราฟที่ต้องการดูผลใช้เมาส์คลิกเลือกดูกราฟตามต้องการ ผลการซิมูเลทสามารถพิมพ์ได้โดยใช้เครื่องพิมพ์ ตัวอย่างบล็อกไดอะแกรมต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูป ก.1 รูปที่ ก.2 และรูปที่ ก.3

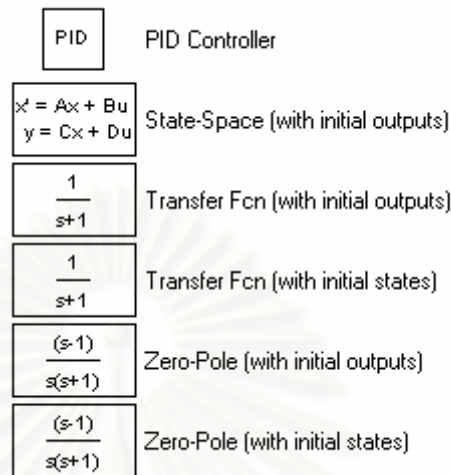
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 บล็อกไดอะแกรมของตัวกำเนิดสัญญาณแบบต่าง ๆ



รูปที่ ก.2 บล็อกไดอะแกรมของตัวแสดงผลการซิมูเลทแบบต่าง ๆ



รูปที่ ก.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้นต่าง ๆ

การเชื่อมโยงกระบวนการระบบ 2 ถึงและระบบ 3 ถึงในโปรแกรม Simulink

เราสามารถเขียนสมการอนุกรมมวลในกระบวนการระบบระดับถึง 2 ถึง และ 3 ถึงได้ในรูป State Space ดังสมการที่ (ก.1) และ (ก.2) ตามลำดับ

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \Gamma d(t) \quad (\text{ก.1})$$

$$y(t) = cx(t) \quad (\text{ก.2})$$

เราสามารถหาผลตอบสนองของกระบวนการโดยการแปลงสมการ (ก.1) และ (ก.2) ให้อยู่ในรูป ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดเมนได้ดังสมการที่ (ก.3) และ (ก.4) ตามลำดับ

$$sx(s) = Ax(s) + Bu(s) + \Gamma d(s) \quad (\text{ก.3})$$

$$y(s) = cx(s) \quad (\text{ก.4})$$

จากสมการ (ก.3) และ (ก.4) เราหาผลตอบสนองของกระบวนการได้ดังสมการ (ก.5)

$$y(s) = [C(sI - A)^{-1}B]u(s) + [C(sI - A)^{-1}\Gamma]d(s) \quad (\text{ก.5})$$

สมการ (ก.5) เขียนอยู่ในรูปทรานสเฟอร์ฟังก์ชันทั้งหมดได้ดังสมการ (ก.6)

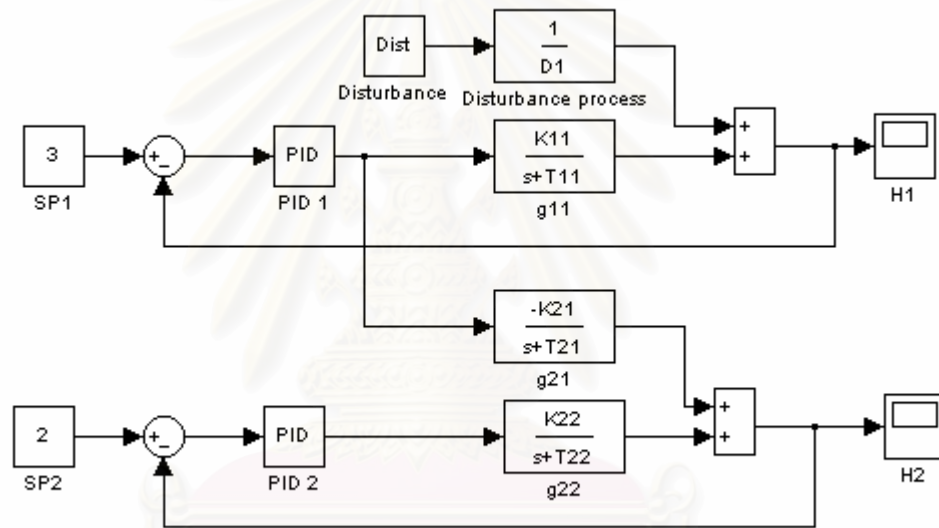
$$y(s) = G(s)u(s) + G_d(s)d(s) \quad (\text{ก.6})$$

ดังนั้นเราสามารถหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการและกระบวนการรวมกันได้ดังสมการที่ (ก.7) และ (ก.8)

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B \quad (ก.7)$$

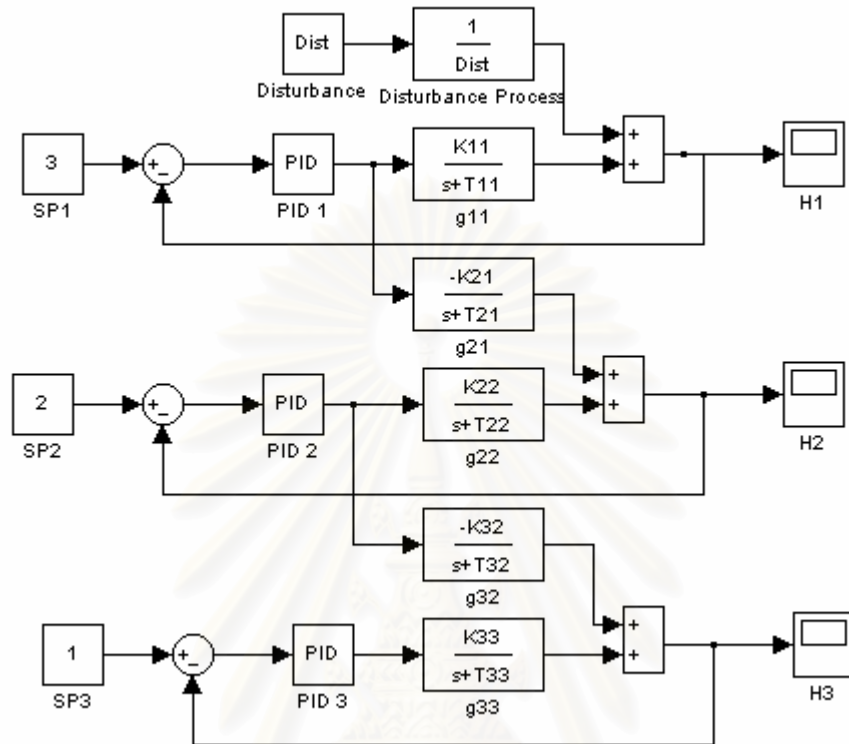
$$G_d(s) = C(sI - A)^{-1}\Gamma \quad (ก.8)$$

จากสมการที่ (ก.7) และ (ก.8) สามารถนำไปใช้จำลองกระบวนการในโปรแกรม Simulink ในกระบวนการระบบระดับถึง 2 ถึง ได้ดังรูปที่ ก.4 และในกระบวนการระบบระดับถึง 3 ถึง ได้ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.4 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 2 ถึง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.5 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมป้อนกลับพีไอดีในระบบ 3 ถัง

เมื่อ

$$D_1 = A_1$$

$$D_3 = A_3$$

$$K_{11} = \frac{cv_1 \sqrt{h_1^s - h_2^s - h_3^s}}{A_1}$$

$$K_{21} = \frac{cv_1 \sqrt{h_1^s - h_2^s - h_3^s}}{A_2}$$

$$K_{22} = \frac{cv_2 \sqrt{h_2^s - h_3^s}}{A_2}$$

$$K_{32} = \frac{cv_2 \sqrt{h_2^s - h_3^s}}{A_3}$$

$$K_{33} = \frac{cv_3 \sqrt{h_3^s}}{A_3}$$

$$T_{11} = \frac{cv_1 u_1^s}{2A_1 \sqrt{h_1^s - h_2^s - h_3^s}}$$

$$T_{21} = \frac{cv_1 u_1^s}{2A_1 \sqrt{h_1^s - h_2^s - h_3^s}}$$

$$T_{22} = \frac{cv_2 u_2^s}{2A_2 \sqrt{h_2^s - h_3^s}}$$

$$T_{32} = \frac{cv_3 u_3^s}{2A_2 \sqrt{h_3^s}}$$

$$T_{33} = \frac{cv_3 u_3^s}{2A_3 \sqrt{h_3^s}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ภาษาจาวา

ภาษาจาวาเป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงถูกพัฒนาโดยบริษัท Sun Microsystems เป็นโปรแกรมอ้างอิงเชิงวัตถุ สำหรับผู้ที่เคยศึกษาภาษา C และ C++ จะสามารถศึกษาภาษาจาวาได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับภาษา C แต่ตัดส่วนที่ทำให้ยุ่งยากซับซ้อนออกไปอย่างเช่น pointer arithmetic, protected and private inheritance

ข้อดีของภาษาจาวา

1. ภาษาจาวาเป็นภาษาโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ

ภาษาจาวาเป็นภาษาโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) การเขียนโปรแกรมลักษณะอ้างอิงเชิงวัตถุ คือ การสร้างส่วนย่อยของโปรแกรม เรียกว่า ออบเจกต์ (object) และนำออบเจกต์มาประกอบกันเป็นโปรแกรม มีประโยชน์คือ มีความยืดหยุ่นสามารถแก้ไขปรับปรุงพัฒนาได้ง่าย ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนใหญ่ และสามารถนำ object ที่มีผู้สร้างไว้แล้วมาใช้ได้ ภาษาจาวามีไลบรารีต่าง ๆ เช่น ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ส่วนโปรแกรมที่เกี่ยวกับการวาดรูป ส่วนของฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการคำนวณที่เราสามารถเรียกใช้ได้ โดยที่เราไม่ต้องสร้างใหม่

2. ภาษาจาวาจัดการหน่วยความจำให้โดยอัตโนมัติ

ในปัจจุบันภาษาจาวาได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานบนอินเทอร์เน็ตมาก เนื่องจากภาษาจาวาเป็นโปรแกรมภาษาที่ออกแบบมาเพื่อให้เขียนง่ายไม่มีการใช้พอยเตอร์ ทำให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องวุ่นวายกับการจัดการหน่วยความจำ โดยจาวาจะจัดการหน่วยความจำให้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมได้

3. มีคุณสมบัติเด่นในการสร้างโปรแกรมมัลติมีเดีย

ภาษาจาวาเป็นภาษาที่ต้องทำงานร่วมกับ HTML (Hypertext Markup Language) ในการนำเสนอข้อมูลบนเว็บ ซึ่งเดิม Internet ถูกสร้างโดยภาษา HTML ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้แสดงเอกสารและภาพ มีข้อจำกัดในด้านวิธีการที่ใช้ในการควบคุม การแสดงผลข้อมูลบนเว็บ ดังนั้นเว็บเพจที่ถูกสร้างโดย HTML จึงเป็นเพียงเอกสารธรรมดา ไม่มีความสามารถอื่น ๆ เมื่อมีการนำภาษาจาวามาผนวกเข้ากับเว็บเพจที่ถูกสร้างโดยภาษา HTML ทำให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าโปรแกรมที่ใช้งานทั่วไปและมีคุณสมบัติเด่นในการสร้างโปรแกรมมัลติมีเดีย เนื่องจากภาษาจาวาได้รองรับวิธีการตกแต่งโฮมเพจ การติดต่อกับระบบ สร้างสรรค์ภาพเคลื่อนไหวที่น่าประทับใจ และการควบคุมการแสดงผลบนเว็บ ทำให้สามารถควบคุมเว็บเพจและเพิ่มเติมสิ่งที่น่าสนใจบนเว็บเพจได้มากขึ้น จึงเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้งานบนอินเทอร์เน็ตผ่านทางเบราว์เซอร์ (โปรแกรมที่ใช้ในการเปิดใช้งานเอกสารอินเทอร์เน็ต หรือเว็บเพจในโหมดกราฟิก เช่น Netscape Navigator และ Internet Explorer) โดยโปรแกรมเมอร์สามารถเลือกใช้โมดูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ (เรียกว่า ออบเจกต์ หรือคลาส) มาผสมผสานสร้างความโดดเด่นและน่าสนใจให้กับเว็บเพจ และด้วยความสามารถพิเศษเช่นเดียวกับการเขียนโปรแกรมอั่งอิงเชิงวัตถุ ทำให้จาวาเป็นภาษาที่มีประสิทธิภาพสูง

4. ภาษาจาวามีการทำงานไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform)

ภาษาจาวาได้ถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนคอมพิวเตอร์หลาย ๆ ประเภทไม่ว่าจะเป็น DOS, Windows หรือ UNIX โปรแกรมเมอร์สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวาเพียงครั้งเดียวสามารถใช้นระบบปฏิบัติการหลาย ๆ ระบบได้ จึงเป็นโปรแกรมที่มีความเหมาะสมในการใช้งานบนอินเทอร์เน็ตมาก เนื่องจากอินเทอร์เน็ตเป็นระบบเครือข่ายที่ไม่สามารถระบุเจาะจงได้อย่างแน่ชัดว่าผู้ใช้งานจะใช้อินเทอร์เน็ตอยู่บนระบบปฏิบัติการใด

เมื่อเรานำโปรแกรมที่เขียนขึ้น (source code) โดยภาษาทั่ว ๆ ไป มาคอมไพล์ (compile) ตัวคอมไพเลอร์ (compiler) จะทำการแปลโปรแกรมไปเป็นภาษาเครื่องหรือไบนารีไฟล์ ซึ่งคอมไพเลอร์แต่ละประเภทจะมีตัวคอมไพเลอร์ที่แตกต่างกัน เป็นเหตุให้ซอฟต์แวร์ตัวนั้นมีหลายรุ่น ซึ่งแต่ละรุ่นก็สามารถทำงานได้บนคอมพิวเตอร์บางระบบเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเราต้องการนำโปรแกรมไปใช้ยังเครื่องที่เป็นระบบอื่น เช่น ระบบ UNIX เราจะต้องทำการคอมไพล์ใหม่อีกครั้ง

โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่อยู่บนระบบปฏิบัติการ UNIX เท่านั้น ซึ่งจะได้ไบนารีไฟล์ที่สามารถใช้บนระบบ UNIX เท่านั้น แต่ถ้าเราเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวา ตัวคอมพิวเตอร์จะทำการแปลโปรแกรมเป็นไบต์โค้ด (byte code) ที่ไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform) ทำให้สามารถนำไปใช้กับเบร้าวเซอร์หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีตัวแปลไบต์โค้ดได้ ดังนั้นเราจึงสามารถนำไฟล์ไบต์โค้ดนี้ไปใช้งานได้ทุกระบบปฏิบัติการโดยไม่ต้องทำการแก้ไขโปรแกรมหรือคอมไพล์ใหม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

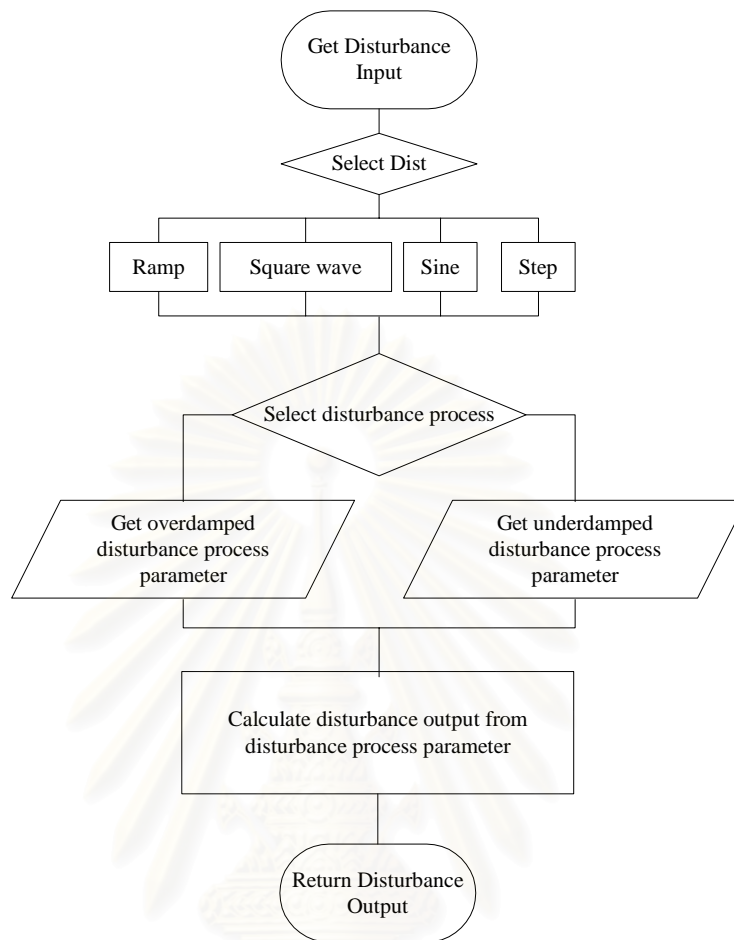
ภาคผนวก ค

โพลีชาร์ทโปรแกรมกระบวนการแบบกำหนดเอง

โพลีชาร์ทของโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมกระบวนการแบบกำหนดเองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

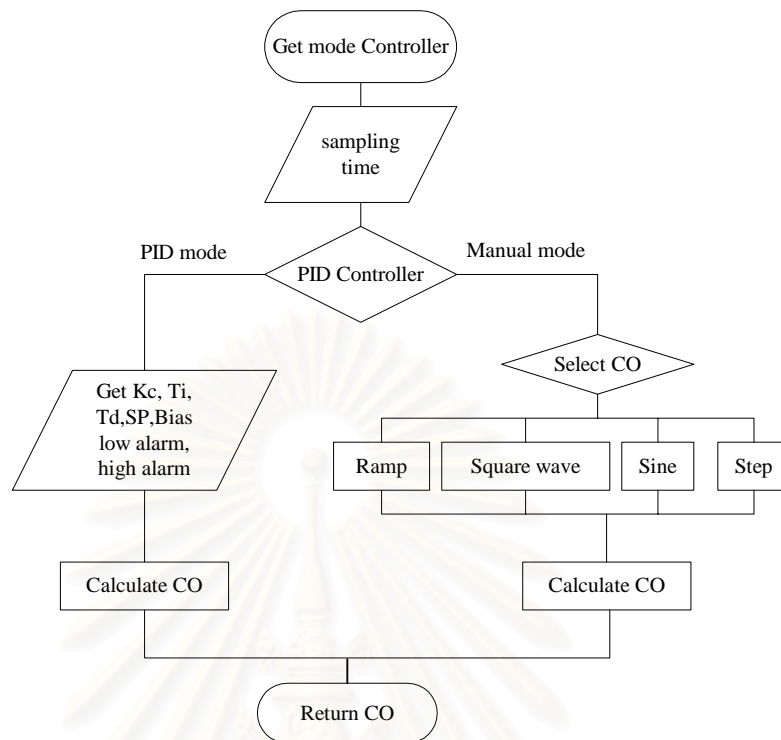
ส่วนที่ 1 แสดงขั้นตอนการคำนวณผลตอบแทนของกระบวนการรวมโดยขั้นแรกทำการเลือกฟังก์ชันของตัวแปรรวม หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณตัวแปรรวมจากฟังก์ชันที่ผู้ใช้เลือก ขั้นตอนต่อไปทำการเลือกกระบวนการรวมว่าเป็นแบบ **Overdamped** หรือ **Underdamped** แล้วคำนวณผลตอบแทนของกระบวนการรวมจากค่าพารามิเตอร์กระบวนการรวมที่ผู้ใช้กำหนด โพลีชาร์ทขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ ค.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.1 โฟลว์ชาร์ทการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการรบกวน

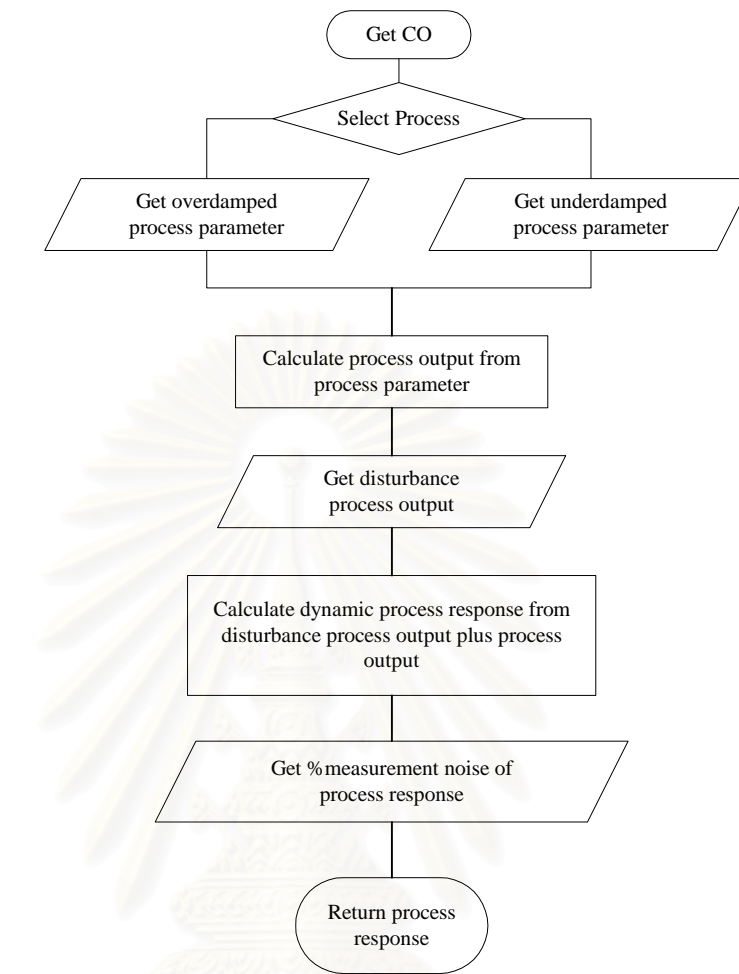
ส่วนที่ 2 แสดงขั้นตอนการคำนวณตัวแปรปรับกระบวนการโดยการเลือกรูปแบบการควบคุมว่าเป็นแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดี หรือไม่ใช้ตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดี ค่าวนสัญญาณควบคุมจากรูปแบบตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ผู้ใช้กำหนด ในกรณีที่ไม่ใช้ตัวควบคุม ค่าวนสัญญาณควบคุมได้จากฟังก์ชันที่ผู้ใช้กำหนด โฟลว์ชาร์ทขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 โฟลว์ชาร์ทการคำนวณสัญญาณควบคุม

ส่วนที่ 3 แสดงขั้นตอนการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการโดยขั้นแรก หลังจากที่ได้รับค่าสัญญาณควบคุมที่คำนวณได้ในส่วนที่ 1 แล้วจึงเลือกกระบวนการว่าเป็นแบบ **Overdamped** หรือ **Underdamped** แล้วคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการจากค่าพารามิเตอร์กระบวนการที่ผู้ใช้กำหนด โฟลว์ชาร์ทขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ ค.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.3 โพลีชาร์ทการคำนวณผลตอบสนองของกระบวนการ

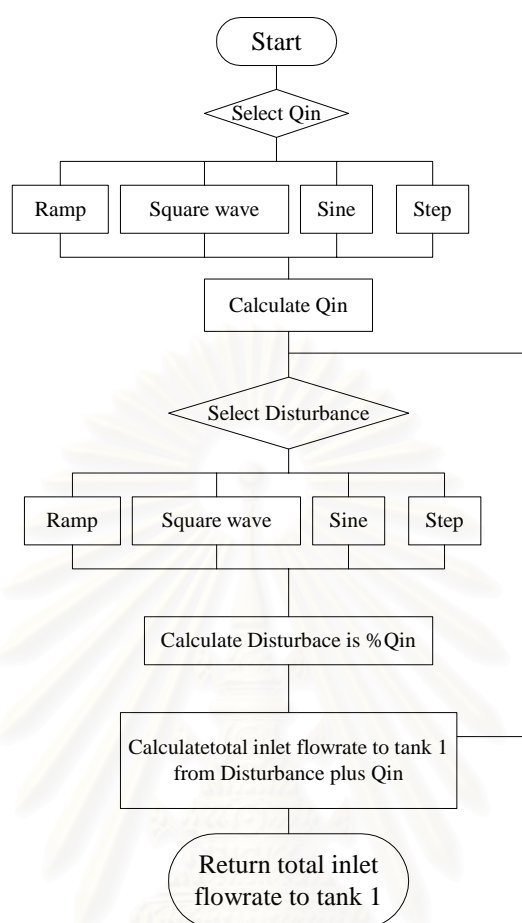
ภาคผนวก ง

โพลีชาร์ทโปรแกรมระบบระดับถึง

โพลีชาร์ทของโปรแกรมสำหรับการฝึกอบรมพลวัตและการควบคุมระบบระดับถึง 1 ถึง 2 ถึงและ 3 ถึงมีขั้นตอนการคำนวณคล้ายกันแตกต่างกันที่การคำนวณสัญญาณควบคุมที่ออกจากแต่ละถึง สัญญาณควบคุมที่คำนวณได้ในโปรแกรมระบบระดับถึงนี้ คือ ค่าคงที่คุณลักษณะของวาล์วที่ทางออกของถึงแต่ละใบ หลังจากนั้นจึงคำนวณอัตราการไหลออกของของเหลวจากถึงแต่ละใบ การคำนวณประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

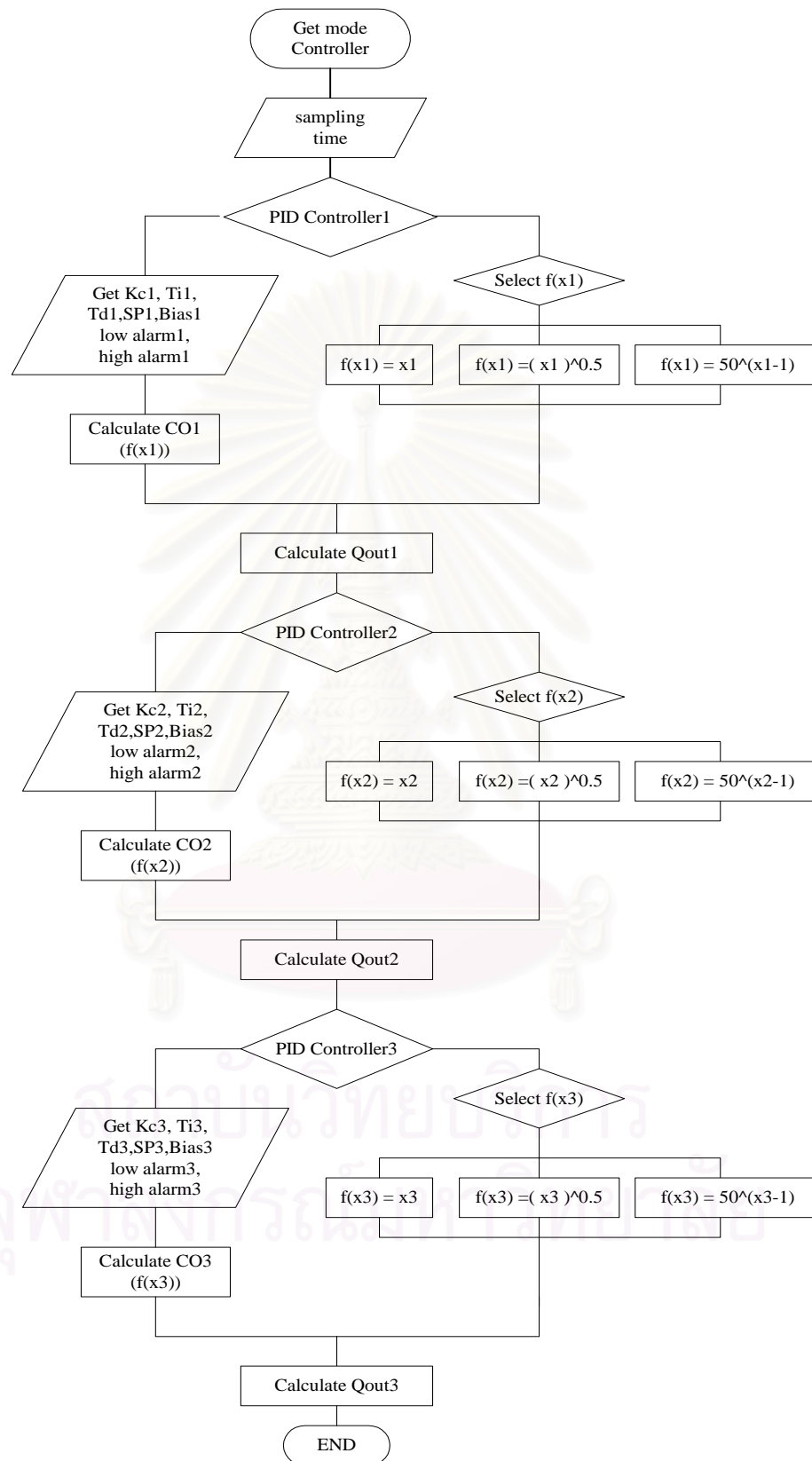
ส่วนที่ 1 แสดงขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลเข้าของของเหลวทั้งหมดลงสู่ถึงใบที่ 1 ประกอบด้วยอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม และอัตราการไหลรอบวนของของเหลว โดยขั้นแรกเลือกฟังก์ชันของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊มลงสู่ถึงใบที่ 1 และคำนวณอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณอัตราการไหลรอบวนจากฟังก์ชันที่ใช้เลือกซึ่งค่าอัตราการไหลรอบวนที่คำนวณได้นี้ผู้วิจัยกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊ม ขั้นตอนต่อไปคำนวณอัตราการไหลเข้าของของเหลวทั้งหมดลงสู่ถึงใบที่ 1 จากผลรวมของอัตราการไหลเข้าของของเหลวเนื่องจากปั๊มและอัตราการไหลรอบวน โพลีชาร์ทขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ ง.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.1 โพลีชาร์ทการคำนวณอัตราการไหลเข้าของของเหลวทั้งหมดลงสู่ถังใบที่ 1

ส่วนที่ 2 แสดงขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังใบ โดย การเลือกรูปแบบการควบคุมว่าเป็นแบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดี หรือไม่ใช้ตัวควบคุม ในกรณีที่ใช้ตัว ควบคุมพีไอดี จำนวนสัญญาณควบคุมจากรูปแบบตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ผู้ใช้ กำหนด ในกรณีที่ไม่ใช้ตัวควบคุม จำนวนสัญญาณควบคุมได้จากชนิดของลิ้นวาล์วซึ่งเป็นค่าคงที่ คุณสมบัติของวาล์วที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์วที่ผู้ใช้กำหนด โพลีชาร์ท ขั้นตอนการคำนวณแสดงดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 โพลีชาร์ทการคำนวณอัตราการผลิตออกของของเหลวจากถังแต่ละใบในระบบ 3 ถัง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วิภา เจริญกิจวัฒน์ชัย เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม และเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2540 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย