

ตัวควบคุมโมเดลพีรติคทีฟแบบง่ายบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย



นายอชิป ถายานูวัต

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

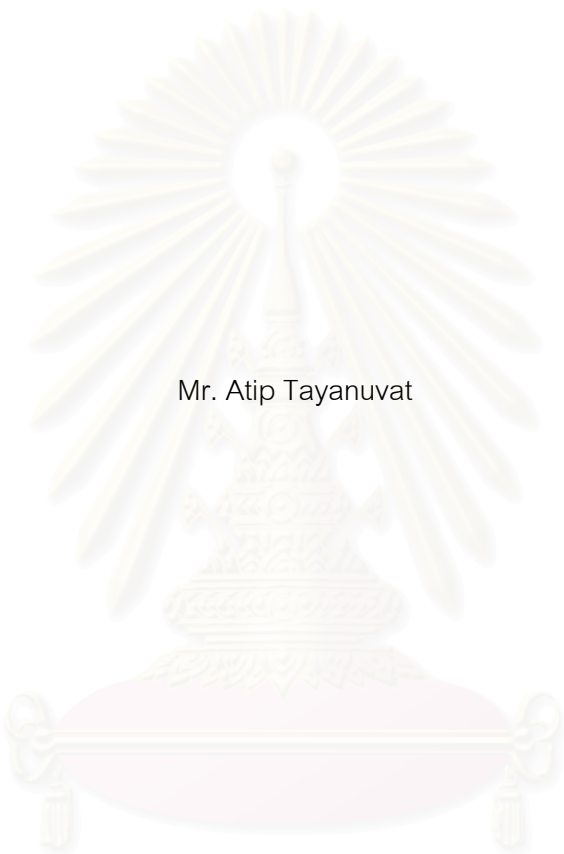
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2390-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PC-BASED SIMPLIFIED MODEL PREDICTIVE CONTROLLER
FOR AVERAGING LEVEL CONTROL SYSTEM



Mr. Atip Tayanuvat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2390-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวควบคุมโมเดลพีดีซีทีพีแบบง่ายบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับ
	ควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย
โดย	นายอธิป ถายานูวัตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติสุขภกร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

อธิป ทยานนุวัตร : ตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟแบบง่ายบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย.(PC-Based Simplified Model Predictive Controller for Averaging Level Control System) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. มন্ত্রী วงศ์ศรี, 81 หน้า. ISBN 974-17-2390-3.

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันส่งผลให้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นมาก สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมในอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการควบคุมที่จำเป็นต้องใช้ความสามารถในการทำงานของตัวไมโครโปรเซสเซอร์สูงอย่างตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเข้าไปแทนที่ระบบควบคุมแบบดั้งเดิมหรือตัวควบคุมแบบพีไอดี เนื่องด้วยประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีกว่า ทำให้สามารถลดต้นทุนในการดำเนินการได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชุดทดลองและตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยซึ่งมักใช้เป็นที่ตั้งถังที่เชื่อมระหว่างหน่วยปฏิบัติการเพื่อวัตถุประสงค์ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว โดยได้ทำการทดสอบกับตัวรบกวนของระบบขนาด 50%, 75% และ 100% ของอัตราการไหลขาเข้า และทำการควบคุมด้วยวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ตามปกติ และการกำหนดวิธีรูปกรวย อีกทั้งทำการทดสอบความทนทานของตัวควบคุมโดยเปลี่ยนช่วงการควบคุมให้แตกต่างจากจุดที่ทำการหาแบบจำลอง ซึ่งสรุปได้ว่าการควบคุมของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถทำงานได้เป็นไปตามแนวทางที่ต้องการเป็นอย่างดี และทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีและพีไอ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2545	

4270637621 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: DMC / AVERAGING LEVEL CONTROL / LEVEL CONTROL

ATIP TAYANUVAT : THESIS TITLE. PC-BASED SIMPLIFIED MODEL PREDICTIVE CONTROLLER FOR AVERAGING LEVEL CONTROL SYSTEM THESIS ADVISOR : MONTREE WONGSRI, D.Sc., 81 p. ISBN 974-17-2390-3.

Nowadays, the improvement of technology leads to high performance of personal computers (PCs), which can apply for controlling tasks in industrial processes, especially the model predictive controller (MPC) which requires high performance microprocessor. In some processes, the MPC is used instead of conventional controller (PID) because of higher performance and lower operating cost.

The averaging level control processes are frequently located between process units for expressing the purpose of smoothing flow variations. In this thesis, the pilot plant of averaging level control was constructed and controlled by MPC which used parameter tuning and funnel approach algorithm in faces of the process disturbances; 50%, 75% and 100% of inlet flow. Including a robustness test, the experiment, was conducted with the controller obtained from designed condition with different operating height. The MPC gives good performance. The results also were compared with P and PI controllers.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Engineering

Student's signature.....

Field of Study Chemical Engineering

Advisor's signature.....

Academic Year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งวิชาความรู้ตลอดการวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ปิยะसार ประเสริฐธรรม รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร และรองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบุญรณ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัทคณิตเอนิจเนียร์สำหรับการซ่อมบำรุงวาฬควบคุมโดยไม่คิดมูลค่า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องและบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ สำหรับข้อเสนอแนะและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบุพการีที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 มูลเหตุจูงใจและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย	6
2.3 แนวความคิดการพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	7
บทที่ 3 การควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ	
3.1 บทนำ	9
3.2 หลักการโดยทั่วไปของเอ็มพีซี	11
3.3.1 องค์ประกอบพื้นฐานของ MPC	11
3.3.2 รูปแบบของโมเดลสำหรับ MPC.....	12
3.3.3 อัลกอริทึมของเอ็มพีซี	13
3.3.4 ขอบเขตจำกัด	14

บทที่	หน้า
3.3 ตัวควบคุมไดนามิกส์เมตริกคอนโทรล	16
3.3.1 การหาแบบจำลองของกระบวนการ	16
3.3.1.1 ระบบดีสครีตไทม์	16
3.3.1.2 แบบจำลองการตอบสนองต่ออิมพัลส์	17
3.3.1.3 แบบจำลองการตอบสนองต่อสเต็ป	18
3.3.2 รูปแบบเมตริกสำหรับการทำนายแบบจำลอง.....	20
3.3.3 การออกแบบตัวควบคุม (Contoller Design Method)	22
บทที่ 4 ความสำคัญของถึงพักและการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย	
4.1 บทนำ	25
4.2 ถึงพักในอุตสาหกรรมเคมี	25
4.3 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย	26
4.4 การออกแบบถึงพักสำหรับอุตสาหกรรม.....	28
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
5.1 อุปกรณ์.....	29
5.2 ขั้นตอนการทดลอง	34
5.2.1 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบควบคุม	34
5.2.2 การหาค่าการตอบสนองต่อสเต็ปของอินพุตต่อเอาต์พุต	35
5.2.3 การทดสอบการควบคุมด้วยดีเอ็มซี.....	35
5.2.4 การเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอ	36
บทที่ 6 ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผล	
6.1 ผลการทดลอง.....	37
6.1.1 ผลหาค่าการตอบสนองแบบสเต็ป	37
6.1.2 การตรวจสอบตัวควบคุม	38
6.1.3 การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับตัวควบคุม	41
6.1.4 การควบคุมโดยใช้วิธีรูปกรวย.....	49
6.1.5 การทดสอบความทนทานของตัวควบคุม	54

สารบัญ (ต่อ)

ณ

บทที่

หน้า

6.1.6 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีและพีไอ.....	58
6.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	63
6.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 Reference Trajectory	11
รูปที่ 3.2 การตอบสนองแบบอิมพัลส์	17
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการตอบสนองแบบสเต็ปของตัวแปรอินพุต	19
รูปที่ 4.1 วัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบแน่นอน.....	27
รูปที่ 4.2 วัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย	28
รูปที่ 5.1 ภาพการออกแบบชุดทดลอง	30
รูปที่ 5.2 ถังน้ำอะครีลิกที่ใช้ในการทดลอง.....	30
รูปที่ 5.3 วาล์วควบคุมขนาด 0.5 นิ้ว.....	31
รูปที่ 5.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของกาไหล	31
รูปที่ 5.5 อุปกรณ์วัดระดับของเหลว.....	32
รูปที่ 5.6 ภาพชุดทดลองโดยรวม.....	32
รูปที่ 5.7 ชุดอุปกรณ์แปลงสัญญาณ.....	33
รูปที่ 5.8 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม	33
รูปที่ 6.1 ลักษณะการตอบสนองแบบสเต็ป	37
รูปที่ 6.2 ผลการควบคุมกระบวนการตัวอย่างด้วยดีเอ็มซี กรณีที่ 1 และ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์.....	39
รูปที่ 6.3 ผลการควบคุมเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์จากหนังสืออ้างอิง	39
รูปที่ 6.4 ผลการควบคุมกระบวนการตัวอย่างด้วยดีเอ็มซี กรณีที่ 1 และ 2 เมื่อมีการรบกวนระบบ.....	40
รูปที่ 6.5 ผลการควบคุมเมื่อมีการรบกวนระบบจากหนังสืออ้างอิง.....	40
รูปที่ 6.6 ทดสอบตัวควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์	41
รูปที่ 6.7 ระดับความสูงของของเหลวเมื่อทดสอบการควบคุมเมื่อเลือกค่า $U = 2$	42
รูปที่ 6.8 อัตราการไหลของของเหลวเมื่อทดสอบการควบคุมเมื่อเลือกค่า $U = 2$	42
รูปที่ 6.9 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 10, U = 1, W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	44
รูปที่ 6.10 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 30, U = 1, W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	45
รูปที่ 6.11 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40, U = 1, W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%	46
รูปที่ 6.12 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40, U = 1, W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%	47
รูปที่ 6.13 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40, U = 1, W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	48

รูปที่ 6.14	การกำหนดเซตพอยต์เป็นวิถีรูปกรวย	50
รูปที่ 6.15	กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 10, W = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%	51
รูปที่ 6.16	กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 15, W = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%	52
รูปที่ 6.17	กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 15, W = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	53
รูปที่ 6.18	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40, U = 1, W = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75% ที่ความสูง 30 เซนติเมตร.....	55
รูปที่ 6.19	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40, U = 1, W = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100% ที่ความสูง 30 เซนติเมตร.....	56
รูปที่ 6.20	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 4.75$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%.....	59
รูปที่ 6.21	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 3.50 \quad \tau_I = 307.5$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%	60
รูปที่ 6.22	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 6.33$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	61
รูปที่ 6.23	ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 4.66 \quad \tau_I = 230.64$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยกับการควบคุมระดับแบบแน่นอน.....	28
ตารางที่ 6.1 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์	49
ตารางที่ 6.2 สรุปผลการทดลองการควบคุมด้วยวิธีรูปกรวย.....	54
ตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดลองการทดสอบความทนทาน	57
ตารางที่ 6.4 สรุปผลและเปรียบเทียบการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีและพีไอ กับ ดีเอ็มซี.....	63



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

y	เอาต์พุทของกระบวนการ
\hat{y}	ค่าทำนายเอาต์พุทของกระบวนการ
$\hat{\epsilon}$	ค่าความคลาดเคลื่อน (Error)
h	ค่าสัมประสิทธิ์ตอบสนองของอิมพัลส์ (Impulse Response Coefficient)
H	เมตริกของค่าสัมประสิทธิ์ตอบสนองของอิมพัลส์
u	ตัวแปรปรับ
a	ค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนองแบบสเต็ป (Step Response Coefficient)
A	เมตริกของค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนองแบบสเต็ป
T	ฮอไรซันของแบบจำลอง (Model Horizon)
Δt	เวลาการเก็บตัวอย่าง (Sampling Time)
V	จำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุท
U	ค่าจำนวนช่วงเวลาในการปรับตัวแปรปรับ
W	ค่าเวกเตอร์น้ำหนัก (Weighting factor)
P	ค่าการทำนายของลูปเปิด
r	เซ็ทพอยต์ของการควบคุม
\hat{E}	เมตริกซ์ของค่าความคลาดเคลื่อน
K_c	ค่าเกนของตัวควบคุม
τ_I	ค่าพารามิเตอร์อินทิกรัลของตัวควบคุมพีไอ
ξ	สัมประสิทธิ์การแดมป์ (Damping coefficient)
V_V	ปริมาตรของถังพัก (Volume of vessel)
ΔF_{MAX}	อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลสูงสุด
F_{OUT}	อัตราการไหลขาออก
ΔL_{MAX}	ช่วงระดับสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงได้
MPH	ระดับของเหลวสูงสุด (Maximum Peak Height)
$MRCO$	อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (Maximum Rate of Change in Outflow)

$G(s)$	ทรานเฟอ์ฟังก์ชันของระบบ
θ	ไทม์ดีเลย์ (Time delay)
τ	ค่าคงตัวเวลา (Time Constant)
K_p	ค่าเกนของกระบวนการ (Process Gain)
a, b	ช่วงกว้างของวิถีรูปกรวย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ตัวควบคุมแบบ PID ได้ถูกนำมาใช้งานในกระบวนการอุตสาหกรรมเป็นเวลานานกว่า 50 ปีแล้ว ซึ่งเมื่อใช้ในกระบวนการที่มีลักษณะเป็นแบบอินพุต-เอาต์พุตตัวเดียว (Single Input-Single Output, SISO) ก็ให้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ในการควบคุมระบบแบบที่มีตัวแปรหลายตัว (Multivariable Systems) ความสามารถในการควบคุมก็จะถูกจำกัดลง ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาการควบคุมให้มีความสามารถที่จะควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ มีความสามารถในการทำออปติไมเซชัน และควบคุมแบบลูปปิดได้ดี นั่นก็คือ การควบคุมกระบวนการขั้นสูง ซึ่งจะเป็นการควบคุมแบบอ้างอิงแบบจำลอง (Model Predictive Control)

ในปัจจุบันความสำคัญของการควบคุมกระบวนการขั้นสูงเริ่มมีความสำคัญมากขึ้น เพราะสามารถที่จะลดต้นทุนได้ถึง 5-10 % ของมูลค่าการผลิตต่อปี โดยเทคโนโลยีด้านการควบคุมกระบวนการขั้นสูงสามารถที่จะดำเนินการในระบบ Distributed Control Systems ได้เป็นอย่างดี สิ่งที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของการควบคุมกระบวนการขั้นสูงนี้ คือ การพัฒนาอย่างรวดเร็วของดิจิทัลคอมพิวเตอร์

โดยในช่วง 40 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเกิดขึ้นทั้งทางด้านความเร็วในการคำนวณและประสิทธิภาพการทำงานของดิจิทัลคอมพิวเตอร์ จนกระทั่งในตอนนี้ความเร็วในการคำนวณไม่ใช่ปัญหาสำคัญของการควบคุมกระบวนการขั้นสูงอีกต่อไปแล้ว

ตัวควบคุมชนิดหนึ่งซึ่งได้ชื่อว่าเป็นตัวควบคุมกระบวนการขั้นสูงที่ดีมาก ก็คือ โมเดลพรีดิกทีฟคอนโทรลเลอร์ (Model Predictive Controller, MPC) ซึ่งเป็นตัวควบคุมชนิดอาศัยแบบจำลอง (Model Based) โดยจะใช้แบบจำลองของกระบวนการในการคำนวณค่าตัวแปรปรับที่เหมาะสมเพื่อควบคุมตัวแปรควบคุมให้อยู่ที่ค่าที่ต้องการ และสามารถที่จะใช้กับระบบที่มีขอบเขตจำกัดต่างๆ (Constraints) นอกจากนี้ยังสามารถที่จะกำหนดออฟเจ็คทีฟฟังก์ชันเพื่อให้การควบคุมเป็นไปได้อย่างราบรื่นและเหมาะสมที่สุด

แนวโน้มการพัฒนาของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ

1. ฮาร์ดแวร์มีความเร็วมากขึ้น ปัจจุบันตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟสามารถที่จะควบคุมยูนิทที่ 10 อินพุท และ 10 เอาท์พุทได้แล้วในอุตสาหกรรมจำลอง ซึ่งในอนาคตเมื่อฮาร์ดแวร์มีความเร็วเพิ่มขึ้นอีกก็ย่อมสามารถที่จะเพิ่มความสามารถในการควบคุมได้อีกด้วย
2. มีการพัฒนาอัลกอริทึมของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟเพื่อให้ใช้งานได้สะดวกมากขึ้นรวมทั้งการติดตั้งในฮาร์ดแวร์ง่ายขึ้น
3. ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟจะใช้ในระดับล่างสุดของระบบควบคุมแบบดีซีเอส โดยจะเริ่มมีการใช้ประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแทนการทำงานของตัวควบคุมแบบดั้งเดิมคือพีไอดี
4. การพัฒนาตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ แบบไม่เป็นเชิงเส้น และการพัฒนาของการวิเคราะห์แบบจำลองแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อใช้สำหรับควบคุมในระบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างชุดทดลองสำหรับการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ ซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer, PC) เนื่องจากในตอนนี้อายุของพีซีนั้นได้ลดต่ำลงมาก ในขณะที่ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่มีความสะดวกในการปรับปรุงแก้ไขหรือพัฒนาซอฟต์แวร์การควบคุมแทนการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุมแบบเก่า โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นจะเป็นกระบวนการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย (Averaging Level Control) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในกระบวนการอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับการรักษาระดับให้อยู่ในช่วงที่กำหนด และเป็นส่วนป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการไหลมากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้หน่วยปฏิบัติการที่อยู่ถัดไปได้รับความเสียหายได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดทดลองสำหรับทดสอบการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ยโดยใช้ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ
2. เพื่อสร้างตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟสำหรับระบบควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างชุดทดลองควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย
2. เขียนโปรแกรมควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ยโดยใช้ตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ
3. ทำการทดสอบโปรแกรมควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ยกับชุดทดลองที่สร้างขึ้น
4. เขียนโปรแกรมส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ชุดทดลองสำหรับทดสอบการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย
2. โปรแกรมควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย ที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งสามารถที่จะประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย
2. ออกแบบชุดทดลองระบบการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย
3. สร้างชุดทดลองระบบการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย
4. ศึกษาตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (Model Predictive Controller)
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
6. เขียนโปรแกรมควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ยซึ่งใช้ตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟด้วยภาษา C++
 1. ทำการทดสอบโปรแกรมควบคุม
 2. ตรวจสอบและแก้ไข
 3. เขียนโปรแกรมส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้
 4. วิเคราะห์และสรุปผล

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท มีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ที่ได้รับ จากงานวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ งานวิจัยเกี่ยวกับตัวควบคุม ระดับแบบเฉลี่ย งานวิจัยเกี่ยวกับตัวควบคุมโมเดลพรีดิคทีฟ และบทความเกี่ยวกับการนำ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการโดยทั่วไปของตัวควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย ลักษณะและความสำคัญของถังพัก รวมทั้งการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

บทที่ 5 กล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 6 กล่าวถึง ผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ การสรุปผลงานวิจัย และ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ภาคผนวก เป็นส่วนที่กล่าวถึงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ และส่วนโค้ดของโปรแกรมควบคุม แบบพีไอและแบบโมเดลพรีดิคทีฟที่พัฒนาขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับศึกษาทฤษฎีและแนวทางในการทำวิจัย รวมทั้งหลักการในการตรวจสอบตัวควบคุม ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็น 3 เรื่อง คือ การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย และแนวความคิดการพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ เป็น รูปแบบการควบคุมที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองของกระบวนการเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมของตัวแปรปรับในสถานะที่เกิดการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์หรือมีการรบกวนเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งจะใช้หลักการออปติไมเซชันในการหาค่าตัวแปรปรับที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดของการควบคุมน้อยที่สุด โดยที่ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีพื้นฐานมาจากหลักการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งพัฒนาโดย Zadeh และ Halen (1962) และหลังจากนั้น Propoi (1963) ได้เสนอหลักการเกี่ยวกับมูฟวิงฮอไรซัน (Moving Horizon) เป็นการคำนวณค่าตัวแปรปรับล่วงหน้าเพื่อให้ค่าของตัวแปรควบคุมเข้าสู่เซ็ทพอยท์ตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ จากนั้นก็เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้มากขึ้น Richalet (1978)

เนื่องจากการพัฒนาตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟนี้เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการทดลอง ดังนั้นจึงมีรูปแบบที่แตกต่างกันตามขั้นตอนและวิธีการพัฒนาของแบบจำลองที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับตัวควบคุม โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบไดนามิกซ์เมตริก (Dynamic Matrix Control) หรือที่เรียกว่าดีเอ็มซี (DMC) ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่พัฒนาโดย Cutler และ Ramaker (1979) ซึ่งได้นำหลักการของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมาใช้งานในการควบคุมหน่วยการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking Unit) โดยพัฒนาดีเอ็มซีขึ้นจากการนำลักษณะทางไดนามิกของกระบวนการมาสร้างเป็นเมตริกซ์ และใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับที่ทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ทำให้แก้ปัญหาระบบการควบคุมแบบหลายตัวแปรซึ่งมีผลต่อกันภายในระบบซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอดีได้

หลังจากนั้น Mehra et. al. (1982) ได้นำไปประยุกต์กับระบบชุปเปอร์ฮีเตอร์ หม้อน้ำ สำหรับหม้อต้มน้ำ และอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ และ Matsko (1985) นำไปประยุกต์กับกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ นอกจากนี้ Culter และ Hawkin (1987) นำไปประยุกต์ใช้กับเตาปฏิกรณ์แตกตัวด้วยความร้อน และ Surintip (1995) ได้ทำการประยุกต์ใช้ดีเอ็มซีในการควบคุมระบบการผลิตของเหลว และในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาการควบคุมแบบดีเอ็มซีเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และปิโตรเลียมอย่างมากมาย เนื่องจากตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟช่วยลดต้นทุน และควบคุมให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิม

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

ระบบควบคุมระดับแบบเฉลี่ย เป็นการควบคุมระดับของเหลวที่มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมให้อัตราการไหลออกของของเหลวมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยยอมรับความสูงของระดับของเหลวให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งจะแตกต่างจากการควบคุมระดับแบบแน่นอน อย่างไรก็ตามตัวควบคุมที่ใช้กับระบบควบคุมระดับแบบเฉลี่ยนั้น จะใช้ตัวควบคุมพื้นฐานเช่นเดียวกันการควบคุมระดับแบบแน่นอนแต่จะมีเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ควบคุมเพื่อให้การควบคุมเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด เช่น ตัวควบคุมแบบพี และพีไอ และได้มีผู้เสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีและพีไอในรูปแบบต่างๆ และยังได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยขึ้นอีกหลายรูปแบบ ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาของการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ผ่านมา

Shunda และ Fehervari (1976) ได้เสนอว่าหากมีค่าการรบกวนระบบน้อยสามารถที่จะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอมาตรฐานในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยได้ แต่หากมีค่าการรบกวนระบบมากควรจะใช้ตัวควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยพบว่าตัวควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เหมาะสมคือ

- 1). ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear PI Controller)
- 2). ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง (Wide-Range Controller)
- 3). ตัวควบคุมใช้ลมที่มีการทำงานแบบอัตโนมัติ (Pneumatic controller with auto overrides)

และได้มีการนำลักษณะการควบคุมแบบป้อนหน้า/ป้อนกลับ (Feedforward/Feedback scheme) มาประยุกต์ร่วมกับตัวควบคุมแบบพี โดยให้การควบคุมระดับเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ และทำการควบคุมแบบป้อนหน้ากับอัตราการไหลเข้า เรียกว่าตัวควบคุมแบบพีแอล (Proportional-lag controller) ซึ่งเสนอโดย Luyben และ Buckley (1977) พบว่าตัวควบคุมแบบพีแอลให้การไหลขาออกที่ราบเรียบและช่วยลดออฟเซต (offset) ของระดับของเหลวที่เกิดจากการ

ควบคุมแบบพี ซึ่งตัวควบคุมแบบพีแอลก็เปรียบเสมือนการรวมกันระหว่างตัวควบคุมแบบพีและแบบพีไอ แต่การใช้งานยังสามารถใช้งานได้ในช่วงแคบเท่านั้น

และในเวลาใกล้เคียงกัน Cheung และ Luyben (1979) ก็ได้เสนอแผนภาพวิธีปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีและพีไอแบบเชิงเส้น (Conventional linear P and PI Controller) สำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์จากเงื่อนไข

- 1). ค่าระดับของเหลวสูงสุด (Maximum peak level height)
- 2). อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (Maximum rate of change in outlet flow : MRCO)

ซึ่งแผนภาพการปรับค่าพารามิเตอร์นี้นำมาใช้ในการปรับตัวควบคุมแบบพีและพีไอสำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยแทนการใช้สมการที่มีความซับซ้อนได้ทำให้การควบคุมเป็นไปได้ง่ายและประหยัดเวลามากขึ้น

จากนั้นได้ McDonald, McAvoy และ Andretis (1986) ได้พัฒนาตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยซึ่งอาศัยกฎของการควบคุมระดับเฉลี่ยแบบออปติมัล (Optimal averaging level control) เพื่อให้อัตราการเปลี่ยนแปลงขาออกสูงสุดมีค่าน้อยที่สุด (Minimum MRCO) เมื่อทำการกำหนดค่าระดับของเหลวสูงสุดและทราบค่าสเท็ปของการไหลขาเข้า เพิ่มขึ้นอีก 2 แบบคือ ตัวควบคุมแบบแรมป์ (Ramp controller) เป็นการทำงานแบบป้อนกลับที่มีเป็นสัดส่วนแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear proportional form) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของเหลวในถังกับอัตราการไหลขาออก และตัวควบคุมตัวที่สองคือตัวควบคุมแบบออปติมัลพรีดิกทีฟ (Optimal predictive controller, OPC) ซึ่งจะมีการทำงานแบบป้อนหน้า/ป้อนกลับ เพิ่มเข้าไปในการควบคุมแบบออปติมัล (Optimal control law)

Kornchunski (1995) ได้เสนอถึงการเลือกตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยให้เหมาะสมกับขนาดของถังพัก โดยสรุปว่าถังที่มีขนาดเล็กควรเลือกตัวควบคุมพีไอแบบธรรมดา เนื่องจากถังขนาดเล็กไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงการไหลขาเข้าที่มากเกินไป ซึ่งถ้าเลือกใช้ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นจะทำให้ได้ผลการตอบสนองที่แย่ง สำหรับในกรณีถังพักขนาดใหญ่การใช้ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นจะมีความเหมาะสมมากกว่า

2.3 แนวความคิดการพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

บทความของ David W. Cawfield (1994) ซึ่งได้กล่าวถึงการที่ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟความเร็วสูงจะเข้ามาแทนที่การควบคุมแบบพีไอดี โดยได้อ้างอิงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และประสิทธิภาพในการควบคุมของตัวควบคุมขั้นสูง เช่น การควบคุมภายใต้เงื่อนไขที่

จำกัด การควบคุมโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และความสามารถในการควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบการควบคุมโดยใช้ Velocity Form Model Predictive Control และการควบคุมโดยใช้ PID Controller โดยจะทำการเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากร (Resource) ในการคำนวณหาค่าที่จะใช้ในการควบคุม ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบที่แสดงให้เห็นว่า เครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถรองรับการทำงานแบบโมเดลพรีดิกทีฟได้

บทความของ Brad Trent (1995) ซึ่งกล่าวถึงการนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ไปใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง, อุณหภูมิ, การสั่นสะเทือน, การรบกวนของพลังงานไฟฟ้า, ความสามารถในการทำงาน, ความเร็วในการส่งข้อมูล รวมทั้งการป้อนข้อมูลให้กับระบบ โดยได้กล่าวถึงสภาวะต่างๆที่อาจเกิดอันตรายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งถูกสร้างให้ทำงานในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน แต่อย่างไรก็ตามก็ได้แนะนำวิธีประยุกต์ปรับปรุงจนสามารถที่จะนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ

3.1 บทนำ

การควบคุมในอุตสาหกรรมนั้น โดยทั่วไปจะมีลักษณะที่ยุ่งยากซับซ้อน มีตัวแปรอินพุทและเอาต์พุทหลายตัว รวมทั้งตัวแปรกระบวนการต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการในการผลิตขนาดใหญ่ที่ใช้วัตถุดิบเป็นจำนวนมากทั้งแบบ continuous, semibatch หรือแบบ batch โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วยกระแสของเศรษฐกิจและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จะส่งผลให้การผลิตในกระบวนการต่างๆ อยู่บนความต้องการที่เข้มงวด คือ

- 1). คุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 2). ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า
- 3). มีความรับผิดชอบต่อความปลอดภัยของสิ่งแวดล้อม

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมักมีปัญหาในการควบคุมซึ่งเกิดจากสาเหตุเหล่านี้

- 1). กระบวนการต่างๆ มักจะเป็นแบบหลายตัวแปร และโดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรแต่ละตัว
 - มีตัวแปรควบคุมหลายตัว (Several process variables)
 - มีตัวแปรปรับหลายตัว (Several manipulated variables)
 - มีตัวแปรรบกวนหลายตัว (Several disturbance variables) ซึ่งบางตัวก็สามารถที่จะวัดค่าได้ บางตัวก็ไม่สามารถวัดค่าได้
- 2). กระบวนการมีพฤติกรรมทางพลวัตที่ซับซ้อน เช่น
 - มีไทม์ดีเลย์ซึ่งเกิดจากการขนส่งภายในท่อ การวัดค่าต่างๆ และการวิเคราะห์ โดยเฉพาะใน
 - ก). ระบบที่มีอันดับสูงๆ (High-order systems)
 - ข). มีพฤติกรรมแบบ Inverse-response
 - ค). ความไม่เสถียรของลูปเปิด
- 3). กระบวนการโดยทั่วไปไม่เป็นเชิงเส้น
- 4). มีขอบเขตจำกัดหลายแบบ เช่น
 - 4.1). มีขอบเขตจำกัดของค่าตัวแปรอินพุทและเอาต์พุท
 - 4.2). มีค่าจำกัดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุท

คุณสมบัติของตัวควบคุมในอุดมคติที่จะใช้ในการดำเนินกระบวนการในอุตสาหกรรมเคมี

- 1). จะต้องสามารถจัดการกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของกระบวนการที่มีตัวแปรหลายตัว ไทม์ดีเลย์ และปัญหาทางพฤติกรรมทางพลวัตแบบอื่นๆ ซีดจำกัดของอินพุท-เอาต์พุท การรบกวนต่างๆทั้งที่วัดได้และวัดไม่ได้ และการหาผลอันซับซ้อนของพฤติกรรมของกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้
 - 2). จะต้องสามารถทำสิ่งที่กล่าวมาข้างต้นได้ ในขณะที่ทำการออกแบบขั้นตอนการควบคุม
 - 3). ทำการควบคุมได้ดีแม้ว่าจะมีผลการวัดจากกระบวนการน้อย
 - 4). ควรจะมีความทนทานต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง และการรบกวนการวัด
 - 5). สามารถที่จะรักษาคุณลักษณะเหล่านี้ได้ในขณะที่ทำการเริ่มกระบวนการ (start-up) และหยุดกระบวนการ(shutdown) ให้เหมือนกับตอนที่อยู่ในสภาวะคงตัว
- จากที่กล่าวมานี้เป็นแนวความคิดที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของกระบวนการมาทำนายค่าของตัวแปรควบคุมในอนาคต จากนั้นก็ให้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการทำออกแบบขั้นตอนตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

เมื่อนำตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ มาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมในอุดมคติจะเห็นได้ว่า

- 1). จะสามารถใช้กับระบบที่มีตัวแปรหลายตัวและสามารถที่จะจัดการกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ง่ายเป็นพิเศษ
- 2). สามารถจัดการกับไทม์ดีเลย์, อินเวอร์สเรสปอนส์ ได้ดีเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงแบบอื่นๆ
- 3). ใช้แบบจำลองของกระบวนการ แต่ไม่ได้ต้องการแบบจำลองที่เป็นแบบบริจิตโมเดล
- 4). มีการแก้ไขผลกระทบของการรบกวนทั้งแบบวัดได้ และวัดไม่ได้
- 5). สามารถที่จะใช้การควบคุมแบบออกแบบขั้นตอนได้ รวมทั้งสามารถที่จะจัดการกับขอบเขตจำกัดได้ทุกชนิด

ดังนั้นเพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะวิเคราะห์ว่ากระบวนการไหนจำเป็นที่จะต้องใช้ควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ เพราะเนื่องจากความยุ่งยากและซับซ้อนของตัวควบคุม อีกทั้งการใช้ทรัพยากรในการทำงานที่ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำงานมีราคาที่ลดต่ำลงมาก อีกทั้งความสามารถในการทำงานที่เพิ่มขึ้นทำให้เริ่มมีการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแพร่หลายมากขึ้น

3.2 หลักการโดยทั่วไปของเอ็มพีซี

บ่อยครั้งที่กระบวนการทางเคมีมีการตอบสนองทางพลวัตช้า ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานพอสมควรสำหรับการแสดงผลทั้งหมดของแต่ละคอนโทรลแอกชันที่จะควบคุมเอาต์พุทของกระบวนการ จึงเป็นไปได้เลยที่จะสามารถเห็นภาพรวมทั้งหมดของการควบคุมจากการวัดเอาต์พุทของกระบวนการเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการตัดสินใจที่จะเลือกว่าต้องใช้คอนโทรลแอกชันแบบไหนสำหรับเวลาปัจจุบันจึงเป็นสิ่งสำคัญ

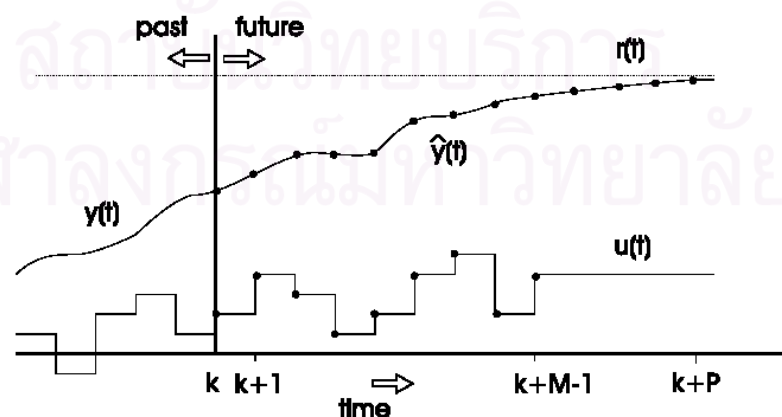
- 1). พิจารณาว่าเอาต์พุทของกระบวนการจะเป็นอย่างไรในอนาคตถ้าไม่มีการควบคุม โดยสามารถที่จะทำนายค่าพฤติกรรมของกระบวนการล่วงหน้าได้อย่างชัดเจน
- 2). เลือกคอนโทรลแอกชันเพื่อที่จะคงไว้ซึ่งความถูกต้องหลังจากเกิดผลเต็มรูปแบบของคอนโทรลแอกชันก่อนหน้านี้ โดยการคำนวณค่าคอนโทรลแอกชันที่ถูกต้องที่สุดที่ทำให้ค่าเอาต์พุทที่ทำนายเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างใกล้เคียงที่สุด

3.2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของเอ็มพีซี

ตัวควบคุมแบบเอ็มพีซี มีการพัฒนารูปแบบอัลกอริทึมเป็นหลายรูปแบบ แต่ส่วนประกอบหลักๆของเอ็มพีซีจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ซึ่งจะเหมือนกันในทุกอัลกอริทึม คือ

- 1). การหาแนววิถีอ้างอิง (Reference Trajectory Specification)

ส่วนประกอบแรกของเอ็มพีซี คือ การกำหนดค่าเส้นแนวโน้มของเป้าหมายที่ต้องการสำหรับเอาต์พุทของกระบวนการ y_k^* ซึ่งจะทำได้ง่ายในการเปลี่ยนแปลงเข้าไปสู่ค่าเซ็ทพอยต์ใหม่



รูปที่ 3.1 Reference Trajectory

- 2). การทำนายค่าเอาต์พุทของกระบวนการ (Process Output Prediction)

เป็นการทำนายค่าเอาต์พุทที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้พิจารณาถึงคอนโทรลแอ็กชันที่จะเกิดขึ้นในเวลาต่อไป
- 3). การคำนวณคอนโทรลแอ็กชันแบบต่อเนื่อง (Control Action Sequence Computation)

โดยการคำนวณแบบต่อเนื่องนี้จะต้องให้เข้ากับเป้าหมายการควบคุมไม่เช่นนั้นที่ตั้งไว้ เช่น

 - ทำให้ค่าการทำนายเอาต์พุทของกระบวนการเบี่ยงเบนจากเป้าหมายในช่วง Prediction horizon น้อยที่สุด
 - ใช้การควบคุมให้น้อยที่สุดในการทำให้ค่าเอาต์พุทเข้าสู่เป้าหมาย
- 4). การทำนายความคลาดเคลื่อนให้ทันกับเหตุการณ์ (Error Prediction Update)

โดยการนำค่าที่วัดได้จากกระบวนการ y_k เปรียบเทียบกับค่าการทำนายจากแบบจำลอง \hat{y}_k จะได้ค่าทำนายความคลาดเคลื่อน $\hat{\epsilon}_k = y_k - \hat{y}_k$ ซึ่งจะใช้ในการทำนายค่าให้ทันกับเหตุการณ์ต่อไป

3.2.2 รูปแบบของโมเดลสำหรับเอ็มพีซี

ในกรณีนี้จะพิจารณาถึงเอ็มพีซีแบบดั้งเดิม (Standard MPC) ซึ่งจะใช้เฉพาะกับแบบจำลองเชิงเส้นเท่านั้น โดยจะแบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1. Finite Convolution Models ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามชนิดของแบบจำลอง

1.1 The Impulse-Response Model Form

$$y_k = \sum_{i=1}^k h_i u_{k-i} \quad (3.1)$$

โดยที่ h_i คือ ฟังก์ชัน impulse response ของกระบวนการ

1.2 The Step-Response Model Form

$$y_k = \sum_{i=1}^k a_i \Delta u_{k-1} \quad (3.2)$$

โดยที่ a_i คือ ฟังก์ชัน step response ของกระบวนการ

$$\text{และ } \Delta u_k = u_k - u_{k-1}$$

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง Impulse-Response กับ Step-Response คือ

$$h_i = a_i - a_{i-1} \text{ และ } a_i = \sum_{j=1}^i h_j$$

$$h_0 = a_0 = 0$$

ค่าสัมประสิทธิ์ impulse และ step response จะสามารถหาได้จากข้อมูลของกระบวนการ

2. Discret State-Space Models

$$y_k = \sum_{i=0}^k a_i y_{k-i} + \sum_{i=0}^k b_i u_{k-1-i} \quad (3.3)$$

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เช่น m คือ ดีเลย์ และ a_i, b_i จะหาได้จากข้อมูลกระบวนการ $a_0 = b_0 = 0$

3. Discrete Transfer Function Models

$$y_z = \frac{z^{-m} B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u_z \quad (3.4)$$

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะสามารถหาได้จากข้อมูลการทดลอง หรือการวิเคราะห์กระบวนการ

3.2.3 อัลกอริทึมของเอ็มพีซี

1. กำหนดเอาต์พุตและออฟเจ็คทีฟฟังก์ชันที่ต้องการ เช่น ต้องการให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสารขาออกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
2. คำนวณชุดของค่าการควบคุมในอนาคต ที่ทำให้ได้ค่าออฟเจ็คทีฟฟังก์ชันต่ำสุด ซึ่งสแต็ปในการคำนวณเท่ากับ N (ซึ่งบอกถึงช่วงเวลาของการควบคุมในอนาคต ซึ่งควรมากกว่าเวลาที่กระบวนการเข้าสู่เสถียรภาพโดยไม่มี การควบคุม ซึ่งสามารถหาได้จากค่าโพลของลูปเปิดที่น้อยที่สุด)
3. นำส่วนหนึ่งของชุดของค่าการควบคุมที่คำนวณได้ (มักจะเป็นค่าแรกเท่านั้น) ไปใช้ประยุกต์กับระบบ
4. วัดค่าเอาต์พุต และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 โดยอาศัยข้อมูลหรือค่าวัดที่ได้ใหม่ แล้วทำซ้ำจากขั้นที่ 2 - 4

การเขียนสมการเพื่อคำนวณหาชุดของค่าการควบคุมในอนาคตจากสมการสแต็ป โดยให้อยู่ในขอบเขตกำหนดต่างๆ ต้องทำให้ออฟเจ็คทีฟฟังก์ชันมีค่าน้อยที่สุด ดังเช่น

$$\text{ออฟเจ็คทีฟฟังก์ชัน} : \min \int_0^{t_f} \{W_1(x - x_{sp})^2 + W_2(\Delta U)^2\} dt \quad (3.5)$$

$$\text{สมการสแต็ป} : \dot{x} = f(x(t), U(t))$$

$$\text{ขอบเขตกำหนดของตัวแปรปรับ} : U_{\min} < U(t) < U_{\max}$$

$$\text{ข้อกำหนดของตัวแปรควบคุม} : x(t + t_f) = x_{sp}$$

โดยที่ W_1 และ W_2 คือ เวกเตอร์น้ำหนัก ซึ่งนักออกแบบสามารถเลือกผลการตอบสนองของกระบวนการโดยการกำหนดค่าเวกเตอร์น้ำหนักเหล่านี้ให้เหมาะสม

t_f คือ เวลาในขนาดที่กำหนด (เวลาที่จะทำการคำนวณชุดของตัวแปรปรับเพื่อควบคุมตัวแปรควบคุมให้อยู่ที่ค่าที่ต้องการ

U_{\min} และ U_{\max} คือ ค่าน้อยที่สุดของตัวแปรปรับ และค่ามากที่สุดของตัวแปรปรับตามลำดับ

3.2.4 ขอบเขตจำกัด (Constraints)

ในอุตสาหกรรมเคมีทั่วไปการปฏิบัติงานต่างๆ มักจะมีขอบเขตจำกัด ดังนั้นการออกแบบการควบคุมจึงต้องกำหนดขอบเขตจำกัดไว้เพื่อป้องกันอันตรายและความสูญเสียที่จะเกิดจากการปฏิบัติงาน โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟเมื่อทำการออปติไมซ์ก็จะต้องขึ้นกับขอบเขตจำกัดต่างๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปสมการดังนี้

Equality Constraints

$$K(x(t), u(t), t) = 0 \quad (3.6)$$

Inequality Constraints

$$h(x(t), u(t), t) \geq 0 \quad (3.7)$$

ซึ่งมักจะพบ Inequality Constraints มากกว่า Equality Constraints โดยเฉพาะระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น การตั้งขอบเขตแบบ Equality Constraints จะไม่สามารถทำให้สอดคล้องกับจำนวนจำกัดของอินเทอเรชั่น (Iterations) ได้ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยง

ในปัญหาของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ส่วนใหญ่มักพิจารณาขอบเขตจำกัดเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือขอบเขตจำกัดต่างๆ บนตัวแปรอินพุทโดยทั่วไปแล้วมักเป็นขอบเขตจำกัดอย่างแข็ง (hard constraints) ซึ่งประกอบด้วยขอบเขตจำกัดล่างและบน (lower and upper bound) บนตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ

$$u(t) \in U = \{u \in \mathcal{R}^m : u_{\min} \leq u \leq u_{\max}\}, \forall t \in [0, \infty) \quad (3.8)$$

เพื่อให้ความหมายของปัญหาการควบคุมสมบูรณ์ U มักจะบรรจุค่าเริ่มต้นไว้ด้วย

ส่วนขอบเขตจำกัดอื่นๆ ที่ปกติแล้วใช้กันมาก คือ ขอบเขตจำกัดบนอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับกระบวนการ ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ

$$|\Delta u_j(k + i/k)| \leq \Delta u_{\max, j}, \forall i = 1, \dots, M - 1, k \geq 0 \quad (3.9)$$

$$\Delta u_{\max, j} > 0, \forall j = 1, \dots, M$$

$$\text{เมื่อ } \Delta u_j(k + i/k), \Delta u_{\max, j}, j = 1, \dots, M \quad (3.10)$$

เป็นสมาชิกของเวกเตอร์ $\Delta u_j(k + i/k), \Delta u_{\max}$

ตามลำดับ จึงสามารถที่จะแสดงขอบเขตจำกัดเหล่านี้ในรูปของเวกเตอร์ดังสมการ

$$|\Delta u_j(k + i/k)| \leq \Delta u_{\max}, \forall i = 0, \dots, M-1, k \geq 0, \Delta u_{\max} > 0$$

สำหรับขอบเขตจำกัดบนเอาต์พุตโดยทั่วไปสามารถเขียนได้อยู่ในรูปสมการ

$$y_{\min} \leq y(k + i/k) \leq y_{\max}, \forall i = 1, \dots, P, k \geq 0$$

หรืออยู่ในรูปแบบของขอบเขตจำกัดอย่างอ่อน (Soft Constraints) ดังสมการ

$$y_{\min} \leq y(k + i/k) \leq y_{\max} + \varepsilon, \forall i = 1, \dots, P, k \geq 0$$

รูปแบบของขอบเขตจำกัดนี้อนุญาตให้ละเมิดขอบเขตของ y_{\min} และ y_{\max} อย่างมากที่สุดเท่ากับ ε เมื่อปัญหาของขอบเขตจำกัดอย่างแข็ง (Hard Constraints) เป็นไปไม่ได้ ค่าของ ε ถูกเพิ่มเข้าไปในออฟเจ็คทีฟฟังก์ชันเพื่อลดการละเมิดขอบเขตจำกัดเหล่านี้ให้น้อยที่สุด

นอกจากขอบเขตจำกัดบนอินพุตและเอาต์พุตแล้ว การออฟติไมซ์ยังอาจขึ้นกับข้อจำกัดทางฟิสิกส์ (Physical Constraints) บนตัวแปรสเตตต่างๆ เช่น การไหลของน้ำไม่มีการติดลบ เป็นต้น ส่วนข้อจำกัดอื่นๆ ของตัวแปรสเตตที่เป็นประโยชน์ คือ ข้อจำกัดที่แสดงที่จุดสิ้นสุดของแกนการทำงาน (End Constraints) ซึ่งข้อจำกัดบางอย่างเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ ยกตัวอย่างเช่นเพื่อรับประกันเสถียรภาพของระบบลูปปิด รูปแบบของขอบเขตจำกัดที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ Equality Constraints

$$x(k + P/k) = 0, \forall k \geq 0$$

Inequality Constraints

$$x(k + P/k) \in W, \forall k \geq 0$$

จากการมีขอบเขตจำกัดของการดำเนินการทำให้พลวัตของกระบวนการควบคุมทั้งหมดเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ถึงแม้ว่ากระบวนการที่ควบคุมถูกสมมติว่าเป็นเชิงเส้นรอบจุดปฏิบัติการ

3.3 ตัวควบคุมไดนามิกส์ เมตริกคอนโทรล

ตัวควบคุมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟตัวแรกที่ใช้ในอุตสาหกรรมจริง แม้ในปัจจุบันก็ยังเป็นตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีการใช้งานมากที่สุด อีกทั้งยังมีการพัฒนาตัวควบคุมนี้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งก็คือตัวควบคุมไดนามิกส์เมตริก (Dynamic Matrix Controller) ซึ่งเหมือนกับตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟทั่วไปที่ใช้ในการแก้ปัญหาการควบคุมที่ซับซ้อนโดยอาศัยการทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุตในอนาคตจากพฤติกรรมหรือค่าการควบคุมในอดีต และลักษณะไดนามิกของระบบซึ่งเป็นหลักการของมูฟวิงฮอไรซัน เพื่อนำมาคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับที่เหมาะสม ณ ช่วงเวลาปัจจุบันและอนาคต

โดยหลักการของการควบคุมแบบดีเอ็มซีจะใช้การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งก็คือค่าความผิดพลาดระหว่างเซ็ทพอยต์ของตัวแปรควบคุมกับค่าทำนาย (Predicted Value) โดยดีเอ็มซีถูกจัดรูปให้เป็นตัวควบคุมที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดโดยการคำนวณเซตของการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของตัวแปรปรับ ซึ่งทำให้ได้ค่าความผิดพลาดของตัวแปรเอาต์พุตยกกำลังสองตลอดช่วงเวลาในการทำนายมีค่าน้อยที่สุด

3.3.1 การหาแบบจำลองของกระบวนการ

3.3.1.1 ระบบดิสครีตไทม์

ในงานวิจัยนี้จะนำตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีมาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ดังนั้นการศึกษาระบบควบคุมจึงต้องใช้แบบจำลองแบบดิสครีตไทม์ ซึ่งหมายถึง แบบจำลองที่มีอินพุตและเอาต์พุตเป็นซีแคว็นซ์ของข้อมูลหรือ สัญญาณดิสครีต โดยสามารถแสดงแบบจำลองในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$X = \{X[k]\} \quad , -\infty < k < \infty \quad (3.11)$$

เมื่อ X คือสัญญาณ และ k เป็นเลขจำนวนเต็ม

โดยสัญญาณนี้ได้มาจากการเก็บตัวอย่างจากสัญญาณอะนาล็อก ซึ่งก็คือค่าที่วัดได้จากกระบวนการ โดยมีคาบเก็บตัวอย่างหรือ T จึงแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$X[k] = X_a(kT) \quad (3.12)$$

เมื่อ X_a เป็นสัญญาณอะนาล็อก

ส่วนนิยามเชิงคณิตศาสตร์ระหว่างซีแคว็นซ์ของสัญญาณอินพุต $X[k]$ และซีแคว็นซ์ของสัญญาณเอาต์พุต $Y[k]$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y[k] = F\{X[k]\} \quad (3.13)$$

โดยสมมุติฐานที่นำมาใช้คือ แบบจำลองเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Linear Time Invariant Models) ซึ่งเป็นการตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุตลักษณะหนึ่งจะเหมือนกันไม่ว่าจะป้อนสัญญาณนั้นเข้าไปที่เวลาใดๆ และสามารถอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติการทับซ้อน (Superposition) 2 ข้อ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของระบบเชิงเส้น คือ

- (1) คุณสมบัติในการรวมกัน (Additivity property)

$$F\{X_1[k] + X_2[k]\} = F\{X_1[k]\} + F\{X_2[k]\} = Y_1[k] + Y_2[k] \quad (3.14)$$

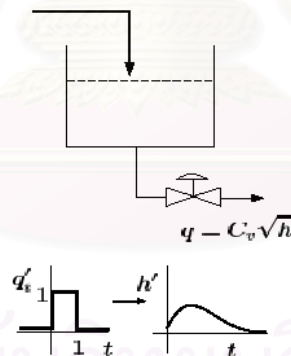
- (2) คุณสมบัติทางด้านความสม่ำเสมอหรือการทวีค่า (Homogeneity or scaling property)

$$F\{aX[k]\} = aF\{X[k]\} = aY[k] \quad (3.15)$$

คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ทำให้การสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์และทำนายระบบสามารถทำได้ง่ายขึ้น

3.3.1.2 แบบจำลองการตอบสนองต่ออิมพัลส์ (Impulse Response Model)

เมื่อเพิ่มตัวแปรอินพุตขนาด $u(0) = \{1, 0, 0, 0, \dots\}$ เข้าไปในกระบวนการ จะสามารถวัดค่าตัวแปรเอาต์พุตได้เป็น $y(0) = \{h_0, h_1, \dots, h_n, \dots\}$ โดยจะให้ระบบมีลักษณะเป็นไปตามสมมุติฐานนี้



รูปที่ 3.2 การตอบสนองแบบอิมพัลส์

จะได้ว่า $h_0 = 0$ เพราะระบบจะไม่เปลี่ยนแปลงในทันทีที่ตัวแปรอินพุตเปลี่ยนแปลงและ $h_k = 0$ สำหรับ $k > n$ โดยที่ระบบจะเข้าสู่สถานะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป n ช่วงเวลา

ระบบที่เป็นลักษณะนี้จะเรียกว่า Finite Impulse Response (FIR) โดยกระบวนการจริงในอุตสาหกรรมหลายกระบวนการสามารถใช้ FIR ในการประมาณได้ดี แต่อย่างไรก็ตามระบบที่เป็นลักษณะ integrating system จะไม่สามารถใช้ FIR ในการประมาณได้

จากแบบจำลองเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Linear Time Invariant Models)

ทำการเลื่อนสแต็คค่าอินพุท จะได้ว่า $U = \{0, 1, 0, \dots, 0, \dots\}$ (3.16)

ทำให้มีการเลื่อนค่าตอบสนองเป็นดังนี้ $Y = \{0, h_0, h_1, \dots, h_n, \dots\}$ (3.17)

ซึ่งลักษณะไดนามิกของระบบที่เป็น FIR ก็จะสามารถอธิบายได้ด้วยเซตของค่าสัมประสิทธิ์ FIR ที่แสดงอยู่ในรูปของเมตริก $H = [h_1, h_2, \dots, h_n]^T$ (3.18)

โดยที่สามารถที่จะคำนวณการตอบสนองของระบบได้จากการใช้คุณสมบัติการซ้อนทับ เมื่อมีตัวแปรอินพุทหลายค่าจะได้ว่า $U = \{u_0, u_1, u_2, \dots\}$ (3.19)

สามารถแสดงในรูปผลรวมของอิมพัลส์ได้ว่า

$$\begin{aligned} U &= \{1, 0, 0, \dots\}u_0 \\ &+ \{0, 1, 0, \dots\}u_1 \\ &+ \{0, 0, 1, 0, \dots\}u_2 \\ &+ \dots \end{aligned} \quad (3.20)$$

ค่าตัวแปรเอาต์พุทของระบบจะเป็น

$$\begin{aligned} y_0 &= \{0, h_1, h_2, \dots, h_n, 0, 0, \dots\} u_0 \\ &+ \{0, 0, h_1, h_2, \dots, h_n, 0, 0, \dots\} u_1 \\ &+ \{0, 0, 0, h_1, h_2, \dots, h_n, 0, 0, \dots\} u_2 \\ &+ \dots \\ &= \{0, h_1u_0, h_2u_0 + h_1u_1, h_3u_0 + h_2u_1 + h_1u_2, \dots\} \end{aligned} \quad (3.21)$$

จะสามารถหาตัวแปรเอาต์พุทในแต่ละช่วงเวลาได้จาก

$$y_{k+1} = y_0 + \sum_{i=1}^n h_i u_{k-i} \quad (3.22)$$

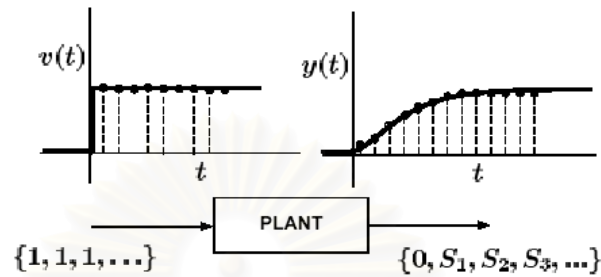
โดยที่สัมประสิทธิ์ h_i จะแสดงถึงผลของอินพุทซึ่งเกิดที่ช่วงเวลา i ในอดีตที่ส่งผลกับค่าตัวแปรเอาต์พุท y_k

3.3.1.3 แบบจำลองการตอบสนองต่อสแต็ป (Step Response Model)

ในระบบอุตสาหกรรมสามารถที่จะประมาณลักษณะไดนามิกของกระบวนการได้โดยระบบดีสครีตไทม์ และโมเดลเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับเวลาระหว่างตัวแปรเอาต์พุทและตัวแปรอินพุท โดยจะพิจารณาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบสแต็ปของตัวแปรอินพุท $u(0) = \{1, 1, 1, \dots\}$ สัญญาณการตอบสนองต่อสแต็ปของตัวแปรเอาต์พุทจะมีค่าเป็น

$$y(0) = \{0, h_1, h_1 + h_2, h_1 + h_2 + h_3, \dots\} \quad (3.23)$$

ซึ่งก็จะเท่ากับ $\{a_0, a_1, a_2, \dots, a_T\}$ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวัด Δt และกำหนดให้ $a_i = 0$ สำหรับ $i \leq 0$ โดยที่ $T\Delta t$ จะมีค่าเท่ากับระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุลค่าใหม่ โดยตัวแปร T จะเรียกว่าฮอไรซันของแบบจำลอง และสามารถที่จะเขียนเป็นกราฟได้ดังรูป



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการตอบสนองแบบสเต็ปของตัวแปรอินพุท

เมื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอินพุทแบบสเต็ป โดยให้ \hat{y}_n เป็นค่าเอาต์พุทที่ได้จากการทำนาย u_n เป็นค่าของตัวแปรปรับที่เวลาการเก็บตัวอย่างที่ n จะได้ Convolution Model เป็นดังนี้

$$\hat{y}_{n+1} = y_0 + \sum_{i=1}^T a_i \Delta u_{n+1-i} \quad (3.24)$$

โดยที่การตอบสนองแบบสเต็ปจะมีความสัมพันธ์กับการตอบสนองแบบอิมพัลส์คือ

$$\begin{aligned} h_1 &= a_i - a_{i-1} & i &= 1, 2, \dots, T \\ h_0 &= 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

ซึ่งสมการต่อไปนี้จะแสดงถึง ผลรวมของชุดการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอินพุท สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอินพุทเพียงครั้งเดียวจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= y_0 + a_1 \Delta u_0 \\ \hat{y}_2 &= y_0 + a_2 \Delta u_0 \\ &\vdots \\ \hat{y}_T &= y_0 + a_T \Delta u_0 \end{aligned} \quad (3.26)$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอินพุต 2 ครั้ง คือ Δu_0 และ Δu_1 ที่ช่วงเวลา $i = 0$ และ ช่วงเวลา $i = 1$ เมื่อใช้คุณสมบัติการซ้อนทับจะได้ว่า

$$\begin{aligned}\hat{y}_1 &= y_0 + a_1 \Delta u_0 \\ \hat{y}_2 &= y_0 + a_2 \Delta u_0 + a_1 \Delta u_1 \\ \hat{y}_3 &= y_0 + a_3 \Delta u_0 + a_2 \Delta u_1 \\ &\vdots \\ \hat{y}_T &= y_0 + a_T \Delta u_0 + a_{T-1} \Delta u_1\end{aligned}\quad (3.27)$$

ซึ่งก็จะสามารถทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุตที่เวลาต่างๆ ในช่วงเวลาที่กำหนดได้

3.3.2 รูปแบบเมตริกสำหรับการทำนายแบบจำลอง

(Matrix forms for predictive models)

ในส่วนนี้จะแสดงถึงการทำนายค่าของกระบวนการจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอินพุตหลายตัว โดยหลักของการควบคุมแบบทำนายค่าคือใช้ฮอไรซัน ซึ่งเป็นเวลาที่ทำให้ผลตอบสนองของลูปเปิดเข้าสู่ 99 % ของสภาวะคงตัวใหม่ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ฮอไรซันคือ

1. ฮอไรซันควบคุม (Control horizon, U)
2. ฮอไรซันทำนายค่า (Prediction horizon, V)

โดย ฮอไรซันควบคุม U จะเป็นจำนวนของคอนโทรลแอกชัน ซึ่งคำนวณจากผลของค่าที่ทำนายจาก ฮอไรซันทำนายค่า V

โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{y}_3 \\ \vdots \\ \hat{y}_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & a_1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_V & a_{V-1} & a_{V-2} & \cdots & a_{V-U+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_0 \\ \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \vdots \\ \Delta u_{U-1} \end{bmatrix}\quad (3.28)$$

สำหรับตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีค่าของ U และ V จะเป็นตัวแปรปรับค่าในการควบคุม

การทำนายล่วงหน้าหนึ่งสเต็ป (Single-Step Prediction)

จากสมการที่ (3.22) เมื่อคิดย้อนไปหนึ่งสเต็ปจะได้ว่า

$$\hat{y}_n = \sum_{i=1}^T h_i u_{n-i} \quad (3.29)$$

นำไปลบกับสมการที่ (3.22) จะได้เป็น Recursive form ของแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปของผลต่างของตัวแปรอินพุท Δu

$$\hat{y}_{n+1} = \hat{y}_n + \sum_{i=1}^T h_i \Delta u_{n+1-i} \quad (3.30)$$

ซึ่งสมการที่ (3.30) เป็นการทำนายค่าขอบรูปเปิด ซึ่งจะไม่มีส่วนแก้ไขความผิดพลาดของแบบจำลองหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนระบบซึ่งอาจเกิดขึ้นในสเต็ปก่อนหน้า ในตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีจึงมีการชดเชยค่าความผิดพลาดโดยแทนด้วยสัญญาณ y_{n+1}^* ซึ่งค่าได้รับการแก้ไขนี้จะได้มาจากการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริง y_n กับค่าที่ทำนายในสเต็ปที่ n คือ \hat{y}_n แล้วทำการเลื่อนการแก้ไขไปข้างหน้าหนึ่งสเต็ปจะได้ว่า

$$y_{n+1}^* - \hat{y}_{n+1} = y_n - \hat{y}_n \quad (3.31)$$

การเลื่อนค่าชดเชยสำหรับความผิดพลาดของกระบวนการ เช่น การเปลี่ยนแปลงของค่าโหลดที่วัดไม่ได้ ไปในสเต็ปข้างหน้าจะมีลักษณะเหมือนกับการควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของ Recursive form ได้ดังนี้

$$y_{n+1}^* = \hat{y}_{n+1} + (y_n - \hat{y}_n) = y_n + \sum_{i=1}^T h_i \Delta u_{n+1-i} \quad (3.32)$$

การทำนายแบบหลายสเต็ป (Multistep Prediction)

ประโยชน์หลักของการควบคุมแบบทำนายค่าคือสามารถที่จะทำนายค่าของตัวแปรควบคุมในอนาคตได้ โดยฮอไรซันทำนายค่า V จะเป็นตัวกำหนดสมรรถนะของระบบควบคุม โดยค่าที่ทำนายล่วงหน้า V สเต็ปจะแสดงในรูปของการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของตัวแปรปรับ

$$y_{n+j}^* = \hat{y}_{n+j-1} + \sum_{i=1}^T h_i \Delta u_{n+j-i} \quad (3.33)$$

โดยที่ $(j=1,2,3,\dots,V)$

จากสมการที่ (3.33) สามารถหาค่า \hat{y}_{n+V} ซึ่งเหมือนกับสมการที่ (3.31) จะได้ว่า

$$y_{n+j}^* = \hat{y}_{n+j} + (y_{n+j-1}^* - \hat{y}_{n+j-1}) \quad (3.34)$$

ค่าความแตกต่างระหว่าง y^* กับ \hat{y} จะใช้ในการแก้ไขข้อมูลค่า y^* ที่ช่วงเวลา $t = (n+j)\Delta t$

ซึ่งกำหนดให้เป็นเหมือนการทำนายค่าความผิดพลาดในอนาคต โดยการหาค่าตอบของสมการ

(3.34) จะกำหนดให้ $y_n^* = y_n$ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ในปัจจุบัน

เมื่อนำสมการ (3.33) ไปแทนค่าในสมการ (3.34) จะได้ดังสมการนี้

$$y_{n+j}^* = y_{n+j-1}^* + \sum_{i=1}^T h_i \Delta u_{n+j-i} \quad (3.35)$$

สำหรับ $j=1,2,3,\dots,V$ และ $y_n^* = y_n$

ซึ่งสามารถแสดงสมการ (3.35) ในรูปของเวกเตอร์เมตริก ซึ่งง่ายต่อความเข้าใจดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_{n+1}^* \\ y_{n+2}^* \\ y_{n+3}^* \\ \vdots \\ y_{n+V}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & a_1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_V & a_{V-1} & a_{V-2} & \cdots & a_{V-U+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_0 \\ \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \vdots \\ \Delta u_{n+U-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_n + P_1 \\ y_n + P_2 \\ y_n + P_3 \\ \vdots \\ y_n + P_V \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

$$\text{โดยที่ } a_i = \sum_{j=1}^i h_j \quad (3.37)$$

$$\text{และ } P_i = \sum_{j=1}^i S_j \text{ สำหรับ } i=1,2,3,\dots,V \quad (3.38)$$

$$S_j = \sum_{i=j+1}^T h_i \Delta u_{n+i-j} \text{ สำหรับ } j=1,2,3,\dots,V \quad (3.39)$$

P_i จะเป็นส่วนของโปรเจกชันเวกเตอร์ที่มีความสำคัญในการทำนายค่าของ y ซึ่งจะอ้างอิงจากค่าของตัวแปรอินพุตที่เปลี่ยนแปลงในอดีตก่อนหน้าช่วงเวลาปัจจุบัน

3.3.3 การออกแบบตัวควบคุม (Controller Design Method)

การออกแบบตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟจะอ้างอิงจากพฤติกรรมของกระบวนการที่เป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งการทำนาย โดยค่าของตัวแปรปรับที่ใช้จะถูกคำนวณเพื่อควบคุมระบบให้มีลักษณะเป็นไปตามที่ต้องการ โดยช่วงเวลาเก็บตัวอย่างหลังจากที่ส่งค่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับออกไป ค่าการตอบสนองที่ทำนายได้จะถูกเปรียบเทียบกับค่าการตอบสนองที่แท้จริง และใช้ค่าความแตกต่างที่ได้ในการหาค่าการควบคุมป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาด โดยจะทำเช่นนี้ทุกๆ ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

วัตถุประสงค์ของการควบคุมคือ การให้ค่าการทำนายที่ถูกแก้ไขแล้ว y_{n+j}^* เข้าใกล้ค่าเซ็ทพอยต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เมื่อพิจารณาถึงแนววิถีของเซ็ทพอยต์ หรือค่าเซ็ทพอยต์ที่

ต้องการจำนวน V สเต็พภายในอนาคต แทนด้วย $r_{n+j}, j=1,2,\dots,V$ ซึ่งจะหาเวกเตอร์ค่าความผิดพลาดได้จาก

$$\hat{E} = \begin{bmatrix} r_{n+1} - y_{n+1}^* \\ r_{n+2} - y_{n+2}^* \\ r_{n+3} - y_{n+3}^* \\ \vdots \\ r_{n+V} - y_{n+V}^* \end{bmatrix} \quad \hat{E}' = \begin{bmatrix} E_n - P_1 \\ E_n - P_2 \\ E_n - P_3 \\ \vdots \\ E_n - P_V \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

\hat{E}' เป็นค่าความผิดพลาดของการทำนายค่าในอนาคตของรูปเปิดซึ่งมีผลเฉพาะจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับในอดีตเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม \hat{E} จะอ้างอิงถึงการทำนายค่าแบบรูปปิดเนื่องจากมีผลจากค่าควบคุมในปัจจุบันและในอนาคต จากสมการ (3.36) จะสามารถเขียนได้ว่า

$$\hat{E} = -A\Delta u + \hat{E}' \quad (3.41)$$

โดย A เป็นไทรแองกิวลาเมตริก (Triangular Matrix) ขนาด $V \times U$

Δu เป็นเมตริกขนาด $U \times 1$ ซึ่งเป็นเวกเตอร์ของ Control move ในอนาคต ถ้าวิธีการทำนายของตัวแปรเอาต์พุตกับวิธีการทำนายของค่าเอาต์พุตที่ต้องการนั้นเข้ากันได้พอดี จะทำให้ $\hat{E} = 0$ จากสมการ (3.41) จะได้ว่า

$$0 = -A\Delta u + \hat{E}' \quad (3.42)$$

โดยปกติแล้วสำหรับตัวควบคุมแบบดีเอ็มซี จำนวน U มักจะน้อยกว่า V เสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับมากเกินไป

จากวิธียกกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method) ทำการมินิไมซ์ค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance index)

$$J[\Delta u] = \hat{E}'^T \hat{E} \quad (3.43)$$

$$\text{จาก} \quad \hat{E} = -A\Delta u + \hat{E}' \quad (3.44)$$

$$\text{โดยที่} \quad \hat{E}'^T = -\Delta u^T A^T + \hat{E}'^T \quad (3.45)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad J[\Delta u] = \Delta u^T A^T A \Delta u - \Delta u^T A^T \hat{E}' - \hat{E}'^T A \Delta u + \hat{E}'^T \hat{E}' \quad (3.46)$$

$$\text{จัดรูปสมการ ได้เป็น} \quad J[\Delta u] = \Delta u^T A^T A \Delta u - 2(\hat{E}'^T A \Delta u) + \hat{E}'^T \hat{E}' \quad (3.47)$$

$$\text{เมื่อทำการมินิไมซ์ (Minimization) จะได้ว่า} \quad \frac{dJ}{d\Delta u} = 0 \quad (3.48)$$

$$0 = (A\Delta u)^T A + (A\Delta u)^T A - 2(\hat{E}'^T A)^T + 0 \quad (3.49)$$

$$\text{และจัดรูปสมการ} \quad 0 = 2(A\Delta u)^T A - 2(A^T \hat{E}') \quad (3.50)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad 0 = \Delta u A^T A - A^T \hat{E}' \quad (3.51)$$

สามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับได้จาก $\Delta u = (A^T A)^{-1} A^T \hat{E}' = K_c \hat{E}'$ (3.52)

$(A^T A)^{-1} A^T$ คืออินเวอร์สเทียมของเมตริก (Pseudoinverse matrix) และ K_c คือ เมตริกของเกนแบบป้อนกลับ (Matrix of feedback gains)

โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่า Δu_n ค่าแรกในการควบคุม วัดตัวแปรเอาท์พุทแล้วนำไปคำนวณแก้ไขกับค่าที่ทำนายได้ จากนั้นทำตามสมการที่ (3.52) อีกครั้ง ดังนั้นแต่ละช่วงเก็บตัวอย่าง คอนโทรลแก็กชั้นในขนาดตจํานวน U ค่าจะถูกคำนวณออกมา แต่เฉพาะค่าแรกเท่านั้นที่จะใช้ในการควบคุมระบบ อย่างไรก็ตามจากกฎการควบคุมตามสมการที่ (3.52) อาจจะทำให้ผลการควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับอย่างรุนแรงเกินไป ซึ่ง Culter และ Ramaker ได้แก้ไขปัญหานี้โดยการใช้เมตริกของแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting matrices) คูณกับ $A^T A$ เพื่อให้ผลการควบคุมเหมาะสมที่สุด ซึ่งเมตริกของแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนักก็เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลือกปรับสมรรถนะในการควบคุม สามารถแสดงได้ดังสมการนี้

$$J[\Delta u] = \hat{E}'^T W_1 \hat{E}' + \Delta u^T W_2 \Delta u \quad (3.53)$$

โดย W_1 และ W_2 เป็นเมตริกถ่วงน้ำหนักซึ่งมีค่าเป็นบวก

ผลของกฎการควบคุมจะได้จากการทำมิไนไมซ์ J

$$\Delta u = (A^T W_1 A + W_2)^{-1} A^T W_1 \hat{E}' = K_c \hat{E}' \quad (3.54)$$

ซึ่งค่าที่จะใช้ในการควบคุมก็จะใช้เพียงแค่ว่าคอนโทรลแก็กชั้นค่าแรกเท่านั้น

บทที่ 4

ความสำคัญของถังพักและการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

4.1 บทนำ

สำหรับการดำเนินการในอุตสาหกรรมเคมี การควบคุมระดับถือเป็นหน่วยปฏิบัติการพื้นฐานที่มีอยู่ในทุกโรงงาน โดยการควบคุมระดับนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ การควบคุมระดับแบบแน่นอน (Tight level control) เป็นการควบคุมระดับให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการอย่างรวดเร็วที่สุด และการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย (Averaging level control) เป็นการควบคุมระดับให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ แต่จุดประสงค์หลักคือเมื่อมีการรบกวนระบบ จะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลขาออกของของเหลวให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันความเสียหายไม่ให้เกิดกับหน่วยปฏิบัติการที่อยู่ถัดไป โดยที่การควบคุมทั้งสองแบบนี้สามารถใช้ตัวควบคุมชนิดเดียวกันเพียงแต่จำเป็นต้องเลือกค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมนั้น นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความสะดวกในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์อีกด้วย

4.2 ถังพักในอุตสาหกรรมเคมี

ความจำเป็นของถังพักในโรงงานอุตสาหกรรม

- 1). ถังพักช่วยให้การปฏิบัติการต่างๆ ของโรงงานสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างราบรื่น ในกรณีที่ไม่มีกรไหลของระบบหรืออัตราการไหลลดลง เช่น เกิดการขัดข้องในการป้อนวัสดุ, การขนส่งผลิตภัณฑ์หรือหน่วยปฏิบัติการบางหน่วยในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องหยุดเพื่อทำการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา ทำให้ไม่สามารถส่งวัสดุได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งการใช้ถังพักจะเป็นการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี โดยถังพักจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บวัสดุให้เพียงพอกับความต้องการ
- 2). การมีถังพักช่วยให้มั่นใจว่ามีของเหลวไหลไปยังปั๊ม (Pump) ตลอดเวลาในขณะที่ปั๊มกำลังทำงาน ในกรณีที่ไม่มีของเหลวในถังพัก การไหลของของเหลวไปยังปั๊มจะถูกรบกวน เนื่องจากปั๊มโดยทั่วไปไม่สามารถทำให้เกิดการไหลได้อย่างอัตโนมัติหลังจากการไหลหยุดลง นอกจากนี้ อาจเกิดความเสียหายขึ้นกับปั๊มได้ หากยังทำงานแต่ไม่มีของเหลวไหลเข้ามายังปั๊ม สำหรับหน่วยปฏิบัติการทั่วไปถังพักควรมีเวลาที่ใช้ในถังพัก (Holdup time, τ_H) เท่ากับ

ปริมาณสูงสุดของถังพักหารด้วยอัตราการไหลปกติ 5 ถึง 10 นาที เพื่อให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงการไหลปกติที่เกิดขึ้นได้

- 3). สามารถใช้ถังพักในการป้องกันการรบกวนหน่วยปฏิบัติการ ที่สามารถรับผลกระทบจากการรบกวนได้ง่าย เพื่อช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสายป้อน และอัตราการไหลเข้า ทำให้ขนาดของการรบกวนที่เกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติการดังกล่าวมีค่าลดลง ซึ่งจำเป็นต้องใช้การควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ยที่จะกล่าวถึงต่อไป

การใช้ถังพักก็ควรที่จะกำหนดขนาดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เนื่องจากการใช้ถังพักก็มีข้อเสียเช่น

- 1). การติดตั้งต้องเสียค่าใช้จ่าย ทั้งด้านราคาของตัวถังพัก ตลอดจนพื้นที่ที่จะติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆ และค่าบำรุงรักษา
- 2). ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบที่เก็บไว้ในถังพัก
- 3). อาจเกิดการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบที่เก็บไว้ในถังพักได้
- 4). ในการเก็บวัตถุดิบที่มีพิษหรือเป็นวัตถุไวไฟในถังพัก อาจจะทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้

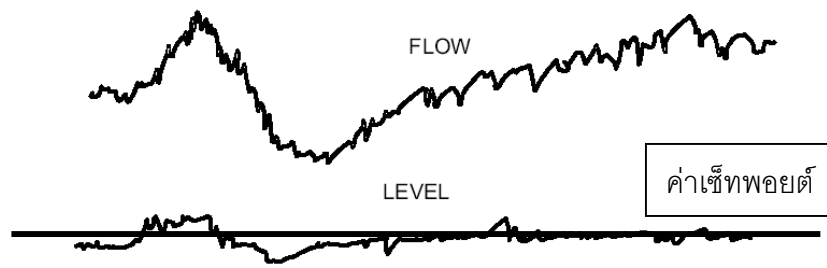
อย่างไรก็ตามถังพักก็มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรม ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงควรที่จะสร้างถังพักให้มีขนาดพอเพียงต่อการใช้งานเท่านั้น

4.3 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย

การควบคุมระดับเป็นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลล้นหรือไหลหมดไปเมื่อมีการรบกวนของอัตราการไหลเกิดขึ้น โดยเฉพาะสมรรถนะของกระบวนการบางอย่าง เช่น เครื่องปฏิกรณ์เคมีจะขึ้นอยู่กับเวลาของสารที่อยู่ในถังปฏิกรณ์นั้น ซึ่งเวลาของสารเคมีที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ก็จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของของเหลว จึงส่งผลให้การควบคุมระดับมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับวิศวกรเคมีเพื่อที่จะควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามต้องการ

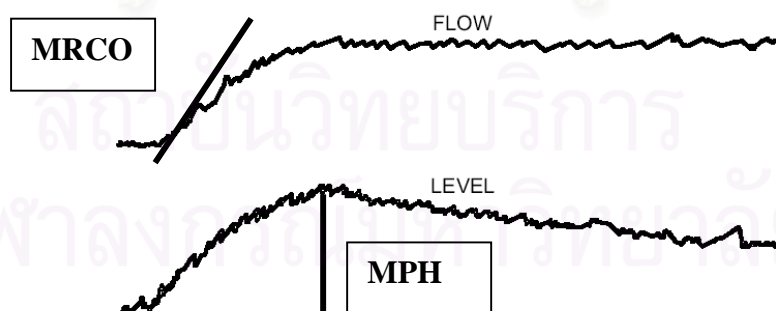
การควบคุมระดับจะแบ่งออกตามวัตถุประสงค์ได้ 2 แบบ คือ

- 1). การควบคุมระดับแบบแน่นนอน (Tight Level Control) เป็นการควบคุมระดับให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนดไว้ โดยจะถือว่าระดับในถังนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ส่วนการเปลี่ยนแปลงของการไหลเพื่อรักษาระดับนั้นไม่มีความสำคัญมากนัก โดยการควบคุมลักษณะนี้จะใช้การปรับค่าการไหลเพื่อให้ระดับเข้าสู่ค่าที่ต้องการ การควบคุมระดับแบบนี้ ก็เช่น การควบคุมระดับของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 4.1 วัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบแน่นอน

- 2). การควบคุมระดับแบบเฉลี่ย (Averaging Level Control) เป็นการควบคุมที่จะพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของการไหลออกเป็นสำคัญ โดยจะคอยควบคุมไม่ให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงและรวดเร็ว แต่จะค่อยๆให้เกิดการเปลี่ยนแปลงให้น้อยที่สุด ส่วนระดับของเหลวนั้นก็จะเป็นเพียงการควบคุมไม่ให้เกิดการล้นหรือลดลงกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้เท่านั้น เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการรบกวนต่อกระบวนการที่อยู่ต่อมา ซึ่งการควบคุมลักษณะนี้ก็จะเป็นการควบคุมระดับของของเหลวในถังพัก (Surge Tank) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังหน่วยสำคัญ (Critical Unit) เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการนั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่า จุดมุ่งหมายของการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยก็คือ การที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของการไหลขาออกจากถังพัก (Maximum rate of change in the outlet flow, MRCO) มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และควบคุมระดับของเหลวภายในถังพัก (Maximum peak height, MPH) ไม่ให้เกินกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.2 วัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการควบคุมระดับแบบแน่นอนกับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

ตัวแปร Variable	การควบคุมระดับแบบแน่นอน (Tight Level Control)	การควบคุมระดับแบบเฉลี่ย (Averaging Level Control)
ตัวแปรควบคุม : ระดับ	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรควบคุมควรมีค่าน้อยที่สุด	สามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมได้ภายในช่วงที่กำหนด เช่น 20-80 %
ตัวแปรปรับค่า : อัตราการไหล	สามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับได้ตามต้องการเพื่อควบคุมระดับของเหลวให้คงที่ตามที่ได้กำหนดไว้	ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับน้อยที่สุด โดยที่ควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงของระดับของของเหลวอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยกับการควบคุมระดับแบบแน่นอน

4.4 การออกแบบถังพักสำหรับอุตสาหกรรม

ขนาดของถังพักในอุตสาหกรรมจะมีผลโดยตรงกับสมรรถนะในการควบคุมกระบวนการ ดังนั้นการออกแบบถังพักจะต้องมีความสอดคล้องกับลักษณะของกระบวนการที่ใช้งาน โดย Thomas E. Marlin (1995) ได้เสนอวิธีการคำนวณขนาดของถังพักสำหรับการใช้งานใน อุตสาหกรรม โดยที่ขนาดของถังที่เลือกใช้จะขึ้นกับค่า ช่วงระดับความสูงที่สามารถยอมรับได้ และอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของการรบกวนกระบวนการ

โดยสามารถหาขนาดของถังได้จากสมการ

$$V_V = \frac{1.84(\Delta F_{MAX})^2}{\left. \frac{dF_{OUT}}{dt} \right|_{MAX}} \quad (4.1)$$

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้จัดสร้างชุดทดลองการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย โดย
บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ชุดทดลอง การเชื่อมต่อระหว่างชุดทดลองและ
คอมพิวเตอร์ รวมทั้งระบบควบคุม และการดำเนินการทดลอง

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 ชุดทดลองการควบคุมระดับของของเหลวแบบเฉลี่ย ประกอบด้วย

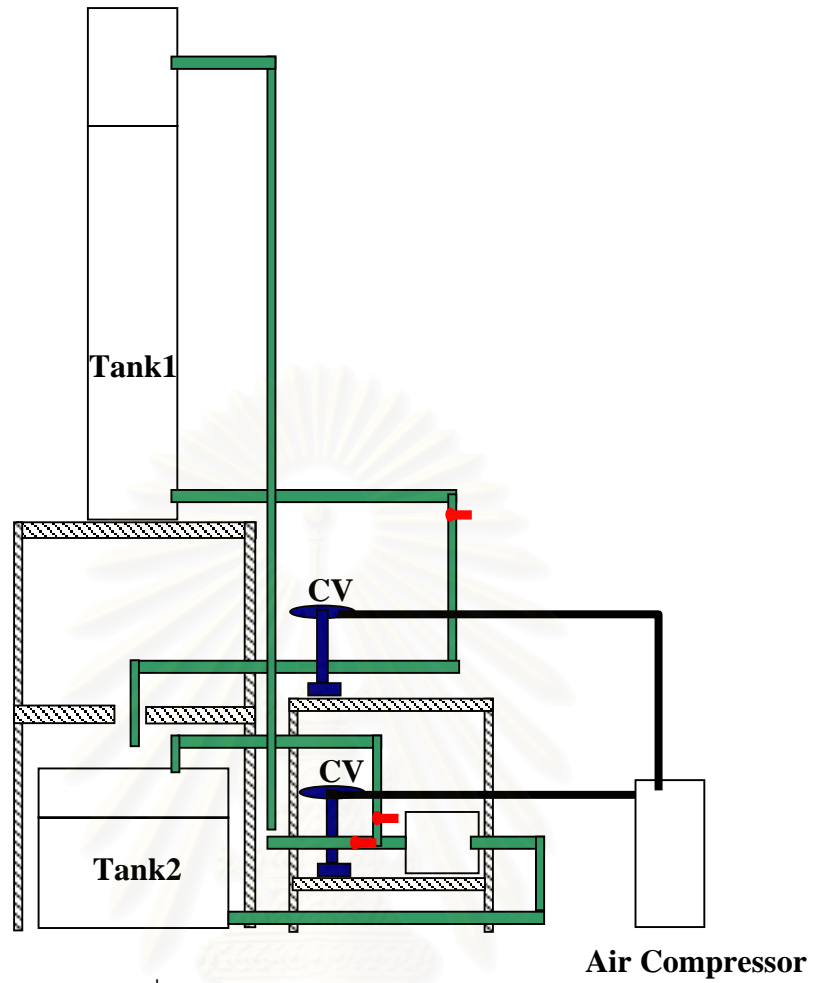
- | | |
|---|-------|
| ก. ถังอะครีลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 103 เซนติเมตร | 1 ถัง |
| ข. อุปกรณ์วัดระดับของเหลวด้วยระบบความดัน ช่วง 0 – 100 เซนติเมตร | 1 ชุด |
| ค. อุปกรณ์วัดความเร็วของการไหลของของเหลว ช่วง 0 - 5 เมตร | 1 ชุด |
| ง. วาล์วควบคุมอัตราการไหลของของเหลว
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 0.5 นิ้ว | 2 ชุด |
| จ. ปั้มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า | 1 ตัว |
| ง. ปั้มลม | 2 ตัว |

5.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมรุ่นเพนเทียม 1 1 เครื่อง

ขนาดหน่วยความจำแรม 64 เมกะไบต์ ซีพียู 233 เมกะเฮิร์ตซ์

5.1.3 ระบบเชื่อมต่อชุดทดลองและคอมพิวเตอร์

- | | |
|---|-------|
| ก. อินเตอร์เฟซการ์ด พีซีแอล-818
สัญญาณอะนาล็อกอินพุท 2 ช่องสัญญาณ
สัญญาณอะนาล็อกเอาต์พุท 2 ช่องสัญญาณ | 1 ชุด |
| ข. อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากกระแสเป็นความต่างศักย์ | 2 ชุด |
| ค. อุปกรณ์แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์เป็นกระแส | 2 ชุด |



รูปที่ 5.1 ภาพการออกแบบชุดทดลอง



รูปที่ 5.2 ถังน้ำอะคริลิกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.3 วาล์วควบคุมขนาด 0.5 นิ้ว



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของการไหล



รูปที่ 5.5 อุปกรณ์วัดระดับของเหลว



รูปที่ 5.6 ภาพชุดทดลองโดยรวม



รูปที่ 5.7 ชุดอุปกรณ์แปลงสัญญาณ



รูปที่ 5.8 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

5.2.1 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบควบคุม

อุปกรณ์และสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมประกอบด้วย

(1). ตัววัด

ก. ตัววัดระดับใช้หลักการของการวัดความดันที่กั้นถึงจากนั้นนำไปคำนวณเป็นความสูงโดยช่วงความสูงที่วัดคือ 0-100 เซนติเมตรน้ำ และส่งสัญญาณออกผ่านทรานสมิตเตอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์

ข. ตัววัดอัตราการไหล ใช้หลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถวัดความเร็วของการไหลของของเหลวได้ในช่วง 0-5 เมตร/วินาที และส่งสัญญาณออกผ่านทรานสมิตเตอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์

(2). อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ เป็นความต่างศักย์ 0-10 โวลต์

(3). สัญญาณเข้าจากตัววัดที่แปลงสัญญาณเป็นความต่างศักย์แล้วจะเข้าสู่อินเตอร์เฟซการ์ด พีซีแอล-818 ที่ช่องเชื่อมต่อ CN-1 โดยที่การ์ดพีซีแอล-818 จะมีชุดอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) ขนาด 12 บิต เพื่อเข้าสู่กระบวนการคำนวณของโปรแกรมควบคุมที่สร้างไว้ โดยสามารถกำหนดเวลาในการเก็บข้อมูล (Sampling Time) และแปลงสัญญาณได้ผ่านทางตัวโปรแกรมควบคุมได้โดยตรง

(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก.)

(4). เมื่อทำการคำนวณตามอัลกอริทึมของตัวควบคุมแล้วก็จะส่งค่าผลการควบคุมมาที่การ์ดพีซีแอล-818 เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลกลับเป็นอะนาล็อกขนาด 0-10 โวลต์ (Digital Analog Converter)

(5). ค่าความต่างศักย์ที่ออกจากการ์ดพีซีแอล-818 จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าขนาด 4 – 20 มิลลิแอมป์เพื่อส่งไปควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วควบคุม

5.2.2 การหาค่าการตอบสนองต่อสเต็ปของอินพุตต่อเอาต์พุต

เป็นการหาค่าการตอบสนองของอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่มีต่อระดับของของเหลวในถังพัก เพื่อนำไปใช้ในการสร้างไดนามิกแมทริกซ์สำหรับพัฒนาตัวควบคุมดีเอ็มซี

- ก. ปรับการควบคุมอัตราการใช้เชื้อเพลิงให้เป็นแบบแมนนวล (Manual)
- ข. ปรับให้ระดับของเหลวอยู่ในสถานะคงตัว โดยคงค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมไว้
- ค. ปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุม โดยการเพิ่มค่าความต่างศักย์ที่ส่งออกจากการ์ดพีซีแอล-818
- ง. เก็บข้อมูลตลอดการทดสอบ แล้วนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนองต่อสเต็ปของระบบ
- จ. ทำการทดลองซ้ำ เพื่อหาแบบจำลองที่ถูกต้องที่สุด

5.2.3 การทดสอบการควบคุมด้วยดีเอ็มซี

(1). การทดสอบความถูกต้องของตัวควบคุม

- ก. ทำการจำลองกระบวนการที่มีทรานเฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$G(s) = \frac{e^{-s}}{(10s+1)(5s+1)}$$

ลงในโปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นด้วย Visual C++

- ข. ใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นควบคุมกระบวนการจำลองข้างต้น
- ค. เปรียบเทียบผลการควบคุมกับตัวอย่างที่อยู่ในหนังสือ Process Dynamics and Control (Dale E. Seborg, 1989)

(2). การปรับค่าตัวควบคุมแบบดีเอ็มซี

- ก. จากข้อมูลที่ได้จากหัวข้อ 5.2.2 นำมาสร้างตัวควบคุมดีเอ็มซี
- ข. ทดสอบการทำงานของตัวควบคุม และปรับค่าด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าแฟกเตอร์น้ำหนัก จำนวนรอบเวลาในการทำงานของเอาต์พุต จำนวนรอบเวลาในการปรับตัวแปรปรับ และช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม

(3). การทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมดีเอ็มซี

- ก. ทดสอบด้วยตัวรบกวนระบบด้วยอัตราการไหลเข้าที่เพิ่มขึ้น 50%, 75% และ 100% หาค่า MPH และ MRCO เพื่อตรวจสอบสถานะของตัวควบคุม
- ข. ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลง 75% และ 100% ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบความทนทานของตัวควบคุมในกรณีที่แบบจำลองไม่ถูกต้อง
- ค. ทดสอบการควบคุมด้วยการใช้วิธีรูปกรวย (Funnel Approach) ด้วยอัตราการไหลเข้าที่เพิ่มขึ้น 50 %

5.2.4 การเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอ

การหาค่าพารามิเตอร์ K_c ของการควบคุมแบบพีและการหาค่าพารามิเตอร์ K_c และ τ_I ของการควบคุมแบบพีไอ สำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยสามารถหาได้โดยใช้หลักการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยแบบเชิงเส้น (Thomas E. Marlin, 1995) หลังจากนั้นก็จะทำการทดสอบกับระบบโดยใช้ตัวแปรรบกวน 75% และ 100% แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมดีเอ็มซี

บทที่ 6

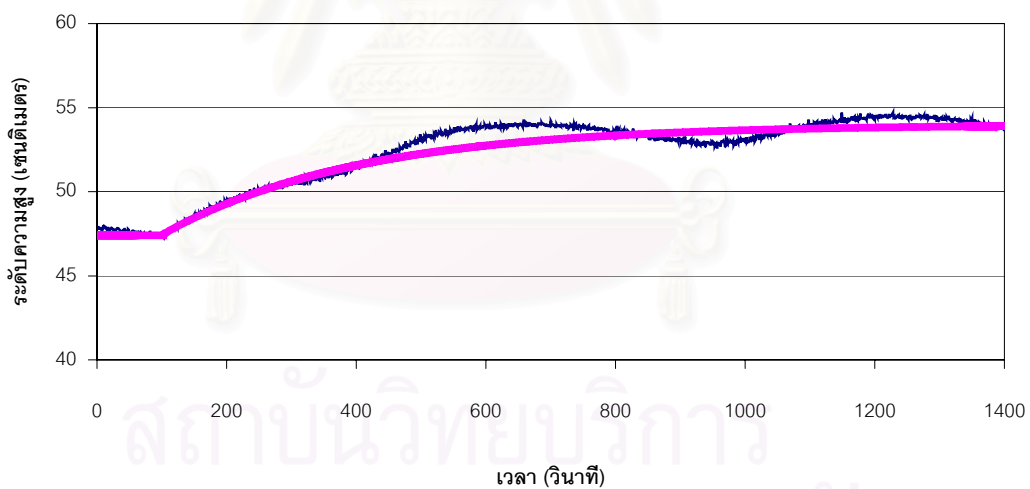
ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผล และสรุป

เมื่อได้ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทข้างต้นแล้ว ในบทนี้ได้นำผลการทดลองมาแสดงเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกรณี ก่อนที่จะนำไปสู่การสรุปผลและวิเคราะห์ถึงปัญหาในการวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาต่อไป

6.1 ผลการทดลอง

6.1.1 ผลการหาค่าการตอบสนองแบบสเต็ป

ทำการปรับระบบควบคุมให้เป็นแบบแมนวล (Manual) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากนั้นปรับลดการเปิดของวาล์วเพื่อให้หาค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนองแบบสเต็ป ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ลักษณะการตอบสนองแบบสเต็ป

นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยหลักการ fit 3 (Carlos A. Smith; Armando B. Corripio, 1977) จะสามารถหาค่าคงที่ของกระบวนการได้ดังนี้คือ มีค่าเวลาคงตัว (time constant, τ) 301.5 วินาที มีค่าไทม์ดีเลย์ (Time delay, θ) 3.5 วินาที และมีค่าเกนของ

กระบวนการ (Process Gain, K_p) เท่ากับ -32.5 ดังนั้นจะสามารถหาค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบได้เป็นดังนี้
$$\frac{-32.5e^{-3.5s}}{301.5s + 1} \quad (6.1)$$

นำค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ทำซ้ำพบว่าสามารถใช้แทนค่ากระบวนการได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามในภาพจะเห็นได้ว่าที่สภาวะคงตัว ตัวแฉีกทูเอเตอร์ของวาล์วควบคุมจะเกิดควบคุมคลาดเคลื่อนทำให้ค่าที่ได้มีความผิดพลาดเล็กน้อย

6.1.2 การตรวจสอบตัวควบคุม

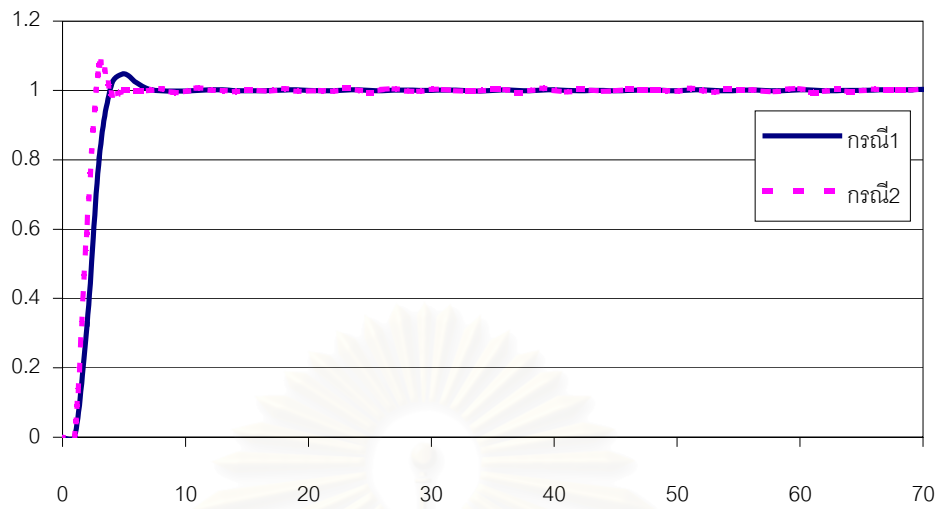
การตรวจสอบความถูกต้องของตัวควบคุมที่สร้างขึ้น จะใช้วิธีทำการควบคุมเปรียบเทียบกับกระบวนการตัวอย่างจากหนังสือ Process Dynamics and Control (Dale E. Seborg, 1989) โดยที่กระบวนการตัวอย่างมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาต์พุท ดังนี้

$$G(s) = \frac{e^{-s}}{(10s+1)(5s+1)} \quad (6.2)$$

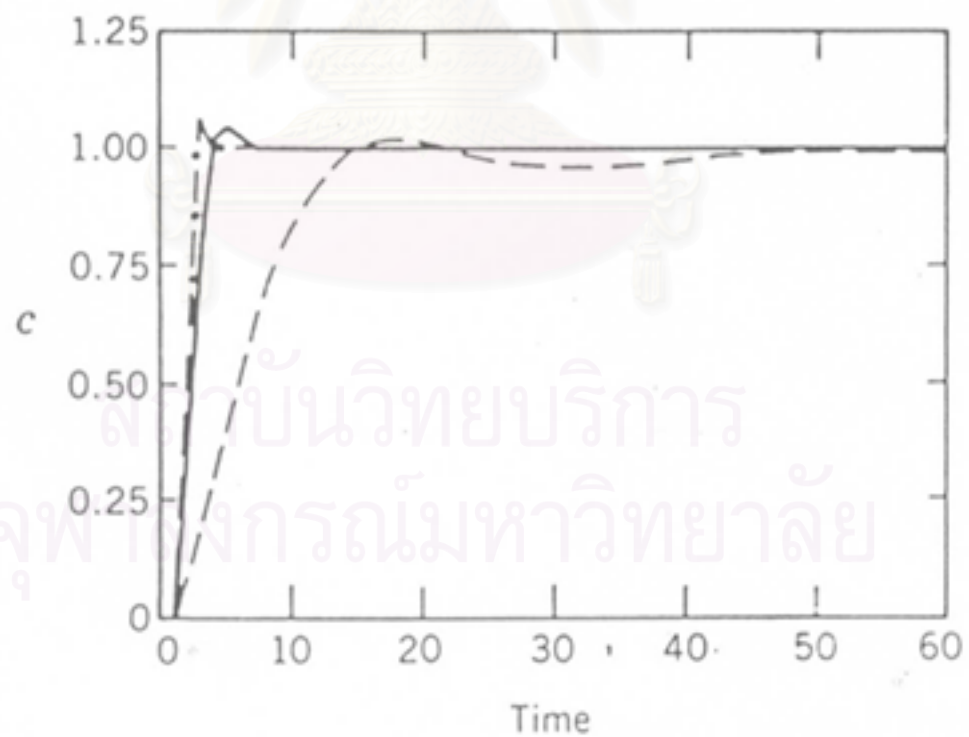
ซึ่งกรณีตัวอย่างนี้จะทำการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

- 1). การควบคุมแบบ DMC ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ $V = 3, U = 1, W2 = 0, T = 70, \Delta t = 1$
- 2). การควบคุมแบบ DMC ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ $V = 4, U = 2, W2 = 0, T = 70, \Delta t = 1$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

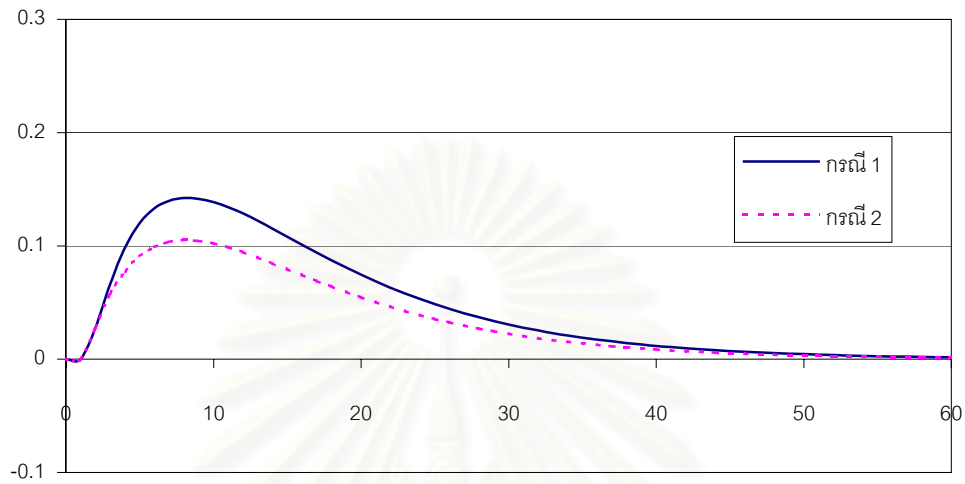


รูปที่ 6.2 ผลการควบคุมกระบวนการตัวอย่างด้วยดีเอ็มซี กรณีที่ 1 และ 2
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์

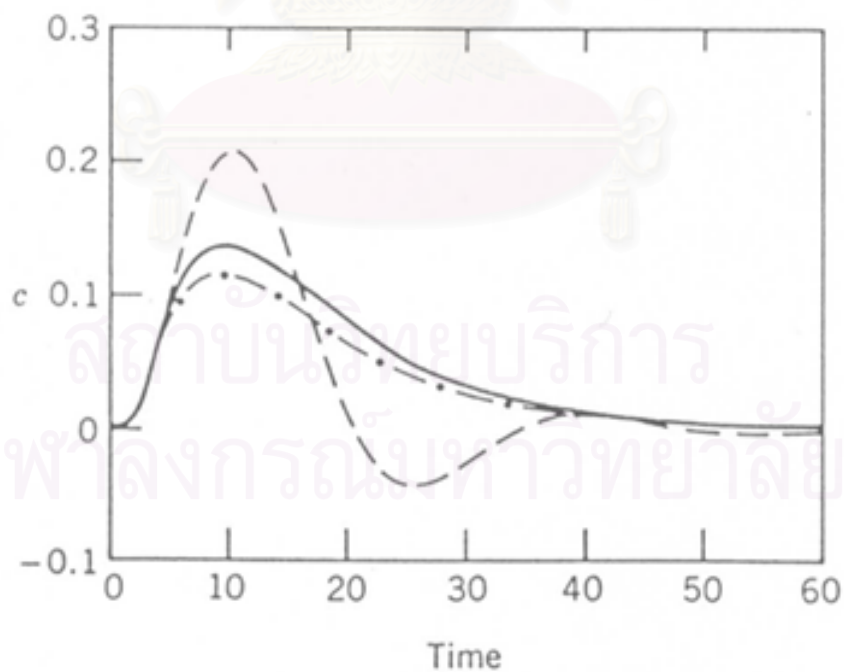


รูปที่ 6.3 ผลการควบคุมเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยน์จากหนังสืออ้างอิง

จากนั้นทดสอบการเปลี่ยนแปลงการรบกวนระบบ โดยให้ค่าเซ็ทพอยต์อยู่ที่ 0 แล้วเพิ่มค่าตัวแปรรบกวน 0.2 ซึ่งเป็นการทดลองสุ่มขึ้นเนื่องจากหนังสืออ้างอิงไม่ได้แสดงถึงค่าตัวแปรรบกวนของระบบ



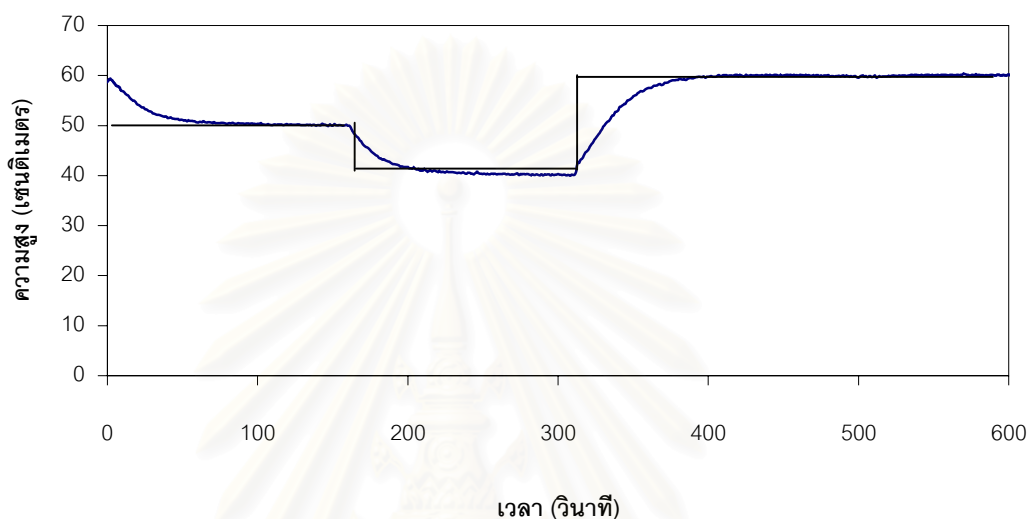
รูปที่ 6.4 ผลการควบคุมกระบวนการตัวอย่างด้วยดีเอ็มซี กรณีที่ 1 และ 2 เมื่อมีการรบกวนระบบ



รูปที่ 6.5 ผลการควบคุมเมื่อมีการรบกวนระบบจากหนังสืออ้างอิง

จากรูปการเปรียบเทียบข้างต้นจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถที่จะใช้ควบคุมกระบวนการตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์และเมื่อมีการรบกวนระบบ ได้ผลมีแนวโน้มดังเช่นหนังสืออ้างอิง

จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนองแบบสเต็ปมาทำการสร้างตัวควบคุมดีเอ็มซี แล้วนำไปทดสอบการควบคุมด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์



รูปที่ 6.6 ทดสอบตัวควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยต์

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการควบคุมการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยการทดสอบเปลี่ยนเซ็ทพอยต์นี้ทำเพียงเพื่อดูความสามารถในการควบคุมเท่านั้น จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนเซ็ทพอยต์กับตัวควบคุมชนิดอื่น และจากรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดีเอ็มซีนี้สามารถควบคุมระบบได้เป็นอย่างดี

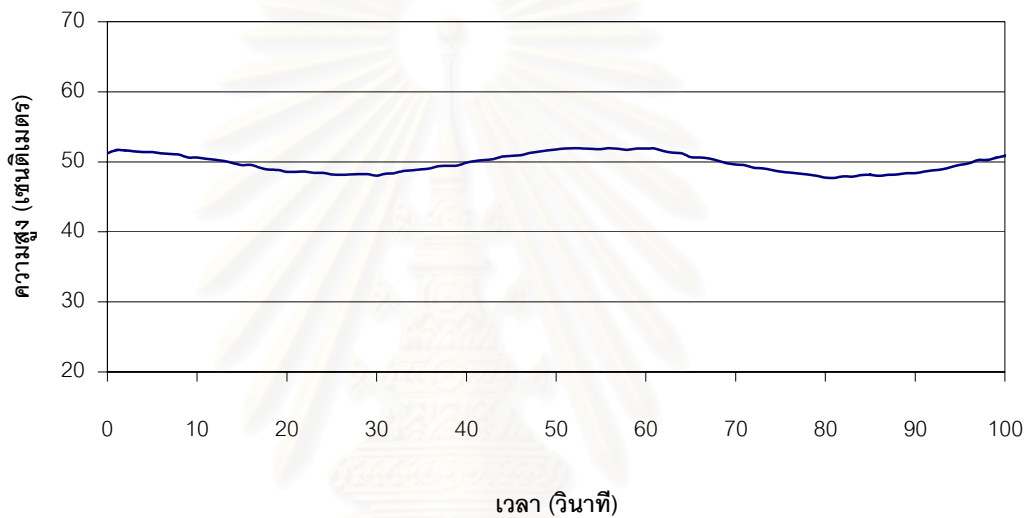
6.1.3 การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับตัวควบคุม

การควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจะใช้ตัวควบคุมชนิดเดียวกับการควบคุมระดับแบบแน่นอน แต่จะต้องเลือกค่าพารามิเตอร์การควบคุมให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย สำหรับตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการจูนค่าประกอบไปด้วย ค่าจำนวนช่วงเวลาในการปรับตัวแปรปรับ(U) ค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V) ค่าแฟกเตอร์น้ำหนัก (W2)

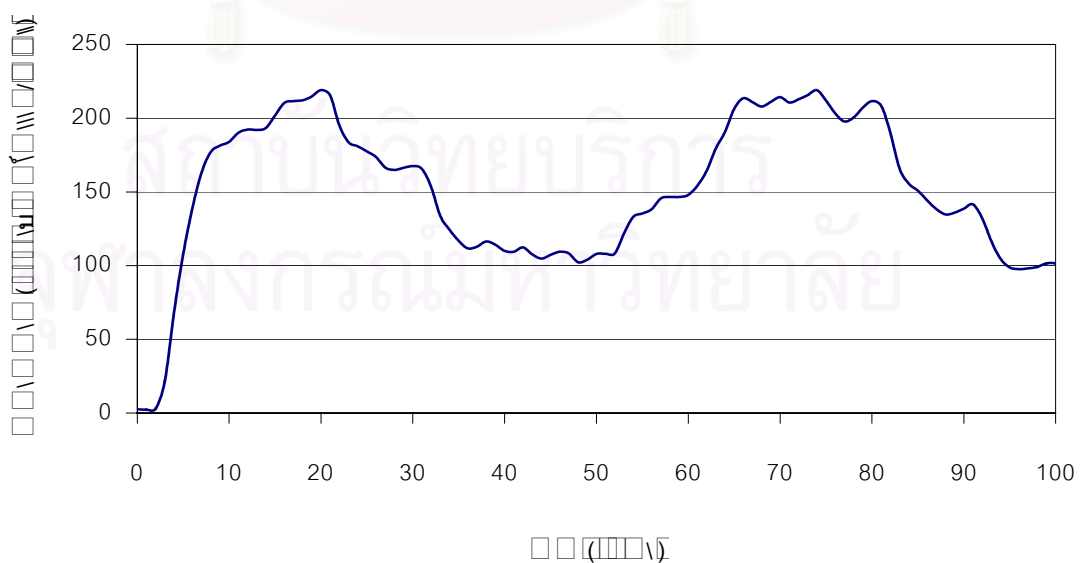
การเลือกค่าจำนวนช่วงเวลาในการปรับตัวแปรปรับ(U)

โดยปกติแล้วการเลือกค่า U มากขึ้นจะทำให้การควบคุมเข้าสู่เซ็ทพอยต์ได้เร็วขึ้น แต่ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการแกว่งที่รุนแรงเกินไป โดยทฤษฎีแล้วการเลือกค่า U จะพิจารณาจากทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ ซึ่งค่า U ที่ควรใช้จะมีค่าเท่ากับจำนวนอนุพันธ์สูงสุดของระบบ - 1

โดยงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการอนุพันธ์อันดับที่ 1 จึงเหมาะกับการใช้ค่า U เท่ากับ 1 โดยได้ทดสอบเลือกค่า U = 2 เพื่อดูว่าสามารถควบคุมได้ดีหรือไม่



รูปที่ 6.7 ระดับความสูงของของเหลวเมื่อทดสอบการควบคุมเมื่อเลือกค่า U = 2



รูปที่ 6.8 อัตราการไหลของของเหลวเมื่อทดสอบการควบคุมเมื่อเลือกค่า U = 2

จากรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 จะแสดงให้เห็นได้ว่าการเลือก $U = 2$ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับที่รุนแรงเกินไป ดังนั้นควรที่จะเลือกใช้ค่า $U = 1$ ซึ่งก็สอดคล้องกับทางทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้น

การเลือกค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V)

สำหรับค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V) จะใช้ในการคำนวณการอปติไมเซชัน ซึ่งจะมีผลกับขนาดของเวกเตอร์ของค่าเกณฑ์ K_c ดังสมการที่ 3.54 การเพิ่มค่า V จะทำให้เกิดการคงสภาพของคอนโทรลแอกชั่น โดยค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เล็กน้อย มีผลให้ระยะเวลาการเข้าสู่เซ็ทพอยต์ยาวนานขึ้นแต่ก็จะเกิดความเสถียรมากขึ้น อย่างไรก็ตามก็จะทำให้มีใช้งานทรัพยากรของเครื่องควบคุมมากขึ้นด้วย ดังนั้นในการควบคุมโดยทั่วไปจึงควรเลือกค่า V ให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งานเนื่องจากถ้าเพิ่มค่า V มากเกินไปอาจจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานเกินไป แต่สำหรับงานวิจัยนี้การเพิ่มค่า V มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมเนื่องจากต้องการให้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับเกิดขึ้นทีละน้อยและใช้เวลาในการเข้าสู่เซ็ทพอยต์นานขึ้น สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มค่าของตัวแปร V จะทำให้การควบคุมระดับแบบเฉลี่ยได้ผลดีมากขึ้น

การเลือกค่าเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (W2)

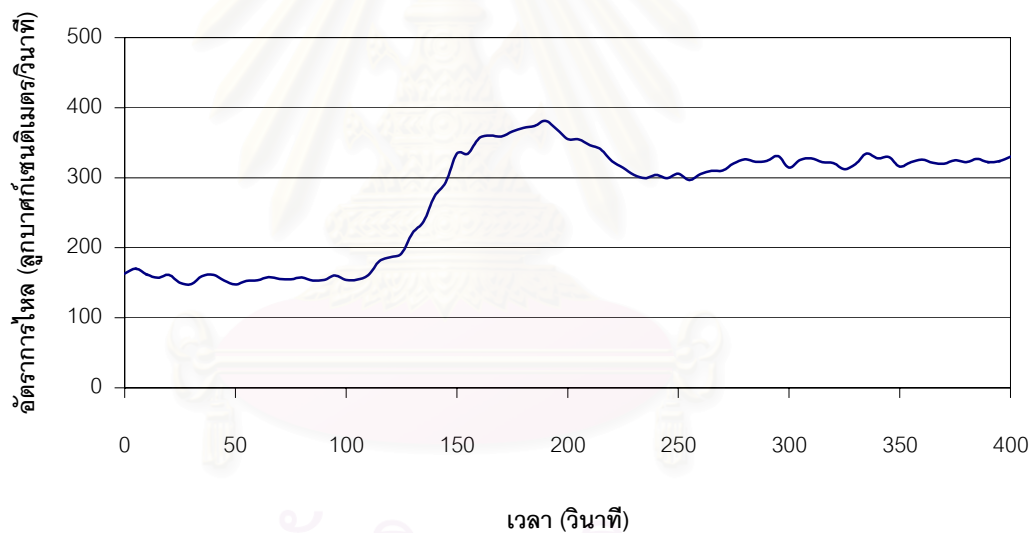
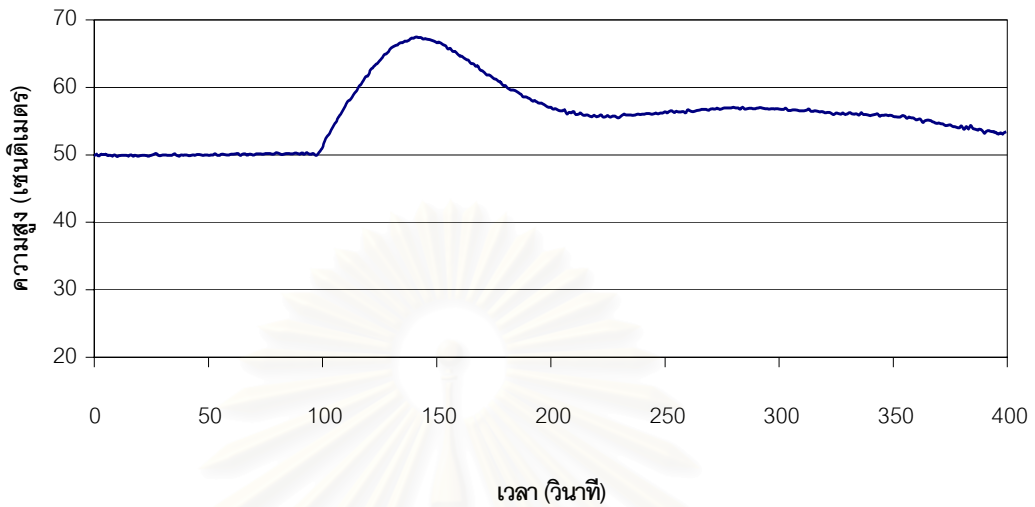
เวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (W2) จะใช้สำหรับการปรับจูนละเอียด โดยการเพิ่มค่า W2 จะเป็นการให้ความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่า W2 จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับลดความรุนแรงลง ซึ่งก็สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

สำหรับการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะใช้หลักการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยสำหรับตัวควบคุมแบบดีเอ็มซี (K.A.M c DONALD ; T.J. M c AVOY , 1986)

โดยทำการ Trial and Error. เพื่อหาค่า U, V, W2 ที่เหมาะสมโดยจะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการควบคุมต่อไปนี้

- 1). ความสูงของระดับสูงสุด (Maximum Peak Height, MPH)
- 2). การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลขาออกสูงสุด (Maximum Rate of Change in Outflow, MRCO)

โดยในขั้นแรกทำการกำหนดค่า MPH ให้มีค่าประมาณ 70 เซนติเมตรสำหรับ 100% ของการไหลขาเข้า และกำหนดให้ $V=10$, $U=1$, $W_2=30$ ทำให้ได้ผลการควบคุมดังรูป



รูปที่ 6.9 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V=10$, $U=1$, $W_2=30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

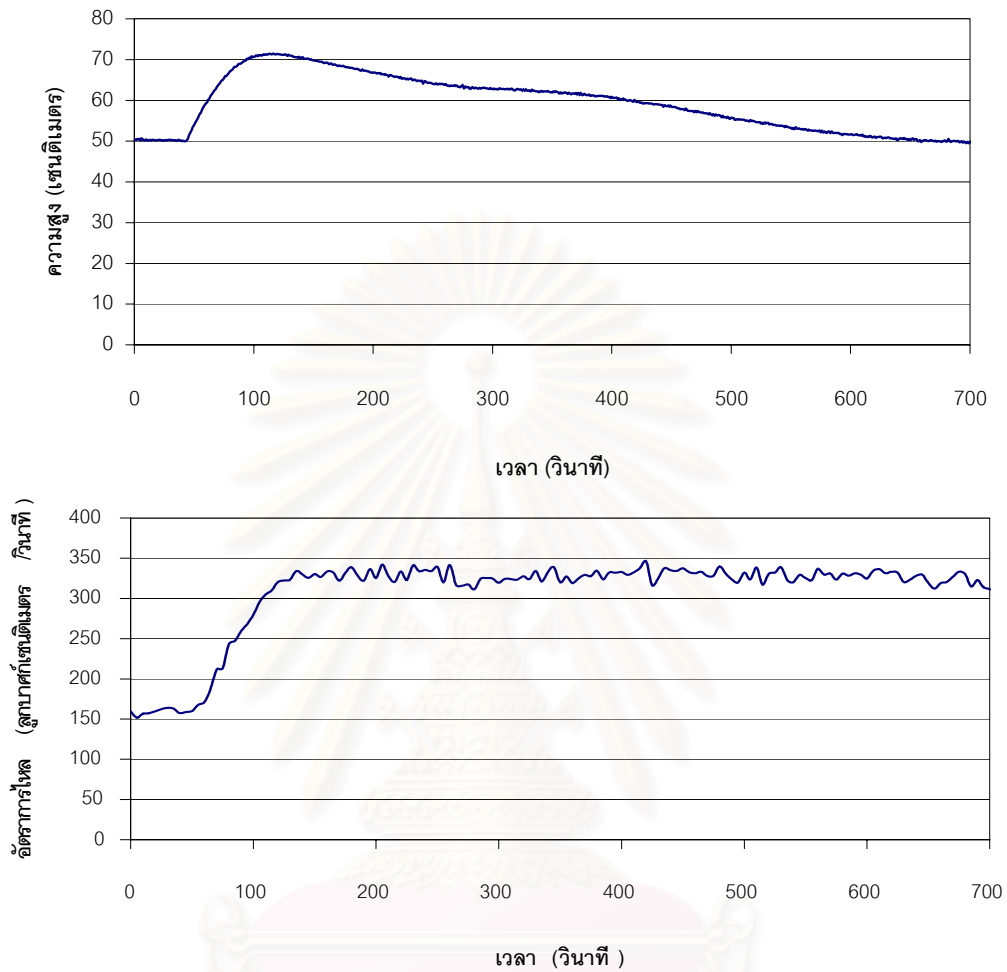
ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 67.5 เซนติเมตร

MRCO = 8.27 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

จากรูปที่ 6.9 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมโดยใช้ DMC หากค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุต (V) มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ระบบเกิดการโอเวอร์ชูต และมีการแกว่งของการไหลของสารขาออก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาต์พุต (V)

ต่อมาทำการควบคุมโดยคงค่า $V = 10$, $U = 1$, $W_2 = 30$ แต่เพิ่มค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V) ให้เป็น 30



รูปที่ 6.10 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 30$, $U = 1$, $W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

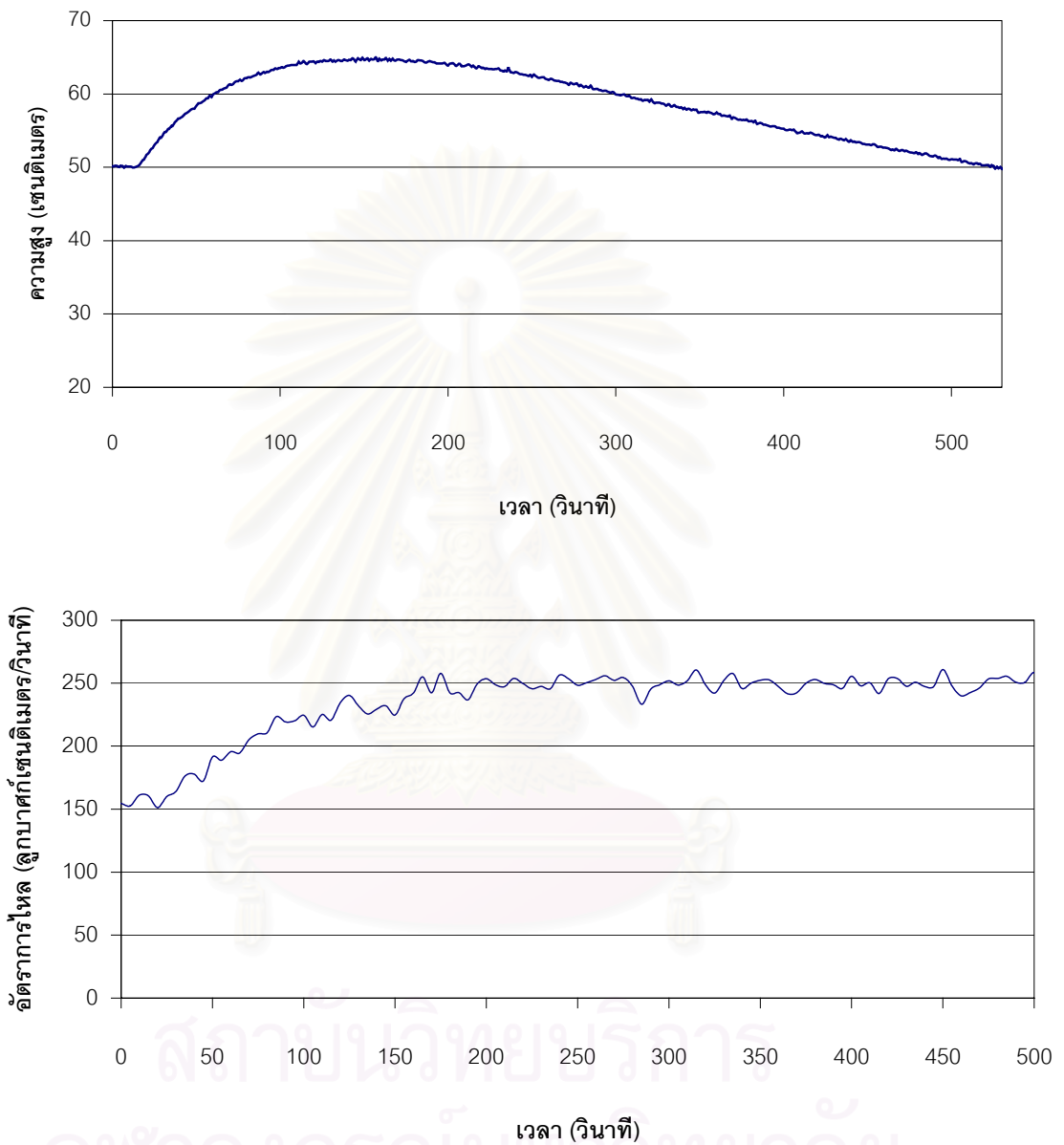
ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$$\text{MPH} = 71.43 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{MRCO} = 6.03 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที}$$

จากรูปที่ 6.10 จะเห็นได้ว่าไม่มีส่วนโอเวอร์ชูตของตัวแปรปรับแล้ว และค่า MRCO ที่ได้มีค่าน้อยลงนั้นหมายถึงการควบคุมทำได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V) จะส่งผลให้ค่าของ MPH มีค่าสูงขึ้นด้วย

จากนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท (V) เป็น 40 แล้วทำการทดสอบกับการรบกวนการไหลขาเข้าขนาดต่างๆ ทั้งหมด 3 ค่า คือ 50%, 75% และ 100% ของอัตราการไหลขาเข้า

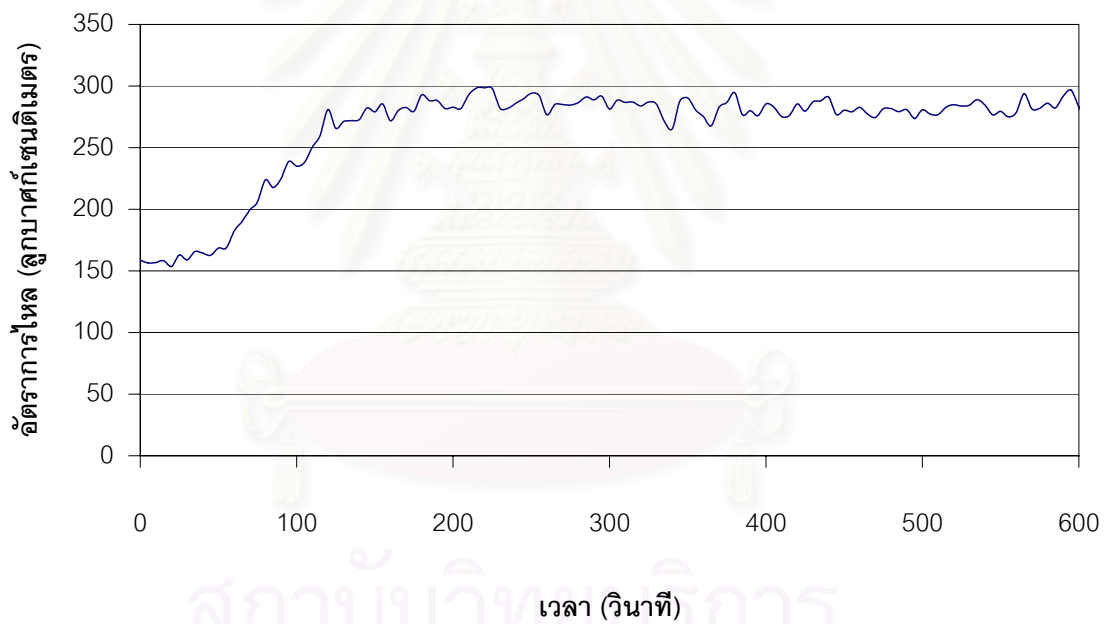
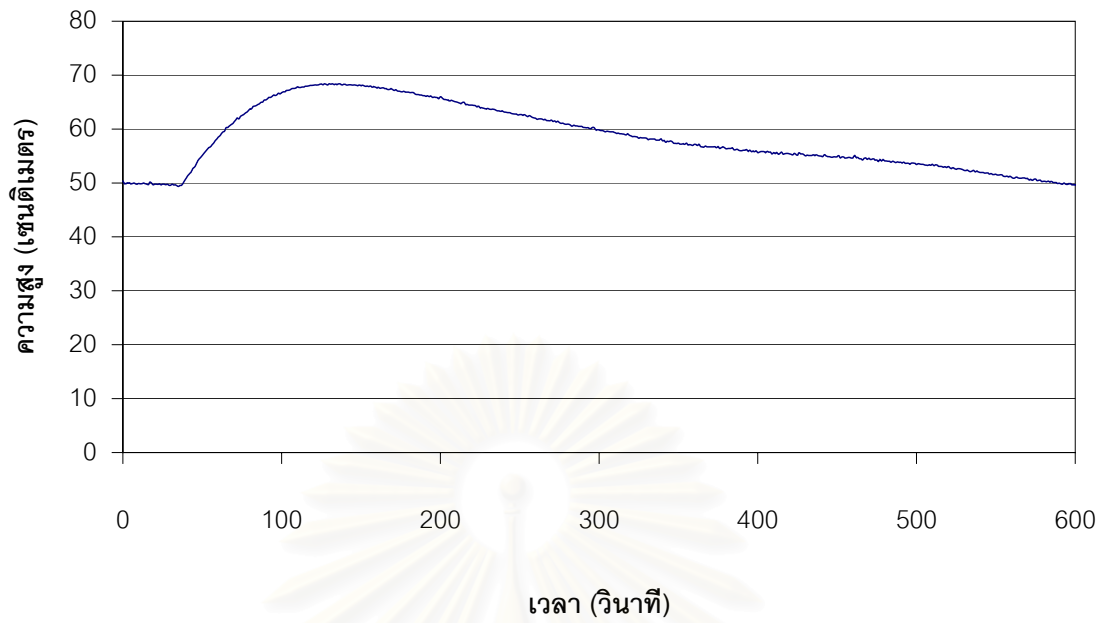


รูปที่ 6.11 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V=40$, $U=1$, $W_2=30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$MPH = 64.90$ เซนติเมตร

$MRCO = 3.82$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

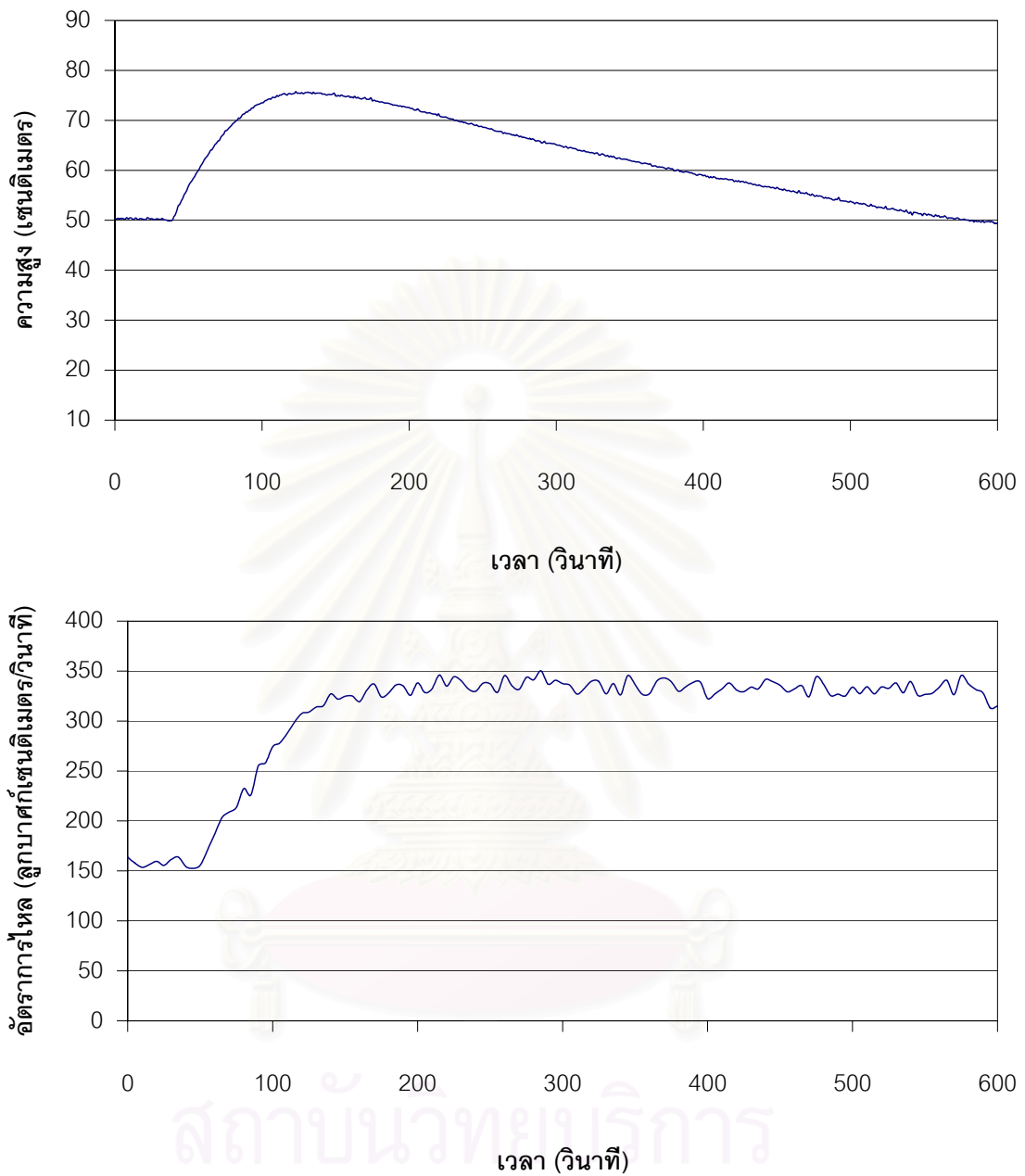


รูปที่ 6.12 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V = 40$, $U = 1$, $W_2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$MPH = 68.39$ เซนติเมตร

$MRCO = 4.54$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที



รูปที่ 6.13 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V=40$, $U=1$, $W2=30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 75.74 เซนติเมตร

MRCO = 5.52 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

เมื่อนำมาสรุปเป็นตารางแสดงผลจะได้ผลดังนี้

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม	MPH (cm.)	MRCO (cm ³ /s/s)
V = 10, U=1, W2=30 Disturbance 100%	67.5	8.27
V = 30, U=1, W2=30 Disturbance 100%	71.43	6.03
V = 40, U=1, W2=30 Disturbance 50%	65	3.82
V = 40, U=1, W2=30 Disturbance 75%	68.39	4.54
V = 40, U=1, W2=30 Disturbance 100%	75.74	5.52

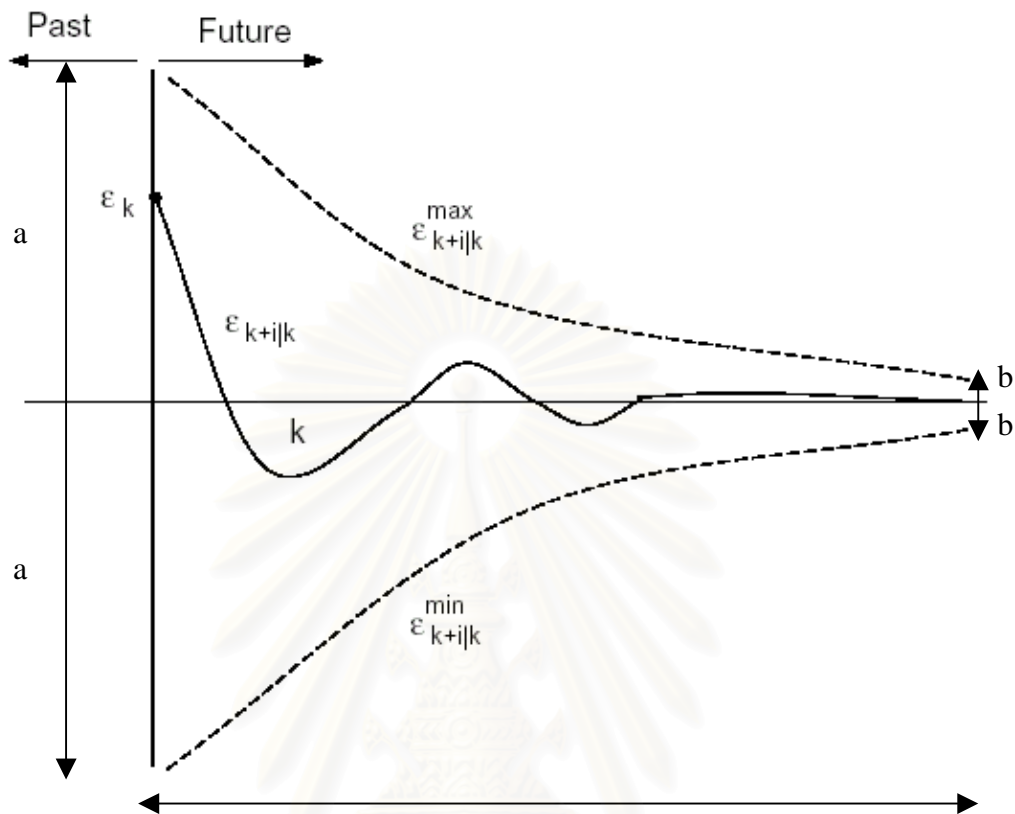
ตารางที่ 6.1 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

จากตารางที่ 6.1 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มค่า V จะทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) มีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันความสูงของระดับสูงสุด (MPH) จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ V ควรจะคำนึงถึงค่า MPH ด้วยเนื่องจากการเพิ่มค่า V มากเกินไปอาจจะทำให้ระดับสูงเกินกว่าที่กำหนดได้

6.1.4 การควบคุมโดยใช้วิธีรูปกรวย (Funnel Approach)

นอกจากการปรับค่าพารามิเตอร์โดยการควบคุมแบบปกติแล้ว การควบคุมระดับแบบเฉลี่ยยังสามารถปรับจูนได้อีกวิธีหนึ่ง นั่นคือ การควบคุมโดยใช้วิธีรูปกรวย เนื่องจากโดยปกติแล้วตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีจะทำการทำนายค่าตัวแปรควบคุมแล้วนำไปเทียบกับเซ็ทพอยต์ ซึ่งมักจะเป็นค่าคงที่ แต่เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยไม่ได้ต้องการให้เข้าสู่เซ็ทพอยต์เร็วเกินไป จึงจำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรปรับเกิดขึ้นที่ละน้อย

ทำให้มีการคิดค้นวิธีที่จะให้การเข้าสู่เซ็ทพอยต์เป็นไปอย่างช้าๆและราบเรียบ โดยการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยต์จากค่าคงที่เป็นวิธีรูปกรวยและหากค่าตัวแปรควบคุมที่ทำนายได้อยู่ในช่วงรูปกรวยก็จะถือว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 0 ซึ่งวิธีใช้ได้กับตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟเท่านั้น เนื่องจากตัวควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความสามารถทำนายค่าตัวแปรควบคุมได้ล่วงหน้า โดยการกำหนดเซ็ทพอยต์เป็นวิธีรูปกรวยนี้ทำให้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรควบคุมค่อยๆเข้าสู่ค่าสุดท้ายที่กำหนดไว้ วิธีนี้จะทำให้การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของดีเอ็มซีง่ายขึ้น เพราะสามารถเลือกปรับจูนค่าเฉพาะ U, V ได้จากนั้นก็เพียงกำหนดขอบเขตของวิธีรูปกรวยตามต้องการ



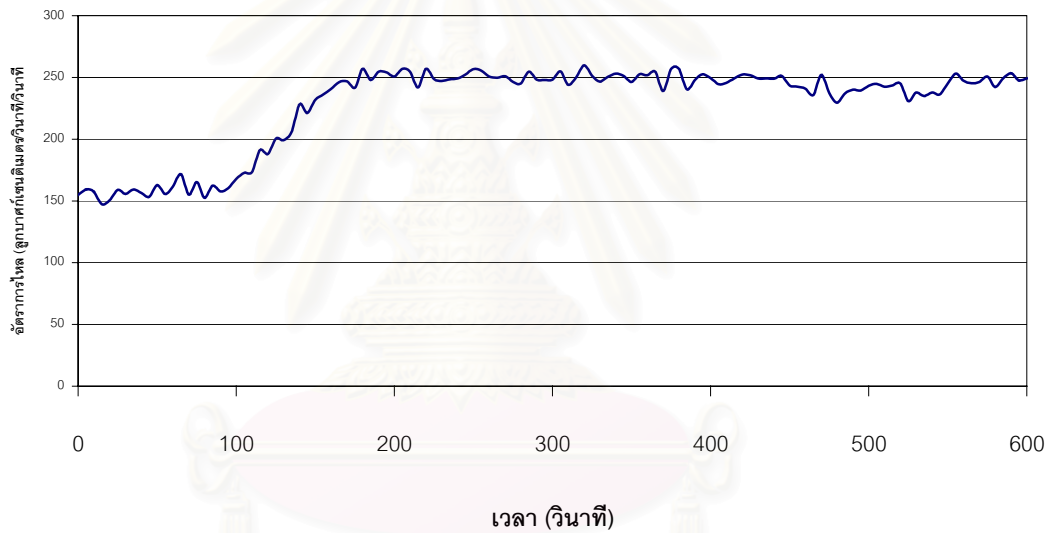
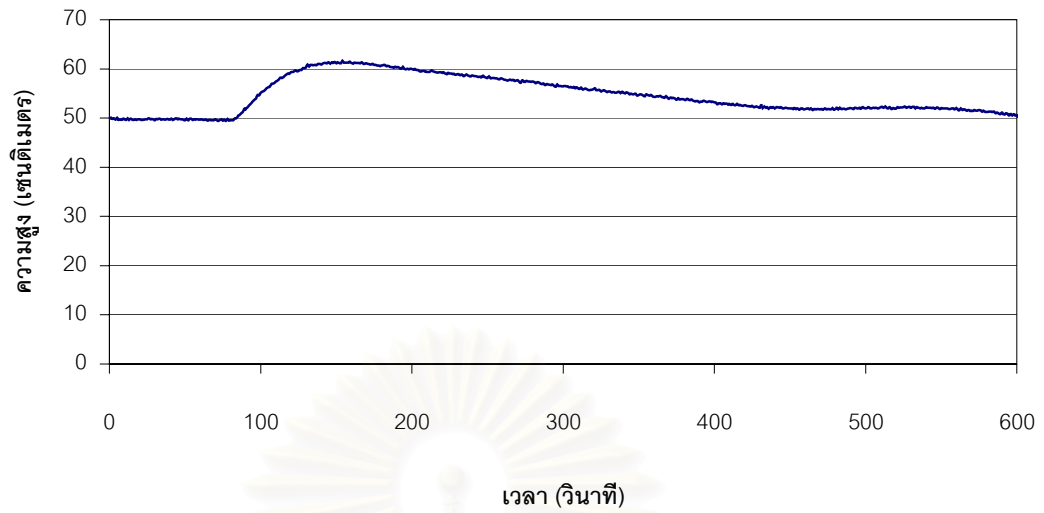
รูปที่ 6.14 การกำหนดเซ็ทพอยต์เป็นวิธีรูปกรวย (K.A.McDONALD; T.J. McAVOY, 1986)

จากรูปที่ 6.14 การปรับจูนค่าจะมีการกำหนดขนาดของ a และ b เพื่อเป็นของเขตของวิธีรูปกรวย โดยความยาวของวิธีรูปกรวยนี้จะเท่ากับค่า $V\Delta t$ หรือระยะเวลาในการทำนายของตัวควบคุม

จากนั้นได้ทำการทดสอบตัวควบคุมดีเอ็มซีด้วยระบบวิธีรูปกรวย

โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 10, W_2 = 0$ และกำหนดช่วงวิธีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$
 2. กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 15, W_2 = 0$ และกำหนดช่วงวิธีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$
 2. กำหนดให้ค่า $U = 1, V = 25, W_2 = 0$ และกำหนดช่วงวิธีรูปกรวยเป็น $a = 20, b = 0$
- เพื่อเปรียบเทียบการเพิ่มค่า V ว่ามีผลกับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยอย่างไร

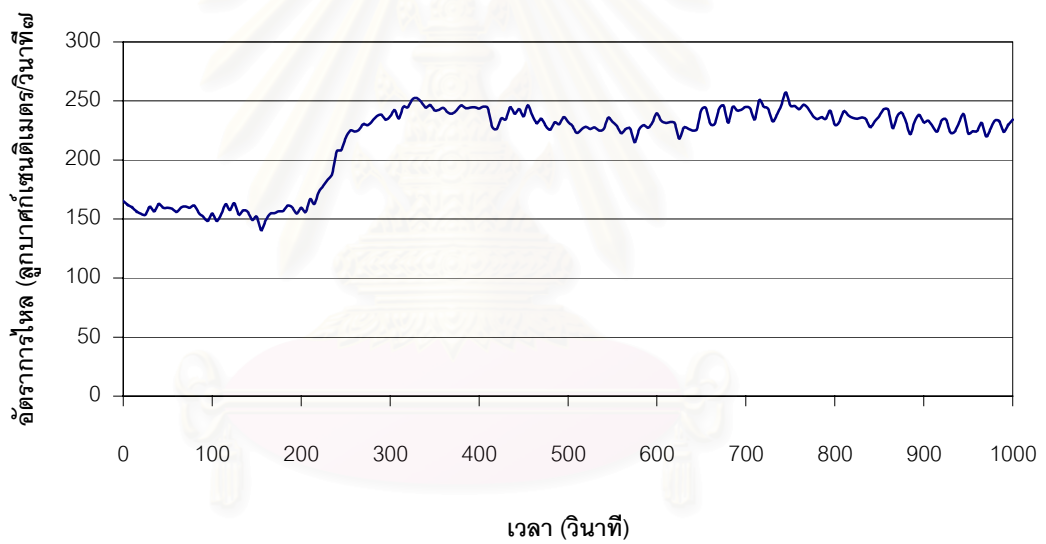
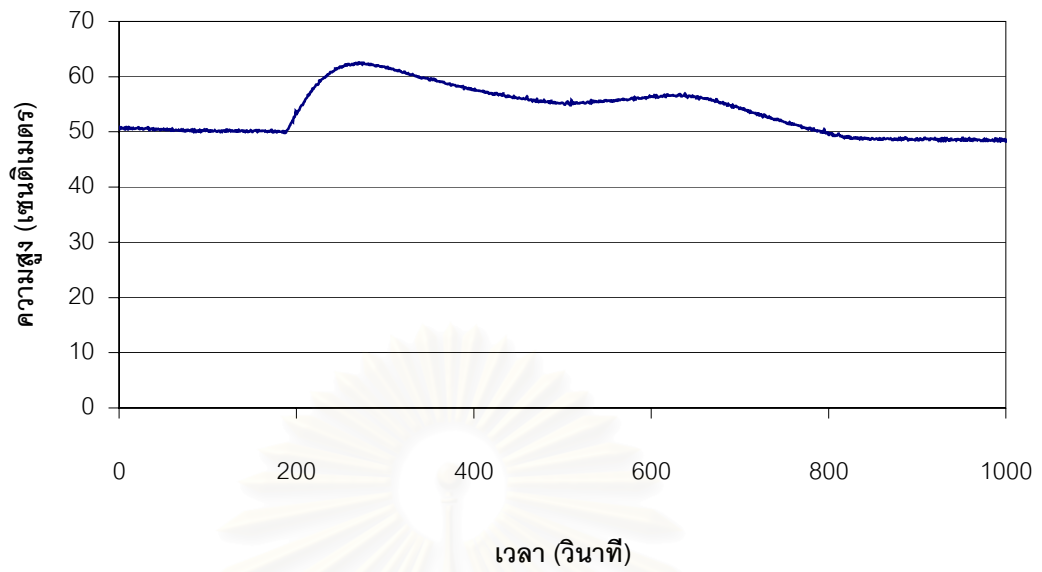


รูปที่ 6.15 กำหนดให้ค่า $U = 1$, $V = 10$, $W = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20$, $b = 0$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 61.68 เซนติเมตร

MRCO = 5.37 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

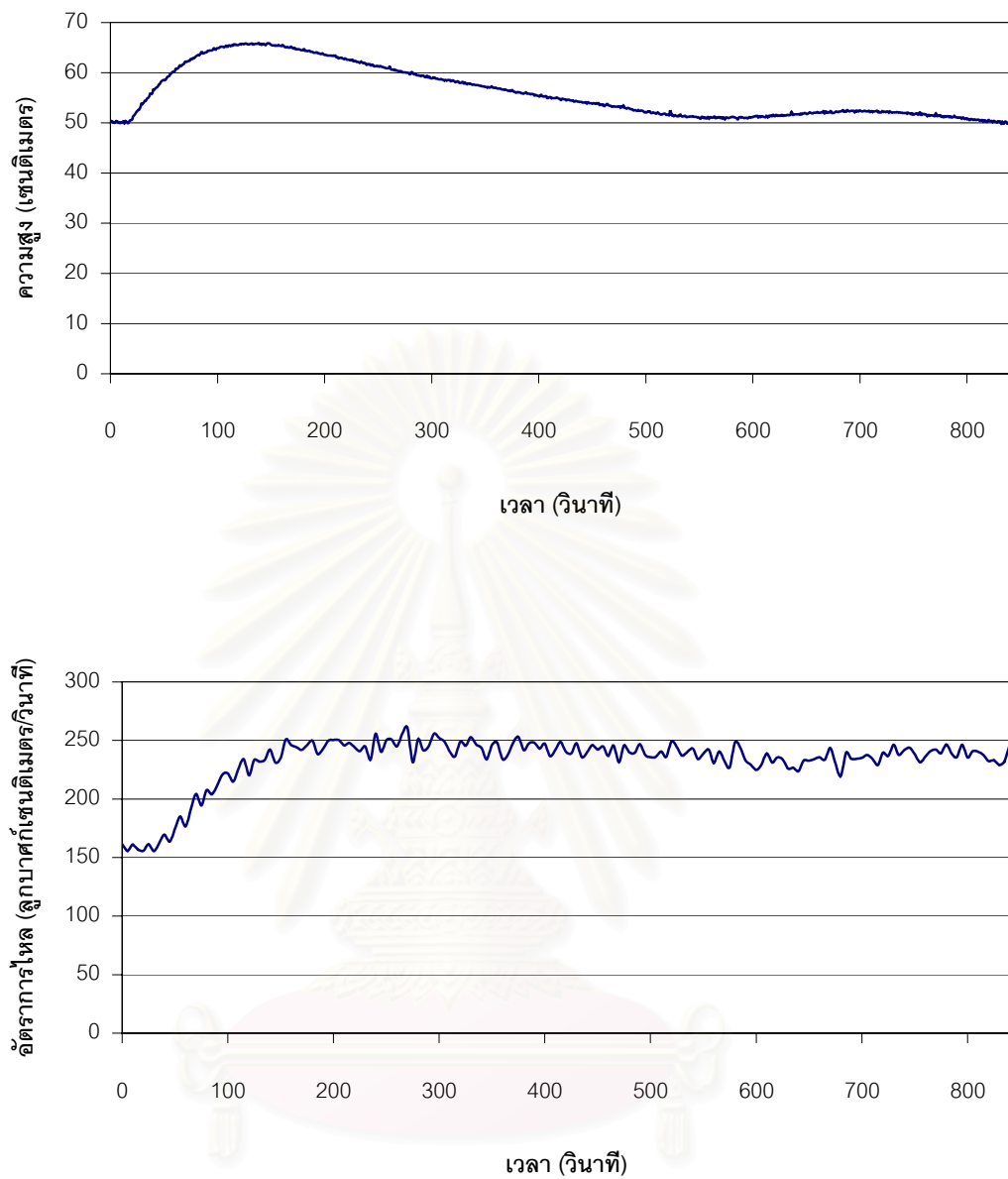


รูปที่ 6.16 กำหนดให้ค่า $U = 1$, $V = 15$, $W_2 = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20$, $b = 0$
โดยมีการรบกวนขาเข้า 50%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$MPH = 62.60$ เซนติเมตร

$MRCO = 4.85$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที



รูปที่ 6.17 กำหนดให้ค่า $U = 1$, $V = 15$, $W_2 = 0$ และกำหนดช่วงวิถีรูปกรวยเป็น $a = 20$, $b = 0$
โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 65.86 เซนติเมตร

MRCO = 3.92 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม	MPH (cm.)	MRCO (cm ³ /s/s)
U=1, V=10, W2=0, a =20, b=0, Disturbance 50% (การจูนแบบวิธีรูปกรวย)	61.68	5.37
U=1, V=15, W2=0, a = 20, b=0, Disturbance 50% (การจูนแบบวิธีรูปกรวย)	62.60	4.85
U=1, V=25, W2=0, a = 20, b=0, Disturbance 50% (การจูนแบบวิธีรูปกรวย)	65.86	3.92
U=1, U=40, W2=30, Disturbance 50% (การจูนปกติ)	65	3.82

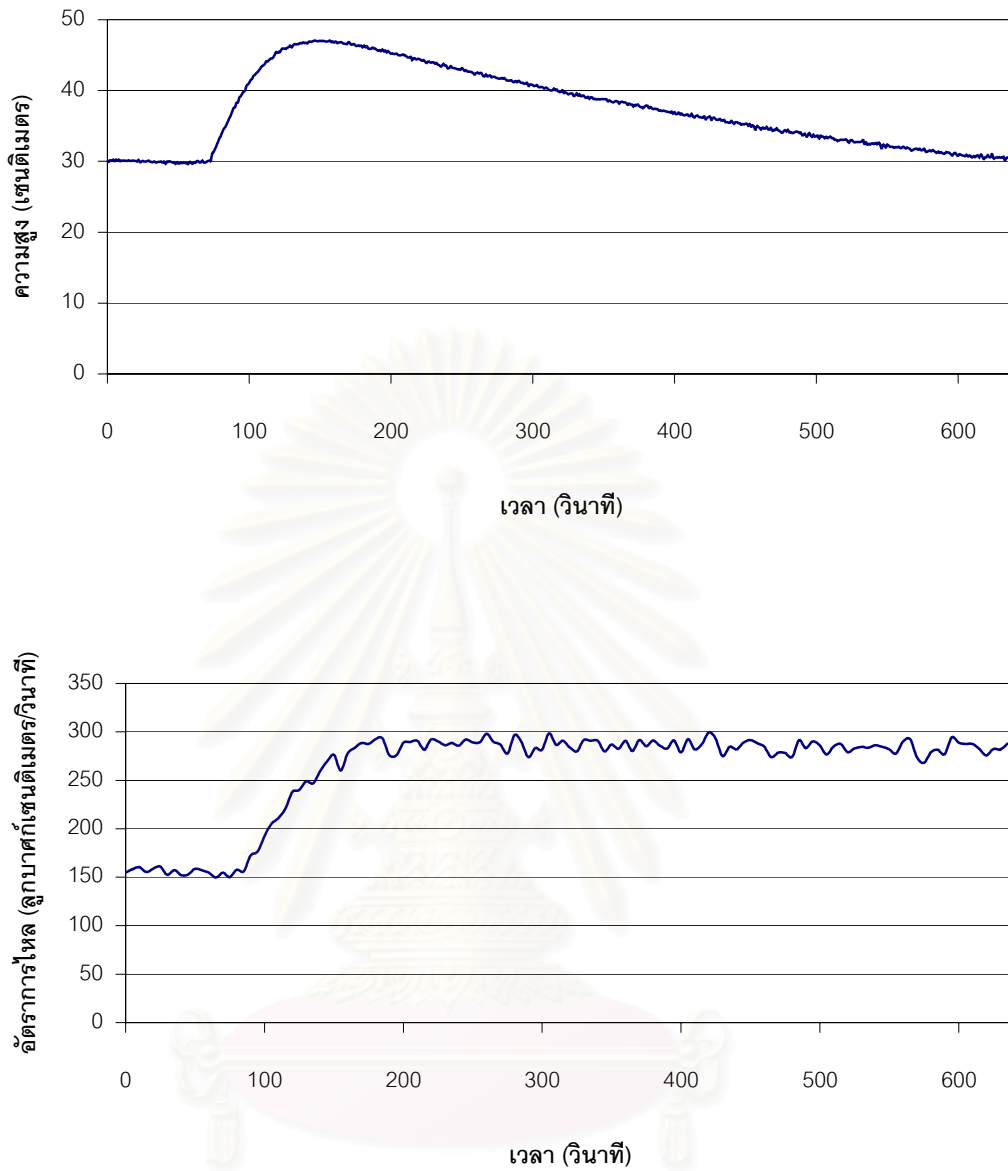
ตารางที่ 6.2 สรุปผลการทดลองการควบคุมด้วยวิธีรูปกรวย

จากตารางที่ 6.2 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มค่า V มีผลต่อการควบคุมในลักษณะเดียวกับการควบคุมแบบปกติ โดยที่จะทำให้ค่า MRCO ลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ค่า MPH สูงขึ้น ซึ่งนี่ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการใช้งานตัวควบคุมดีเอ็มซีสำหรับควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หรือทำการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยต์ให้เป็นวิธีรูปกรวย โดยการใช่วิธีรูปกรวยจะเห็นได้ว่าที่ $V = 25$ ผลการควบคุม MRCO จะมีความใกล้เคียงกับการควบคุมแบบปกติที่ใช้ $V = 40$ ซึ่งสามารถที่จะลดการใช้ทรัพยากรในการคำนวณลงไปได้

6.1.5 การทดสอบความทนทานของตัวควบคุม

เนื่องจากตัวควบคุมดีเอ็มซีเป็นตัวควบคุมที่อ้างอิงกับแบบจำลอง ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วเป็นตัวควบคุมที่มีความทนทาน (Robustness) ไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบตัวควบคุมที่สร้างขึ้น โดยนำไปควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ความสูงของถัง 30 cm. โดยใช้แบบจำลองซึ่งหาจากการทดลองที่ความสูงของถัง 50 cm. โดยทำการทดสอบในเงื่อนไขเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ 2 กรณีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

1. $V = 40, U=1, W2=30$ Disturbance 75%
2. $V = 40, U=1, W2=30$ Disturbance 100%

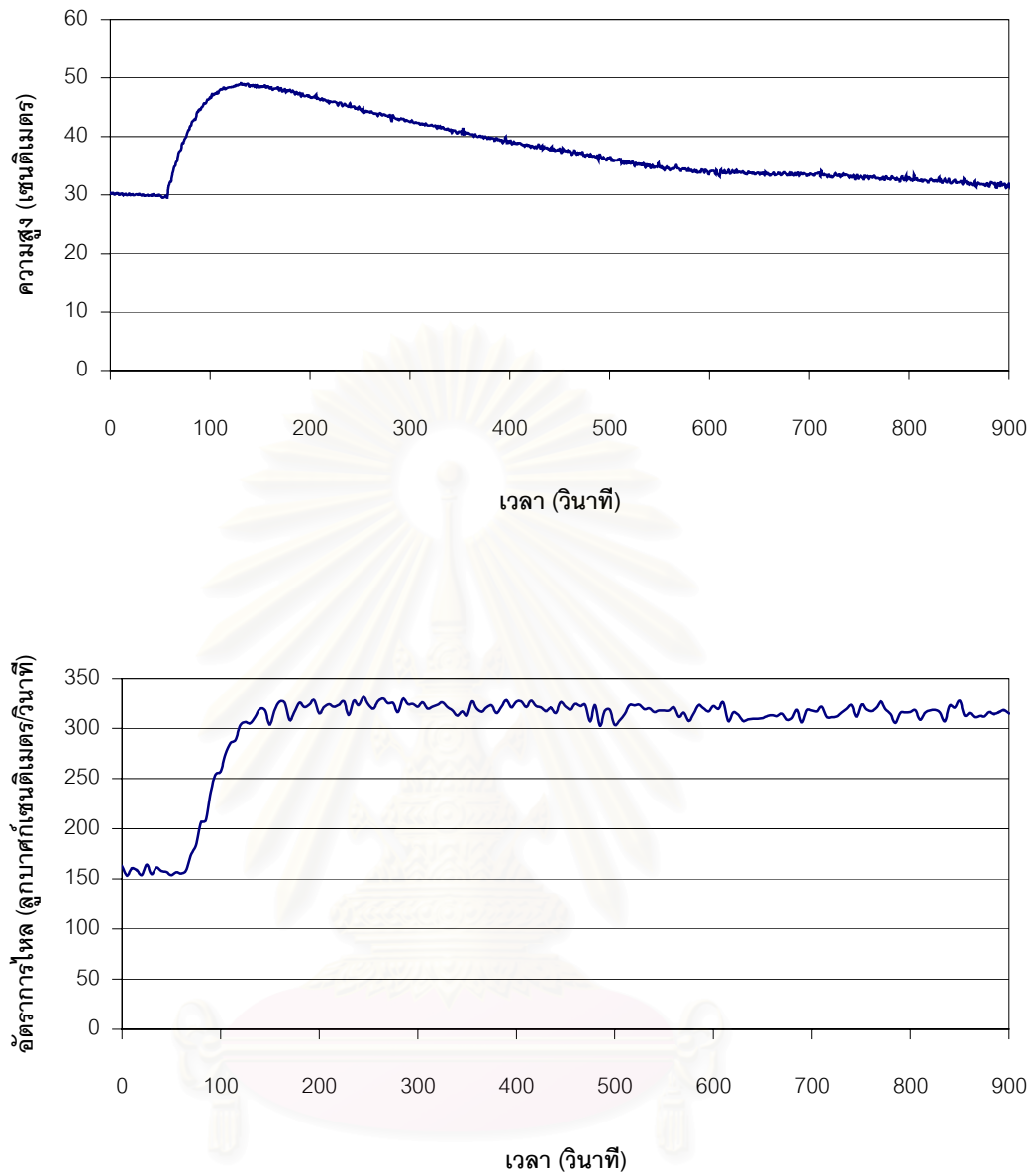


รูปที่ 6.18 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V=40$, $U=1$, $W2 = 30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75% ที่ความสูง 30 เซนติเมตร

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$$MPH = 48.54 \text{ เซนติเมตร}$$

$$MRCO = 5.07 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที}$$



รูปที่ 6.19 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $V=40$, $U=1$, $W_2=30$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100% ที่ความสูง 30 เซนติเมตร

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

$MPH = 49.09$ เซนติเมตร

$MRCO = 5.95$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม	MPH (cm.)	MRCO (cm ³ /s/s)
V = 40, U=1 ,W2=30 Disturbance 75% ที่ 30 cm.	48.54	5.07
V = 40, U=1 ,W2=30 Disturbance 75% ที่ 50 cm.	68.39	4.54
V = 40, U=1 ,W2=30 Disturbance 100% ที่ 30 cm.	49.09	5.95
V = 40, U=1 ,W2=30 Disturbance 100% ที่ 50 cm.	75.74	5.52

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดลองการทดสอบความทนทาน

จากตารางที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้นนั้นสามารถจัดการกับการรบกวนอัตราไหลเข้าที่ความสูง 30 cm. ได้ใกล้เคียงกับที่ 50 cm. แต่เกิดค่า MRCO สูงกว่า ซึ่งอาจจะเกิดมาจากความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามสำหรับกระบวนการควบคุมระดับแบบเฉื่อยนี้โดยทั่วไปมักจะใช้งานในลักษณะเป็นถึงพักทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงช่วงการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดจึงควรหาแบบจำลองกระบวนการจากจุดที่ใช้งานจึงจะเหมาะสมที่สุด ซึ่งปกติมักจะใช้งานในช่วงกึ่งกลางของถัง

6.1.6 การควบคุมด้วยตัวควบคุมพีและพีไอ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการนำตัวควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานและความง่ายในการปรับจูน โดยตัวควบคุมแบบ พี และ พีไอ ที่นำมาใช้นั้นจะหาค่าพารามิเตอร์การควบคุมจากการคำนวณสำหรับควบคุมระดับแบบเฉลี่ยแบบเชิงเส้น ซึ่งจะพิจารณาจากอัตราการใช้สูงสุดและระดับสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ (Thomas E. Marlin, 1995)

สำหรับตัวควบคุมแบบพี

$$K_C = \frac{-\Delta F_{MAX}}{\Delta L_{MAX}} \quad (6.3)$$

สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ

$$K_C = \frac{-0.736\Delta F_{MAX}}{\Delta L_{MAX}} \quad (6.4)$$

$$\tau_I = \frac{4\xi^2 A}{-K_C} \quad (6.5)$$

สำหรับการรบกวนระบบ 75% ของอัตราการใช้และให้ระดับเปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด 25 cm. ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณคือ

สำหรับตัวควบคุมแบบพี $K_C = 4.75$

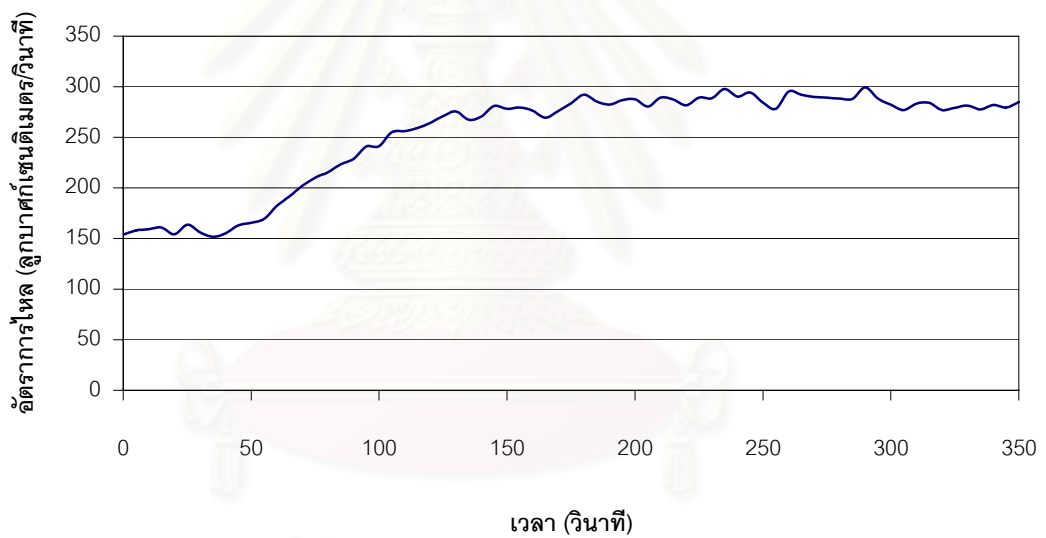
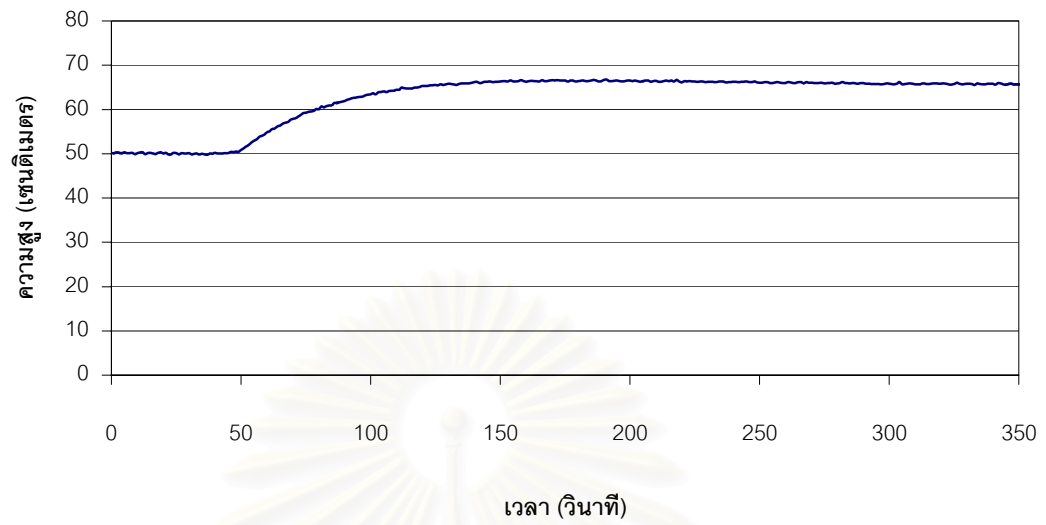
สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ $K_C = 3.50 \quad \tau_I = 307.5$

สำหรับการรบกวนระบบ 100% ของอัตราการใช้และให้ระดับเปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด 25 cm. ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณคือ

สำหรับตัวควบคุมแบบพี $K_C = 6.33$

สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอ $K_C = 4.66 \quad \tau_I = 230.64$

ผลการควบคุมแบบพีที่มีการรบกวน 75% ของอัตราการไหลขาเข้า



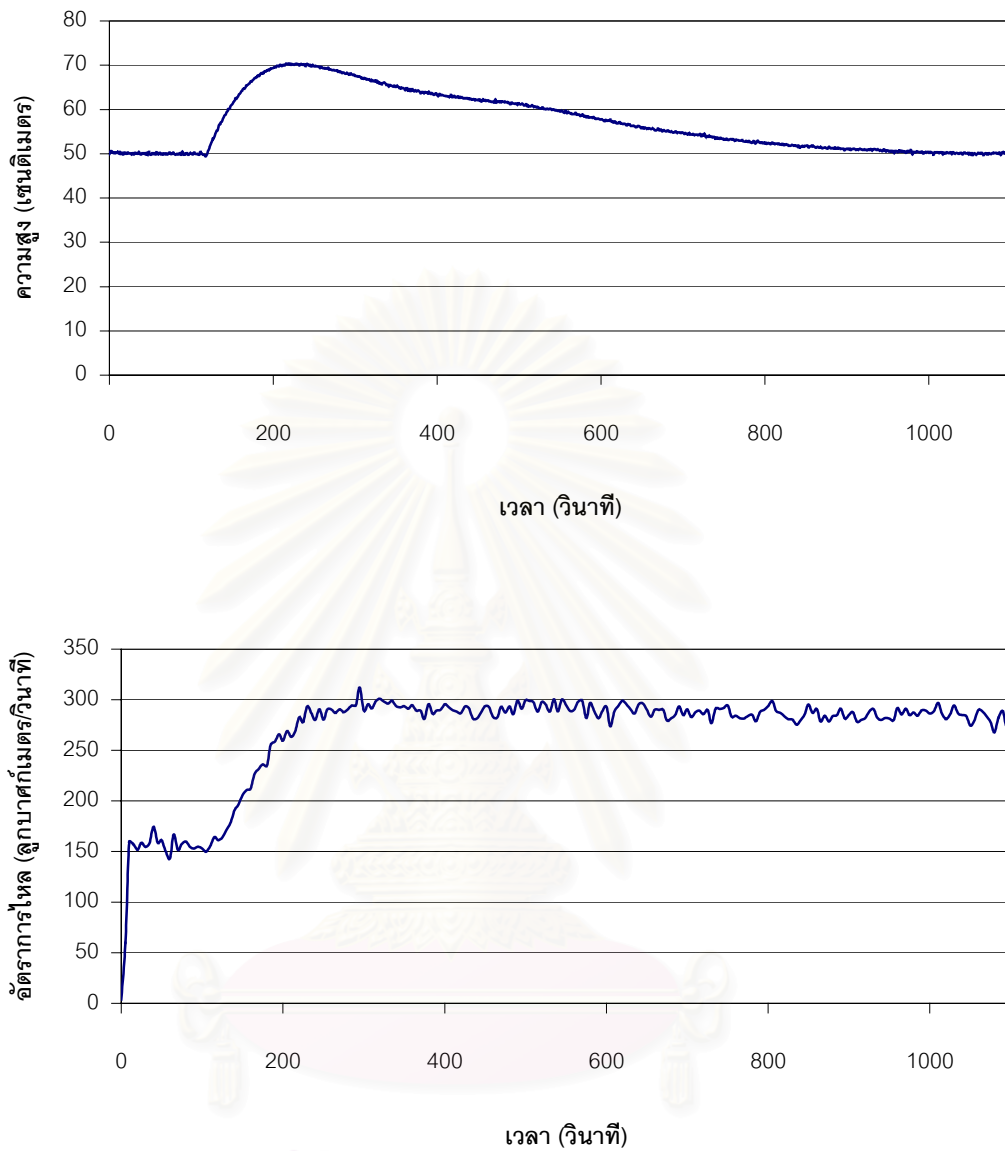
รูปที่ 6.20 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 4.75$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 66.74 เซนติเมตร

MRCO = 3.81 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ผลการควบคุมแบบพีไอที่มีการรบกวน 75% ของอัตราไหลขาเข้า



รูปที่ 6.21 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 3.50$ $\tau_I = 307.5$

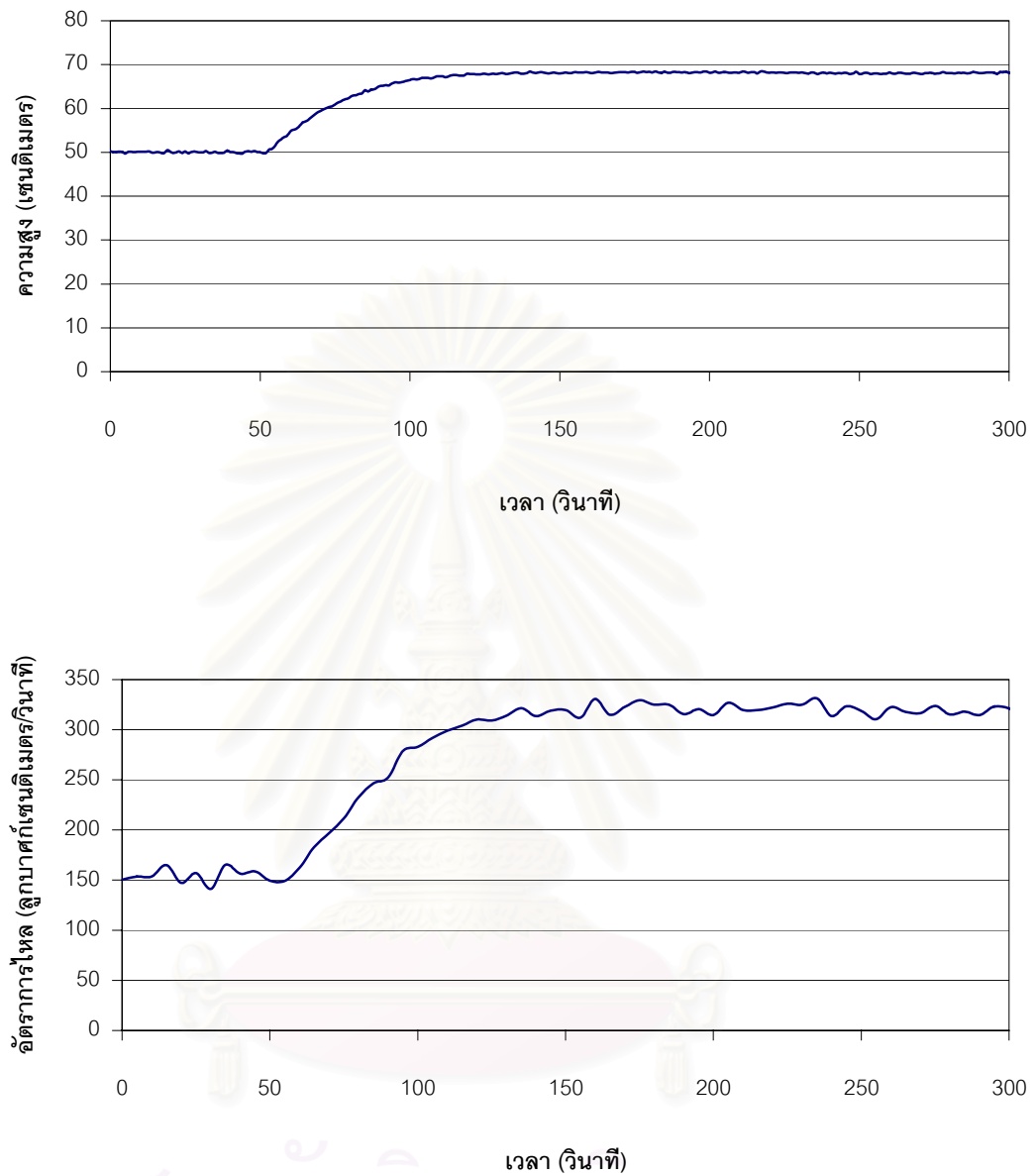
โดยมีการรบกวนขาเข้า 75%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 70.39 เซนติเมตร

MRCO = 4.71 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ผลการควบคุมแบบพีที่มีการรบกวน 100% ของอัตราการใช้เชื้อเพลิง



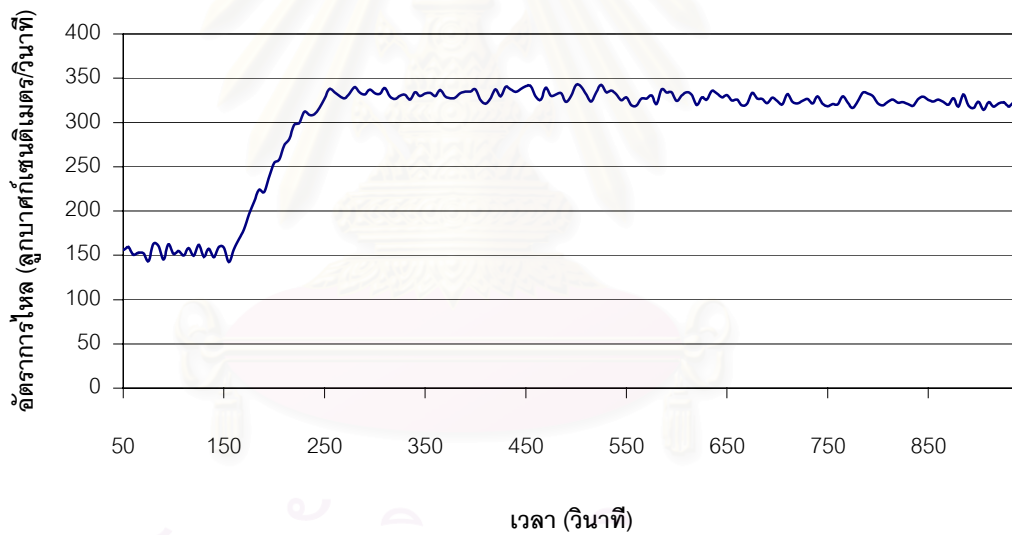
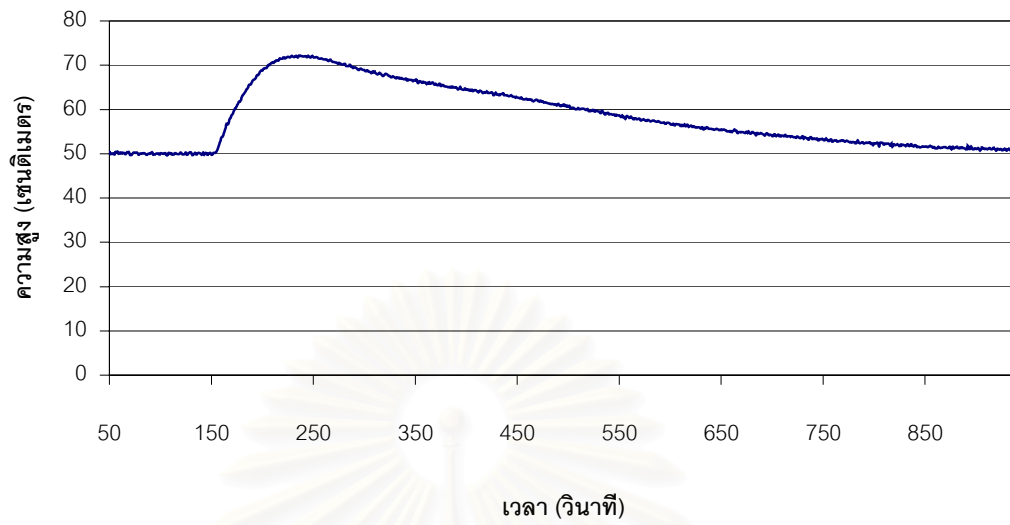
รูปที่ 6.22 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 6.33$ โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 68.44 เซนติเมตร

MRCO = 5.33 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ผลการควบคุมแบบพีไอที่มีการรบกวน 100% ของอัตราไหลขาเข้า



รูปที่ 6.23 ผลการควบคุมโดยให้ค่า $K_C = 4.66$ $\tau_I = 230.64$

โดยมีการรบกวนขาเข้า 100%

ผลจากการควบคุมจะได้ว่า

MPH = 72.15 เซนติเมตร

MRCO = 5.72 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/วินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม	MPH (cm.)	MRCO (cm ³ /s/s)
P-Controller $K_C = 4.75$ Disturbance 75%	66.74	3.81
PI-Controller $K_C = 3.50$ $\tau_I = 307.5$ Disturbance 75%	70.39	4.71
V = 40, U=1, W2=30 Disturbance 75%	68.39	4.54
P-Controller $K_C = 6.33$ Disturbance 100%	68.44	5.33
PI-Controller $K_C = 4.66$ $\tau_I = 230.64$ Disturbance 100%	72.15	5.72
V = 40, U=1, W2=30 Disturbance 100%	75.74	5.52

ตารางที่ 6.4 สรุปผลและเปรียบเทียบการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีและพีไอ กับ ดีเอ็มซี

จากตารางที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีจะให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด รองลงมาคือ ดีเอ็มซีและพีไอ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตัวควบคุมแบบพีนั้นจะทำให้เกิดออฟเซต ซึ่งจะทำความจุของถังพักมีขนาดเล็กลง ดังนั้นการเลือกตัวควบคุมชนิดต่างๆ ควรพิจารณาถึงลักษณะของการรบกวนการไหลขาเข้าด้วยว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร เพื่อที่จะได้เลือกตัวควบคุมที่สามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างเหมาะสม

6.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดทดลองและตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สำหรับควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย ซึ่งก็ได้ทำการทดสอบตัวควบคุมที่สร้างขึ้นด้วยกระบวนการจำลองที่อ้างอิงจากหนังสือ Process Dynamics and Control (Dale E. Seborg, 1989) โดยผลการควบคุมที่ได้มีลักษณะการควบคุมเหมือนกันทุกประการ ซึ่งเป็นพิสูจน์ว่าตัวควบคุมที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องเช่นเดียวกับตัวควบคุมดีเอ็มซีที่อ้างอิงจากหนังสือ สำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยนั้นจะยึดถือค่าหลัก 2 ค่าไว้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ คือ

- 1). ความสูงของระดับสูงสุด (Maximum Peak Height, MPH)
- 2). การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลขาออกสูงสุด (Maximum Rate of Change in Outflow, MRCO)

ซึ่งตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมระดับแบบเฉลี่ยได้ด้วยการจูนค่า 2 วิธีการคือ

1). การปรับค่าพารามิเตอร์ในตัวคอนโทรลเลอร์แบบปกติ โดยจะกำหนดค่า $W2$ ที่ทำให้ได้ MPH อยู่ในขอบเขตที่กำหนด จากนั้นทำการเพิ่มค่า V เพื่อให้ผลการควบคุมมีความราบเรียบมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มค่า V จะทำให้ระยะเวลาในการเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยต์ช้าลง และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับจะเกิดขึ้นทีละน้อย ซึ่งก็สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

โดยทั่วไปในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจะพิจารณาถึงอัตราการไหลเข้าสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจูนค่าพารามิเตอร์สำหรับรองรับการเปลี่ยนแปลงขาเข้า 100% จากนั้นได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขาเข้าเป็น 50% และ 75% ซึ่งผลการควบคุมที่ได้ก็เป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ข้างต้นคือเมื่อเพิ่มค่า V จะส่งผลให้การควบคุมที่ได้มี MRCO ลดลงแต่ก็จะมี MPH สูงขึ้น ดังนั้นการเลือกปรับค่าพารามิเตอร์ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุด และระดับสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นก็ทำการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจนกระทั่งได้ค่า MRCO น้อยที่สุด

2). การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลขาออกสูงสุด (Maximum Rate of Change in Outflow, MRCO) เนื่องจากการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมดีเอ็มซีอาจจะมีคามยุ่งยากเนื่องจากมีค่าพารามิเตอร์สำหรับเลือกปรับจูนหลายตัว จึงได้มีการประยุกต์ใช้ช่วงเซ็ทพอยต์รูปกรวยสำหรับการกำหนดแนวโน้มของตัวแปรควบคุม ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการเข้าสู่เซ็ทพอยต์ยาวนานขึ้นอีกทั้งยังมีความราบรื่นมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเช่นกัน

โดยผลการทดลองที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจูนค่าแบบปกติพบว่าสามารถทำการปรับค่าได้ง่ายกว่าโดยกำหนดค่า a และ b สำหรับกำหนดช่วงของวิธีรูปกรวยจากนั้นก็ปรับค่า V เพื่อให้ได้ค่า MRCO ที่น้อยที่สุด เช่นเดียวกับวิธีแรก

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบความทนทานของตัวควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้น โดยการนำไปควบคุมระดับที่ 30 cm. โดยใช้แบบจำลองของกระบวนการที่หามาจากการเปลี่ยนแปลงสเต็ปที่ระดับความสูง 50 cm. ซึ่งผลการควบคุมพบว่าการควบคุมที่ 30 cm. มีค่า MRCO ที่สูงกว่าซึ่งอาจจะเกิดมาจากความคลาดเคลื่อนของกระบวนการ อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลงระดับเริ่มต้นของการควบคุม ดังนั้นควรจะหาแบบจำลองของกระบวนการจากช่วงระดับความสูงที่ต้องการควบคุมจึงจะให้ผลดีที่สุด

สุดท้ายได้ทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบดั้งเดิมคือ ตัวควบคุมแบบพีและพีไอ โดยกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงขาเข้าเป็น 75% และ 100% ตามลำดับ โดยตัวควบคุมแบบพีและพีไอนั้นใช้หลักการหาค่าพารามิเตอร์จากหนังสือ Process Control designing processes and control systems for dynamic performance(Thomas E. Marlin, 1995) ซึ่งผลการควบคุมที่ได้แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบพีควบคุมได้ค่า MRCO น้อยที่สุด แต่จะเกิดออฟเซ็ททำให้ความจุของถังพักลดลง ส่วนตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีและพีไอจะไม่เกิดออฟเซ็ทซึ่งทำให้สามารถใช้ความจุของถังพักได้เต็มที่โดยที่ตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีสามารถควบคุมได้ค่า MRCO น้อยกว่าแบบตัวควบคุมแบบพีไอ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทดแทนตัวควบคุมแบบดั้งเดิมคือพีและพีไอได้ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะต้องคำนึงถึง MRCO และ MPH เป็นสำคัญ ซึ่งผู้ใช้จะต้องเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยที่สามารถรองรับอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นในกระบวนการได้

6.3 ปัญหาและข้อเสนอนะ

1. อุปกรณ์ที่ใช้อาจจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมได้ เช่น วาล์วควบคุมที่ใช้อาจจะเกิดความผิดพลาดในการทำงานได้เนื่องจากแอกทูเอเตอร์ของวาล์วเริ่มมีการเสื่อมสภาพ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้มีความละเอียดต่ำ ส่งผลให้การวัดค่าเกิดความคลาดเคลื่อนได้
2. เปลี่ยนถังให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะสามารถรองรับการทำงานของปั้มน้ำที่การไหลขาออกได้ ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรม
3. ตัวควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่มีความซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถพัฒนาอัลกอริทึมการควบคุมให้เหมาะสมกับกระบวนการต่างๆได้ สำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยนั้นสามารถใช้อัลกอริทึมของการควบคุมแบบ QDMC ซึ่งพัฒนาต่อเนื่องมาจาก DMC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุรินทร์ทิพย์ ภาวกรทวิวงษ์. การประยุกต์การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟกับการผสมของเหลว.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

สุชาดา พันธุ์พุกฤษ. การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย. วิทยา

นิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539

รศ. ดร. ไพศาล กิตติศุภกร. การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติขั้นสูง. เอกสารคำสอน ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

ภาษาอังกฤษ

Cheung, T.F. Liquid Level Control, Dissertation Lehigh University, Ph.D., (1978)

Bluckley, P.S. Recent Advances in Averaging Level Control, Productivity through control Technology, 1980 (April), 93-98.

Cutler, C.R Dynamic Matrix Control an Optimal Multivariable Control Algorithm with Constrains, Ph.D. Dissertation University of Houston, (1983)

Garcia, C.E., Preet, D.M. and Morari, M. Model Predictive Control : Theory and Practice, Prentice-Hall, 1984

Bluckley, P.S. Nonlinear Averaging Level Control with Digital Controller, Texas A&M Instrumentation Symposium, 1986 (Jan), 37-44

McDoNALD, K.A., McAVOY, T.J. Optimal Averaging Level Control., AIChE Journal, 1986, Vol.32, No.1, 75-86

Oppenheim, A.V. and Schafer, R.W. Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, 1989

Seborg, D.E., Edgar, T.F. and Mellichamp, D.A. Process Dynamic and Control, John Wiley & Sons, 1989

Luyben, W.L. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990

The Advantech Co., Ltd., PCL-818 High Performance Data Acquisition Card with Programmable Gain: User's Manual, 1990

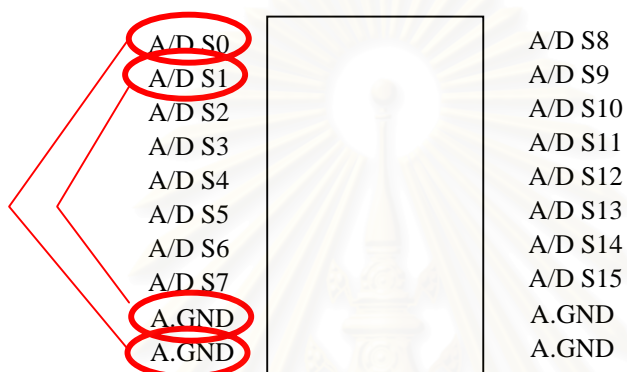
- Ricker, N.L. Model Predictive Control : State of Art, CPC IV, 1992
- Hokanson, D.A. and Gerstle, J.G. Practical Distillation Control : Dynamic Matrix Control Multivariable Controllers, Van Nostrand Reinhold, 1992, 248-271
- Eaton, J.W. and Rawlings, J.B. Model Predictive Control of Chemical Processes, Chemical Engineering, 1992, No.4, 705-720
- Ogunnaike, Babaunde A.; Ray, W. Harmon Process Dynamics, Modeling, and Control, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1994
- Cawfield, David W. High speed model predictive control. A candidate to replace PID?, Patent Pending, 1994, 871-881.
- Friedman, Y. Zak Tuning of averging level controller., Hydrocarbon Processing Journal, December (1994) ,101-104
- Trent, Brad Industrial PCs: Tough Enough?, Intech, 1995 (May), 54-57.
- Smith, Carlos; Roy, Subhojit Better than averag[ing] level control, Intech, 1995 (July), 50-55.
- Edgar, Thomas F. Modeling and Control-Back to the Future, Part II., CAST Communications, 1996(Summer), Vol.19, No.2, 11-15.
- Edgar, Thomas F. Modeling and Control-Back to the Future, Part I., CAST Communications, 1996(Winter), Vol.19, No.1, 7-12.
- Herbert Schildt. Windows 98 Programming from the ground up, Osborne McGraw-Hill, 1998

ภาคผนวก ก.

การเชื่อมต่อสายสัญญาณและการติดต่อกับการ์ดพีซีแอล-818

การ์ดพีแอลซี-818

Connector 1 (CN1) – Analog Input (Single-ended channels)



รูปที่ ก.1 จุดเชื่อมต่อสำหรับ Analog Input

จากรูปที่ ก.1 เป็นการแสดงช่องสัญญาณเชื่อมต่อที่ต้องเลือกให้สอดคล้องกับค่าที่กำหนดในโปรแกรมโดยสามารถเลือกได้ทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ โดยในงานวิจัยนี้เลือกจุดที่ 0 ในการรับค่าการวัดความสูงของระดับน้ำ และเลือกจุดที่ 1 ในการรับค่าวัดอัตราการความเร็วของการไหลขาออก ซึ่งจะต้องเวลาบัดกรีแผ่นวงจรจะต้องเชื่อมต่อกับจุดกราวด์ทุกครั้ง

Connector 2 (CN2) – Analog Output

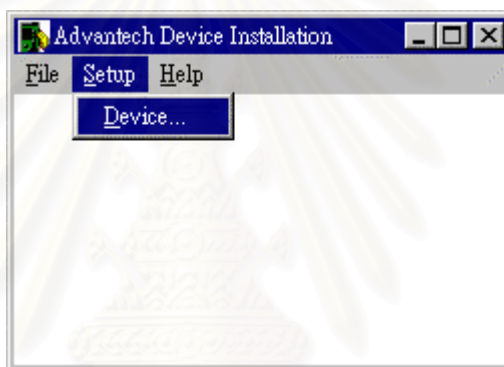


รูปที่ ก.2 จุดเชื่อมต่อสำหรับ Analog Output

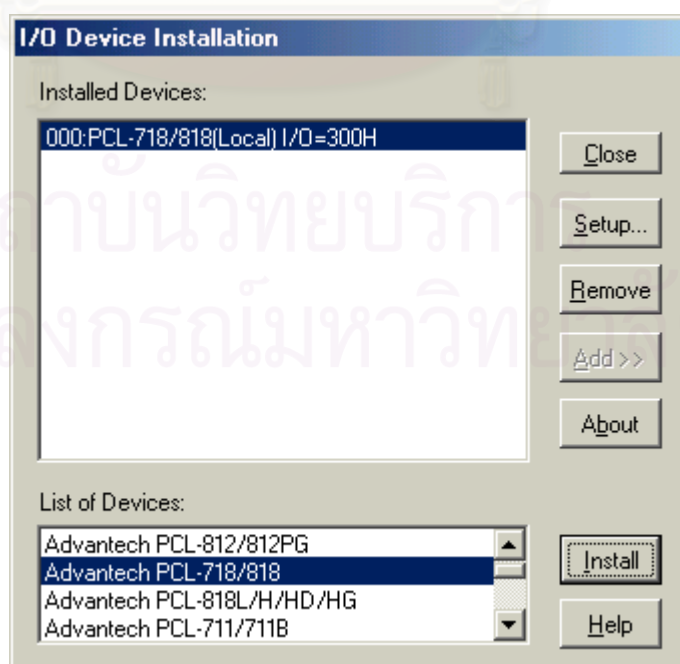
สำหรับการ์ดพีซีแอล-818 สามารถส่งสัญญาณออกไปได้ทั้งหมด 2 ช่องสัญญาณ โดยกำหนดให้ช่องสัญญาณ 0 เป็นความต่างศักย์ที่ส่งไปควบคุมวาล์วตัวกลางสำหรับสร้างตัวรบกวนระบบ ส่วนช่องสัญญาณ 1 เป็นความต่างศักย์ที่ส่งไปควบคุมวาล์วตัวบนสำหรับควบคุมระบบ โดยทั้งสองจุดจะต้องเชื่อมกับกราวนเช่นเดียวกับ Analog Input

โปรแกรมในการอินเตอร์เฟซการ์ดพีซีแอล-818 กับชุดทดลองโดยใช้ภาษา Visual C++

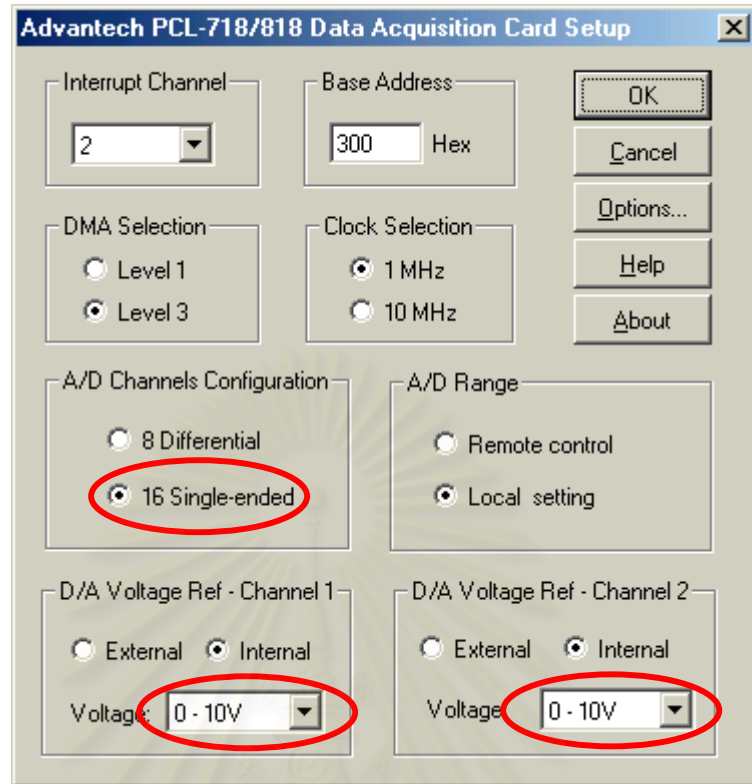
การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับการ์ดพีซีแอล-818 จำเป็นต้องใช้ Driver ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ www.advantech.com ซึ่งเมื่อติดตั้ง Driver เข้ากับระบบปฏิบัติการเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการเรียกโปรแกรม Device Installation ซึ่งมีลักษณะดังภาพ



รูปที่ ก.3 ภาพโปรแกรม Device Installation



รูปที่ ก.4 การเลือก Driver ของการ์ดพีซีแอล-818

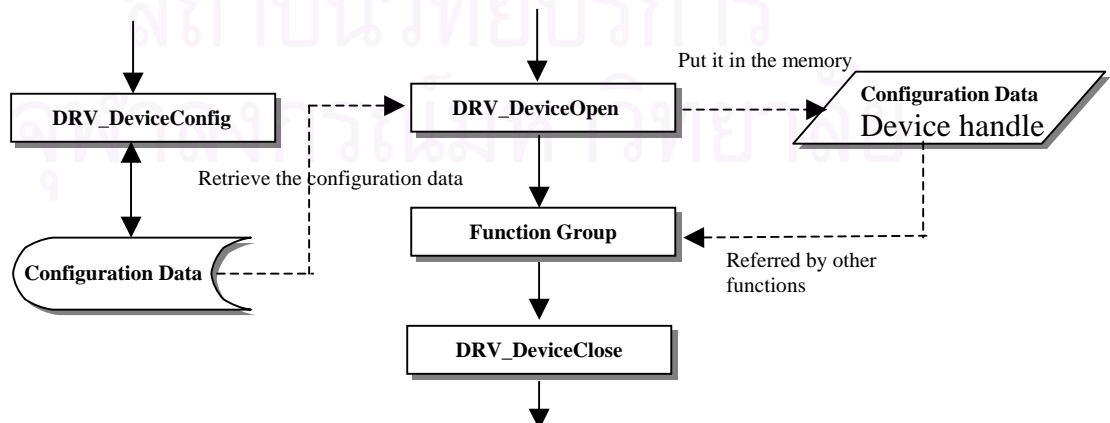


รูปที่ ก.5 การเลือกค่าการทำงานของการ์ดพีซีแอล-818

จากนั้นก็ทำการเขียนโปรแกรมเชื่อมโยงการทำงานของการ์ดเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา VC++ โดยมีหลักการดังนี้

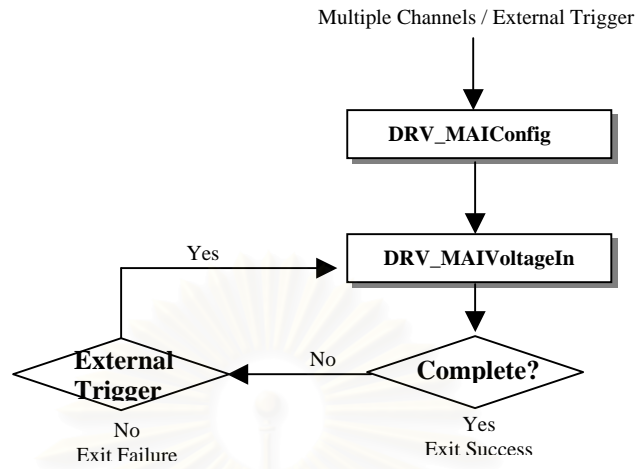
1. สร้างโปรแกรมควบคุมด้วยภาษา C++
2. เรียกใช้ DLL head file ที่ทำการเชื่อมโยงการ์ดโดยใช้คำสั่ง `#include "driver.h"`
3. เพิ่ม DLL import library "ADSAPI32.LIB" ลงใน Project Module

โดยหลักการในการใช้งานการ์ดอินเตอร์เฟซจะเป็นดังนี้



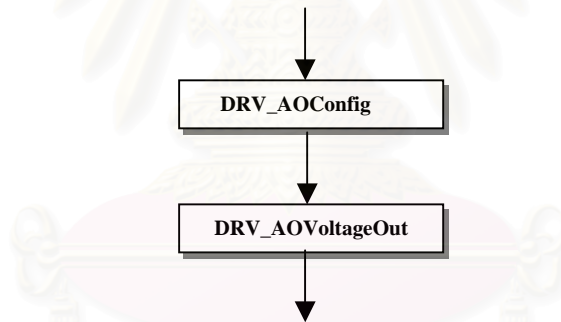
รูปที่ ก.6 ไฟล์ชาร์ทการทำงานโดยรวมของการ์ด

การติดต่อกับการ์ดเพื่อรับค่าจากสัญญาณอะนาล็อกที่ส่งมาจากอุปกรณ์วัดจะต้องเรียกใช้ฟังก์ชัน
ดังภาพที่ ก.5



รูปที่ ก.7 โพลีซาร์ทการรับค่าสัญญาณอะนาล็อก

การติดต่อกับการ์ดเพื่อส่งค่าสัญญาณอะนาล็อกจากเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องเรียกใช้ฟังก์ชันดัง
ภาพที่ ก.6



รูปที่ ก.8 โพลีซาร์ทการส่งสัญญาณอะนาล็อก

โปรแกรมคำสั่งการเรียกฟังก์ชัน DRV_DeviceOpen เพื่อให้การ์ดทำงาน

```

// Open Device

if (gnNumOfSubdevices == 0)
    ErrCde = DRV_DeviceOpen(
        DeviceList[gwDevice].dwDeviceNum,
        (LONG far *)&DriverHandle);
else
    ErrCde = DRV_DeviceOpen(
        SubDeviceList[gwSubDevice].dwDeviceNum,
        (LONG far *)&DriverHandle);

if (ErrCde != SUCCESS)
{
    strcpy(szErrMsg,"Device open error !");
    MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Device Open",MB_OK);
    return 0;
}

// get gain code

ptDevFeatures.buffer = (LPDEVFEATURES)&DevFeatures;
ptDevFeatures.size = sizeof(DEVFEATURES);
if ((ErrCde = DRV_DeviceGetFeatures(DriverHandle,
    (LPT_DeviceGetFeatures)&ptDevFeatures)) != SUCCESS)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
    DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
    return 0;
}

// configures the gain for the specified analog input channel

// check start and stop channel if expansion board ?
usExpFlag = 0;
for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
{
    if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID != 0)
        usExpFlag = 1;
}

if(usExpFlag == 0)
{
    ptMAIConfig.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
    ptMAIConfig.StartChan = usStartChan;
    for (i=0 ; i < ptMAIConfig.NumChan ; i++)
        usGainCode[i+usStartChan] =
            DevFeatures.gIGainList[usGainIndex[i+usStartChan]].usGainCde;
    ptMAIConfig.GainArray = (USHORT far *) &usGainCode[usStartChan];

    if ((ErrCde = DRV_MAIConfig(DriverHandle,
        (LPT_MAIConfig)&ptMAIConfig)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
}
}

```

โปรแกรมคำสั่งการรับสัญญาณอะนาล็อก

```

//
// reads an analog input channel
//

// check start and stop channel if expansion board ?
usExpFlag = 0;
for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
{
    if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID != 0)
        usExpFlag = 1;
}

if(usExpFlag == 0)
{
    ptMAIVoltageIn.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
    ptMAIVoltageIn.StartChan = usStartChan;

    for (i=0 ; i< ptMAIVoltageIn.NumChan ; i++)
        usGainCode[i+usStartChan] =
            DevFeatures.gIGainList[usGainIndex[i+usStartChan]].usGainCde;
    ptMAIVoltageIn.GainArray = (USHORT far *) &usGainCode[usStartChan];

    ptMAIVoltageIn.TrigMode = 0; // internal trigger
    ptMAIVoltageIn.VoltageArray = (FLOAT far *)&fVoltage[usStartChan];

    if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DriverHandle,
        (LPT_MAIVoltageIn)&ptMAIVoltageIn)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
        KillTimer(hWnd, 1);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
}
else
{
    for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
    {
        usDasChan[i] = i;

        // for PCLD-788
        if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID == BD_PCLD788)
            usExpChanTemp[i] = ((usBoardID[i] << 4) | usExpChan[i]);
        else
            usExpChanTemp[i] = usExpChan[i];
    }

    ptMAIVoltageInExp.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
    ptMAIVoltageInExp.DasChanArray = (USHORT far *)&usDasChan[usStartChan];
    ptMAIVoltageInExp.DasGainArray = (USHORT far *)&usGainIndex[usStartChan];
    ptMAIVoltageInExp.ExpChanArray = (USHORT far *)
    &usExpChanTemp[usStartChan];
    ptMAIVoltageInExp.VoltageArray = (FLOAT far *)&fVoltage[usStartChan];
}

```

```

if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageInExp(DriverHandle,
    (LPT_MAIVoltageInExp)&ptMAIVoltageInExp)) != 0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
    KillTimer(hWnd, 1);
    DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
    return 0;
}
}

```

โปรแกรมคำสั่งการส่งสัญญาณอะนาล็อกออกจากคอมพิวเตอร์

```

ptAOVoltageOut.chan = gwChannelOut1;
ptAOVoltageOut.OutputValue = fData1;

```

```

if((ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DriverHandle,
    (LPT_AOVoltageOut)&ptAOVoltageOut)) != 0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    KillTimer(hWnd, 1);
    MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
    return TRUE;
}

```

เมื่อจบการทำงานทั้งหมดจะต้องทำการเรียกฟังก์ชัน DRV_DeviceClose

```

if (bRun == FALSE)
{
    KillTimer(hWnd, 1);
    DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
}

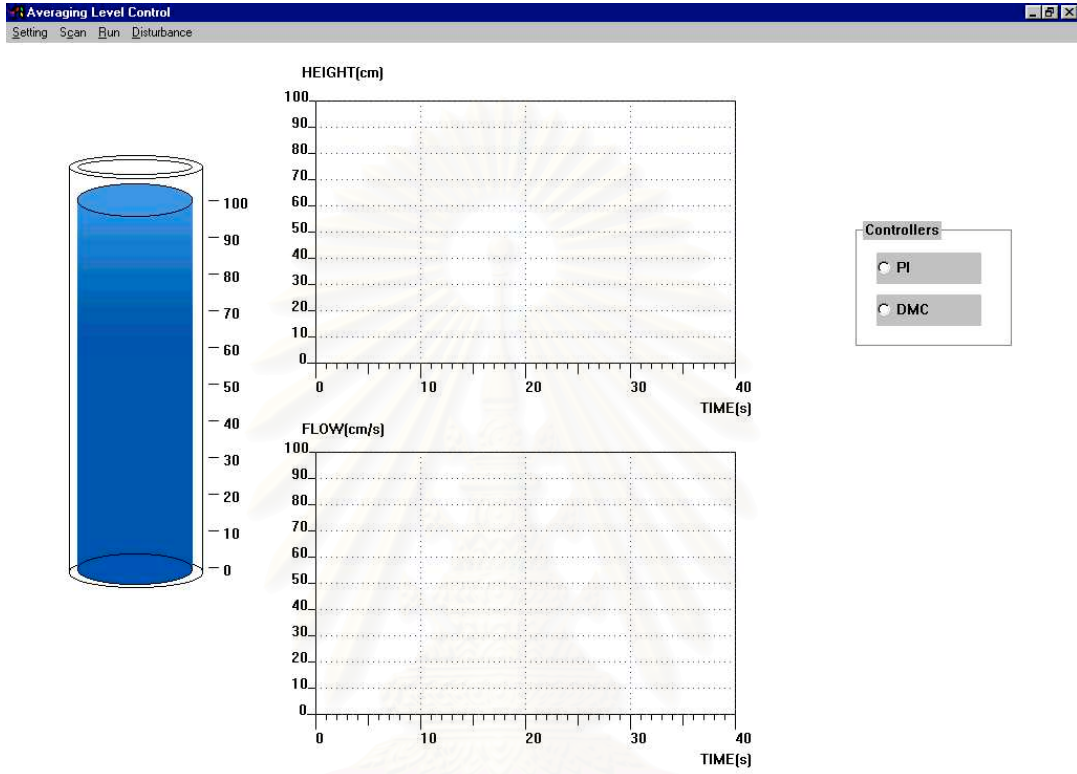
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การใช้งานโปรแกรมควบคุมดีเอ็มซีที่สร้างขึ้น

1. เมื่อทำการเปิดโปรแกรม จะพบกับหน้าจอ ดังรูปที่ 6.1

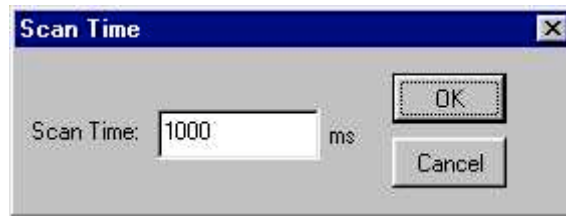


รูปที่ ข.1 หน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุม

2. เลือกที่เมนู Setting จะปรากฏหน้าจอสำหรับเซ็ทค่าการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

รูปที่ ข.2 หน้าต่างการกำหนดค่าการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

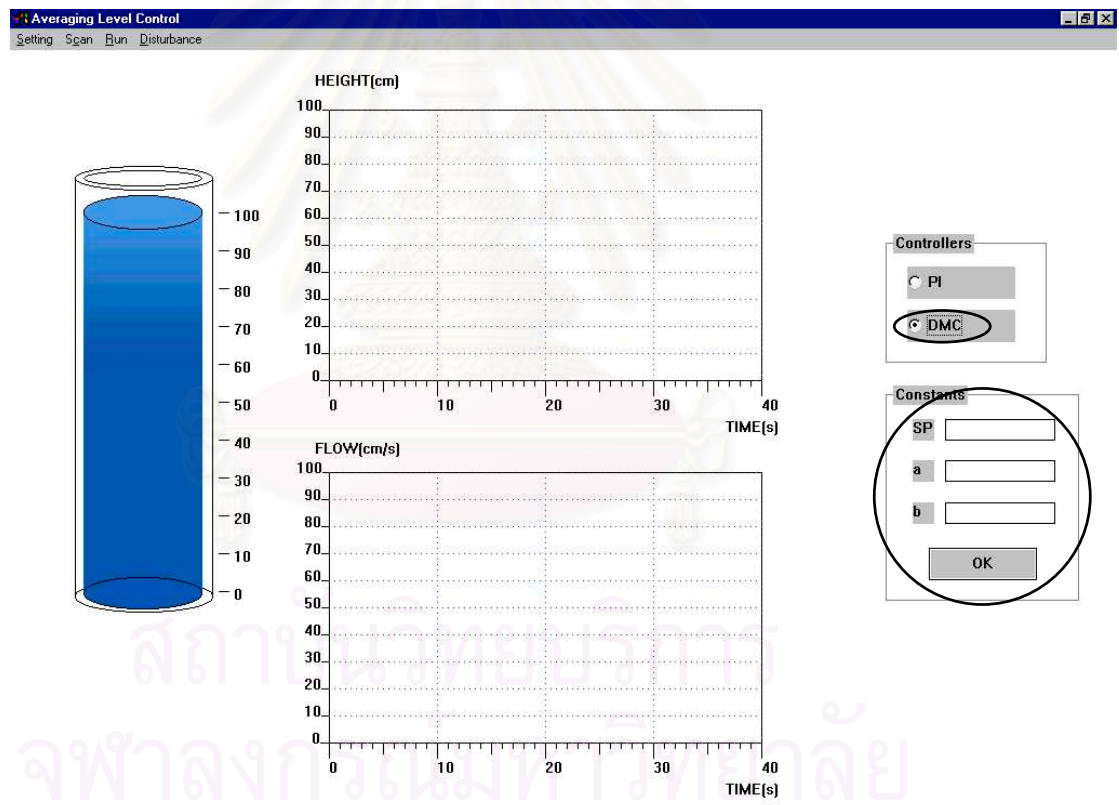
3. เลือกที่เมนู Scan เพื่อกำหนดค่า Sampling time ที่ต้องการ



รูปที่ ข.3 รูปหน้าต่างรับค่า Sampling time

4. คลิกเลือกชนิดของตัวควบคุมที่ต้องการซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ตัวคือ ดีเอ็มซี และ พีไอ

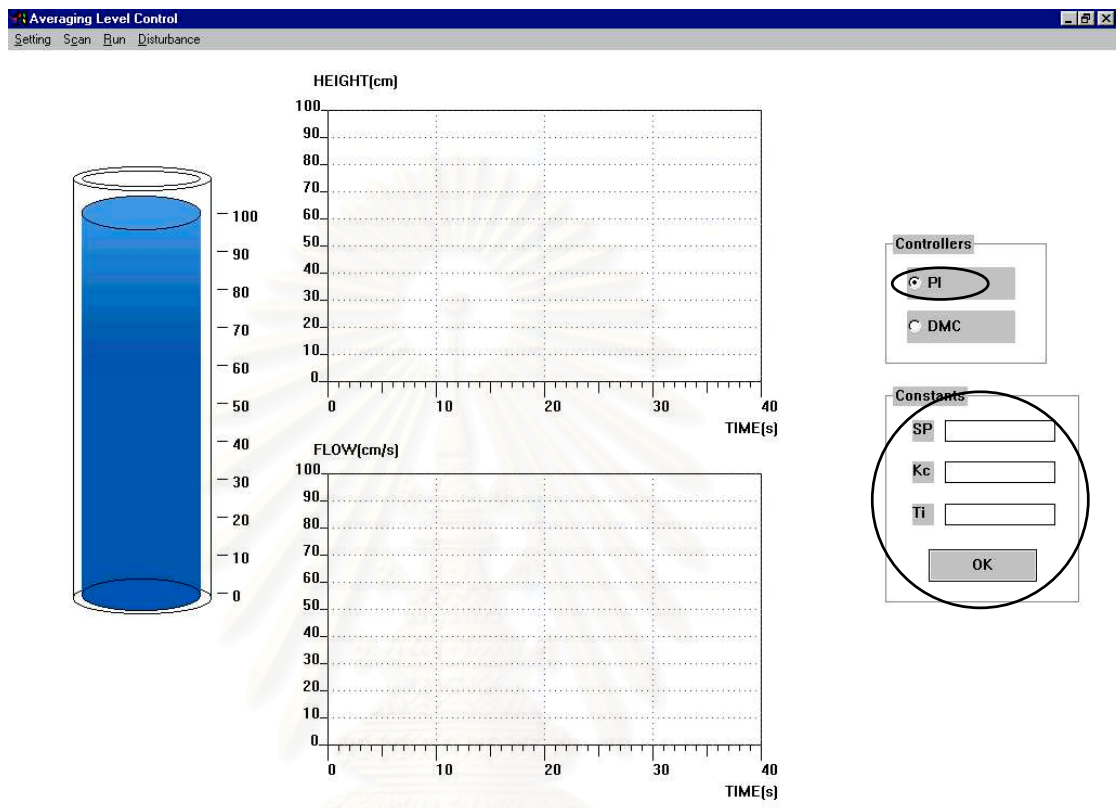
กรณีนี้เลือกตัวควบคุมเป็นแบบดีเอ็มซี



รูปที่ ข.4 เมื่อเลือกตัวควบคุมเป็นแบบดีเอ็มซี

จะปรากฏหน้าจอสำหรับใส่ค่าสำหรับการควบคุม โดย SP คือ ค่าเซ็ทพอยต์ ส่วน a และ b คือ ขนาดของวิถีรูปกรวย ซึ่งหากไม่ต้องการใช้วิถีรูปกรวยก็ไม่จำเป็นต้องใส่ค่าในช่อง a และ b

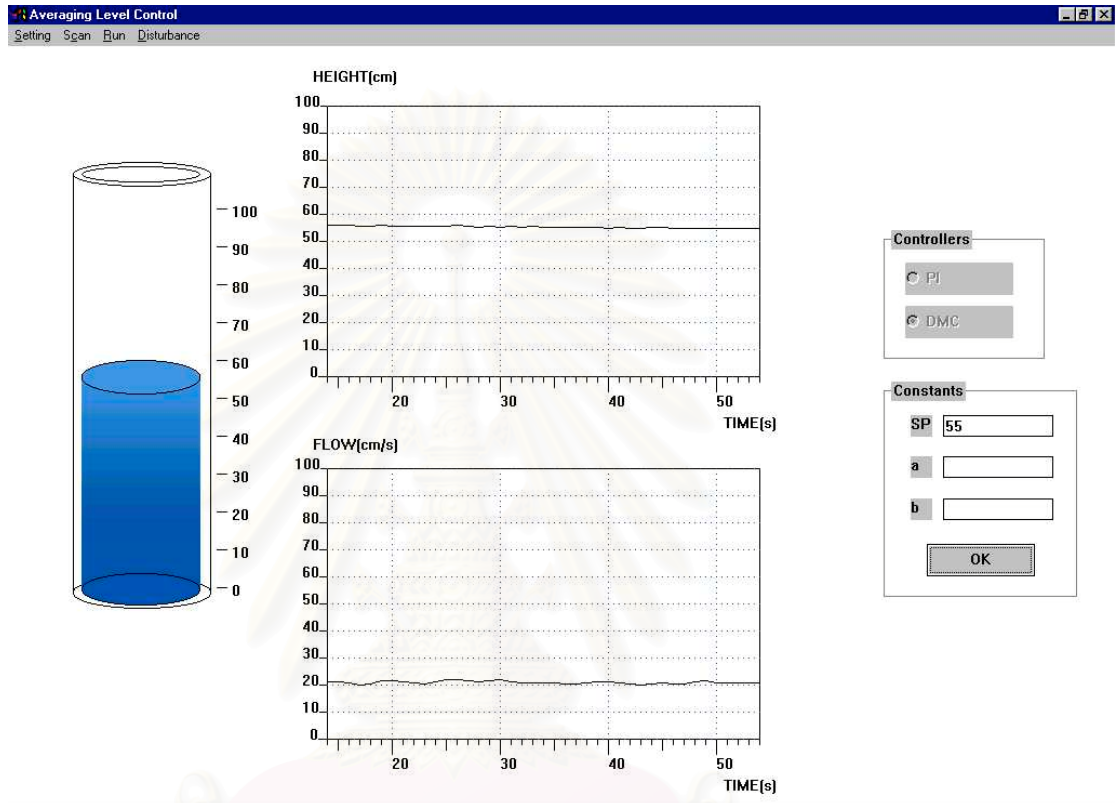
กรณี que เลือกตัวควบคุมเป็นแบบพีไอ



รูปที่ ข.5 เมื่อเลือกตัวควบคุมเป็นแบบพีไอ

จะปรากฏหน้าจอสำหรับใส่ค่าสำหรับการควบคุม โดย SP คือ ค่าเซ็ทพอยต์ ส่วน Kc และ Ti เป็นการกำหนดค่า K_C , τ_I สำหรับตัวควบคุมแบบพีและพีไอ

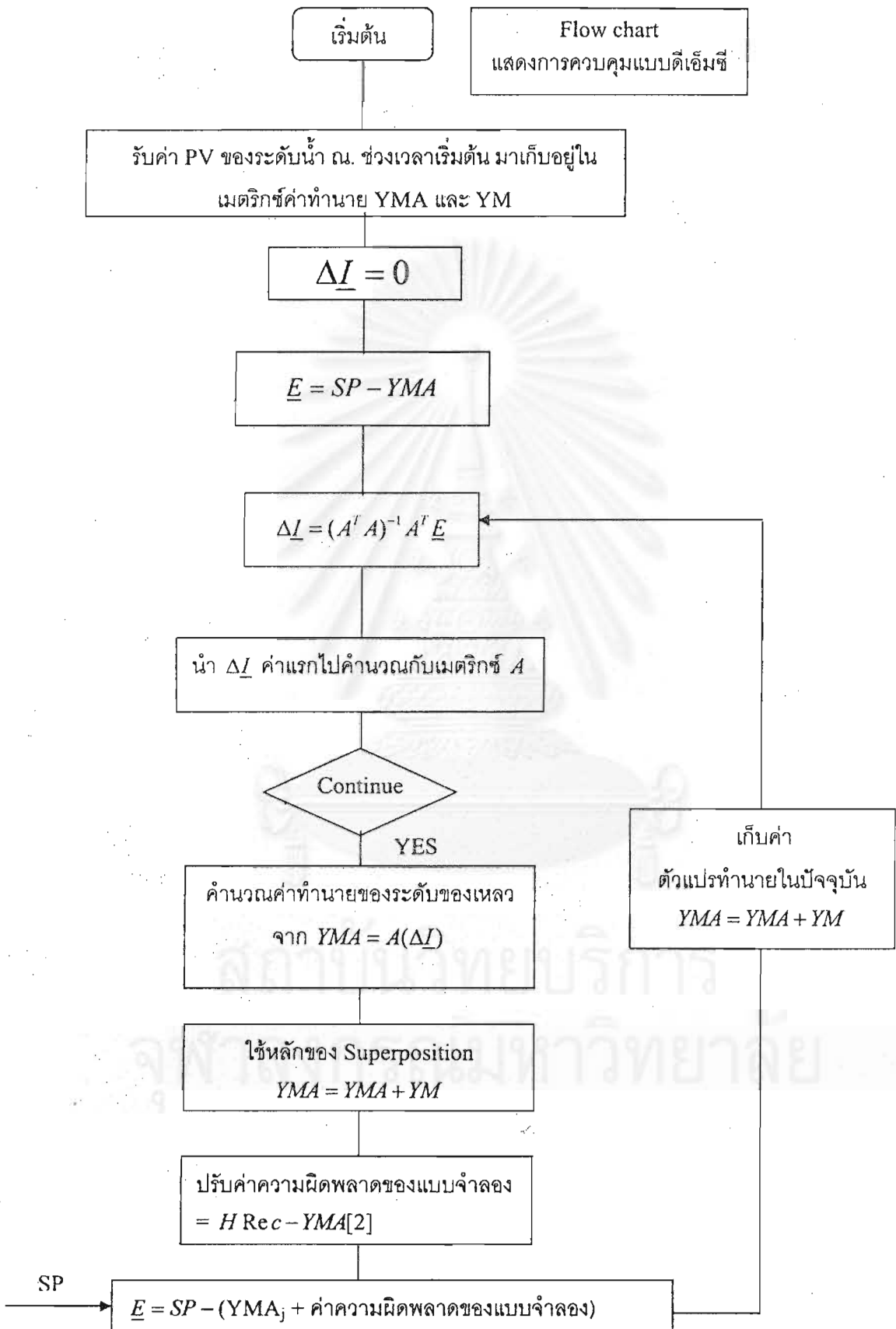
5. เลือกเมนู Run → Start จะเป็นการเรียกโปรแกรมควบคุมให้ทำงาน



รูปที่ ข.6 เมื่อทำการรันโปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมที่สร้างขึ้นนี้จะแสดงผลด้วยกราฟแบบเรียลไทม์ รวมทั้งมีภาพถังน้ำแสดงระดับซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับน้ำจริง

6. เมื่อเลือกเมนู Run → Stop จะเป็นการหยุดโปรแกรมการทำงานทั้งหมด และยุติการส่งกระแสไฟฟ้าไปควบคุมวาล์วควบคุม



Source code ของตัวควบคุมแบบดีเอ็มซี

```

if (reset == 1)
    (
        for (i=1;i<51;i++)
            YMA[i] = Ac[i]*DEL_MV; // ทำนายค่าตัวแปรควบคุมเฉพาะจากตัวแปรปรับในช่วงเวลาที่ผ่านมา
        for (i=1;i<50;i++)
            YMA[i] = YM[i+1] + YMA[i]; // ใช้วิธีการ Superposition ในการทำนายค่าตัวแปรควบคุมทุกช่วงเวลา
        for (i=50;i<51;i++)
            YMA[i] = YM[i]+YMA[i];
        DY = HRec-YMA[2]; // หากค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้
        for (i = 1;i<51;i++) // ทำการแก้ไขค่าที่ทำนายผิดพลาดทั้งหมด
            (
                YMA[i] = YMA[i] + DY;
                YM[i] = YMA[i];
            )
        for (i = 1;i<V+1;i++)
            Er[i] = YM[i+1];
        //////////////////////////////////////
        for (i = 1;i<V+1;i++)
            if (range == 1) // การใช้ระบบวิถีรูปกรวย
                (
                    if (Er[i] > SPN[i][0])
                        Er[i] = SPN[i][0] - Er[i];
                    else
                        (
                            if (Er[i] < SPN[i][1])
                                Er[i] = SPN[i][1] - Er[i];
                            else
                                Er[i] = 0;
                        )
                )
            else
                { Er[i] = SP-Er[i]; } // หากค่าความคลาดเคลื่อน
    )
else
    (
        for (i=1;i<V+1;i++)
            Er[i] = SP-HRec;
        reset = 1;
    )
DEL_MV = 0;
for (i = 1;i<V+1;i++) // คำนวณหาตัวแปรปรับโดยใช้เกนของตัวควบคุม
    (
        DI = A[i]*Er[i];
        DEL_MV = DEL_MV + DI;
    )
fData1 = fData1 +(DEL_MV*0.2)/2;
if (fData1 > 5)
    fData1 = 5;
if (fData1 < 0)
    fData1 = 0;

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอธิป ถายานูวัตร เกิดวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2541 และศึกษาต่อใน หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย