



## บทที่ 5

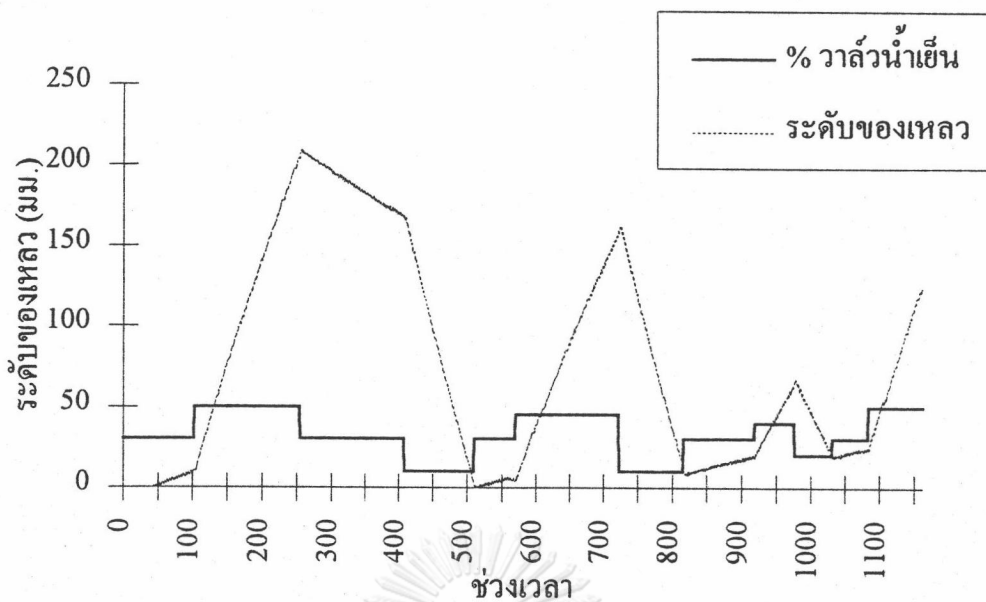
### ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลอง ในบทนี้จะนำผลการทดลองมาแสดง เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนหรือกรณี ก่อนจะนำไปสู่การสรุปผลและปัญหาในการวิจัย ตลอดจนข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาต่อไป

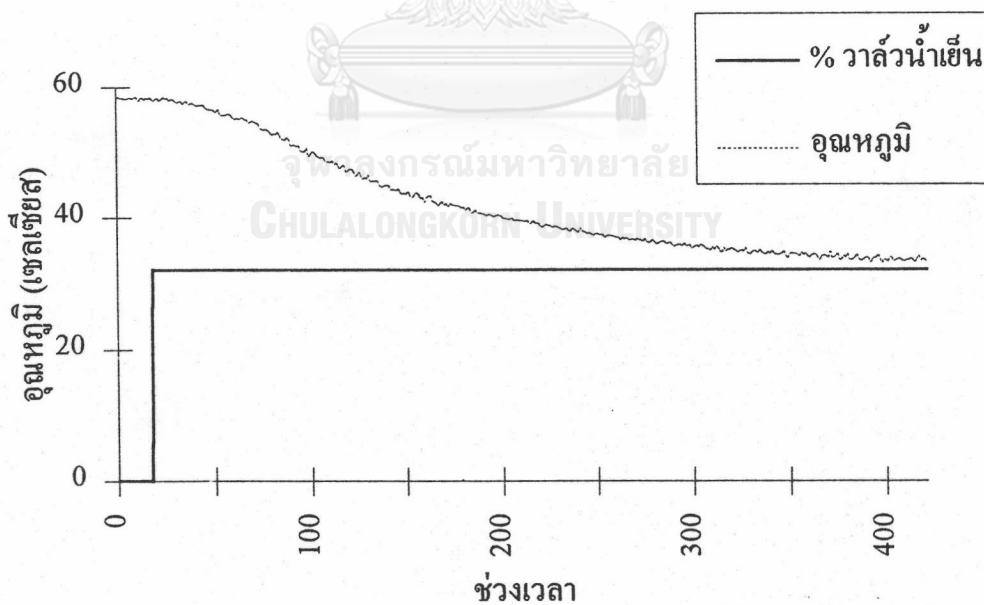
#### 5.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 5.1.1 ผลการหาค่าการตอบสนองของเอาต์พุตต่ออินพุต

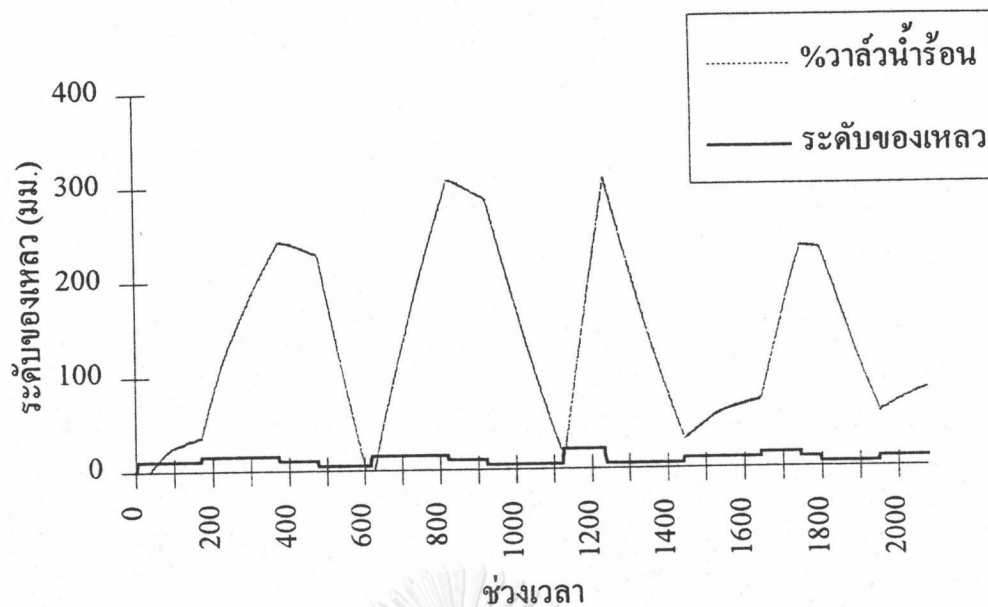
จากขั้นตอนการทดลองหาค่าการตอบสนองแบบสเต็ปต่ออินพุตของเอาต์พุตแต่ละคู่ โดยมีลักษณะของการปรับค่าอินพุตเป็นสเต็ป ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.1 - 5.4 ซึ่งใช้ลักษณะการทดสอบสเต็ปได้ 2 รูปแบบคือ แบบ 1 สเต็ป และแบบหลายสเต็ปอย่างสุ่ม เพื่อเปรียบเทียบผลของการตอบสนองและหาค่าเฉลี่ย ได้ผลของลักษณะการตอบสนองต่อสเต็ปของแต่ละคู่ดังรูปที่ 5.5 - 5.8 และจากการระบุหาลักษณะกระบวนการ โดยโปรแกรม Matlab Toolbox Identification สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งจากลักษณะการตอบสนองต่อสเต็ปนี้จะนำไปใช้ในการสร้างแมทริกซ์ของตัวควบคุมดีเอ็มซีในขั้นตอนต่อไป



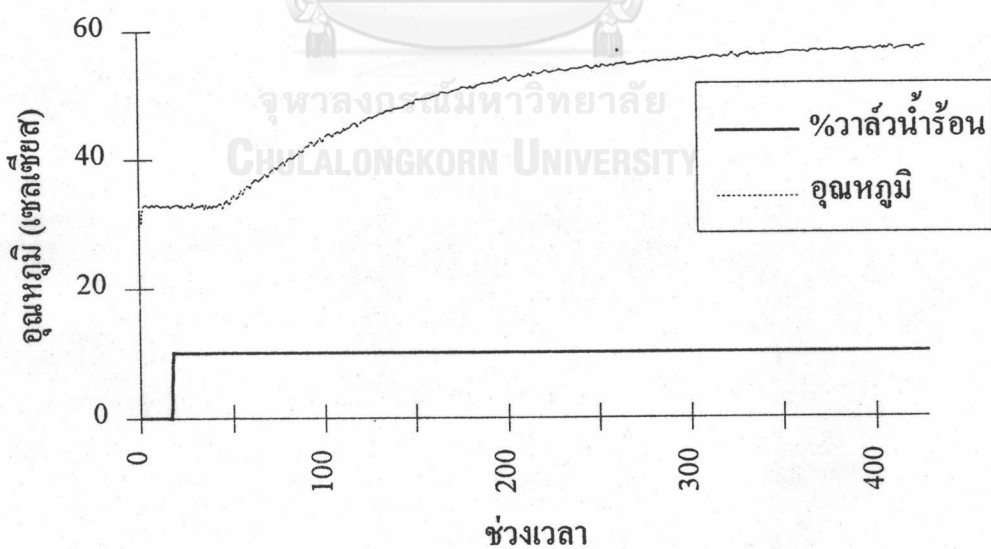
รูปที่ 5.1 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็มพ์ของอัตราการไหลของน้ำเย็น  
ต่อระดับของเหลว



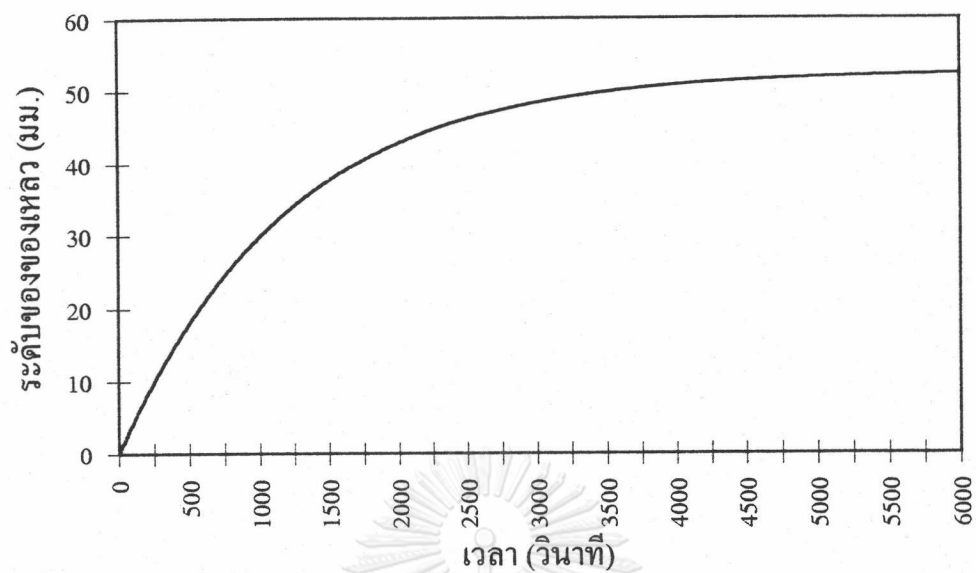
รูปที่ 5.2 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็มพ์ของอัตราการไหลของน้ำเย็นต่ออุณหภูมิ



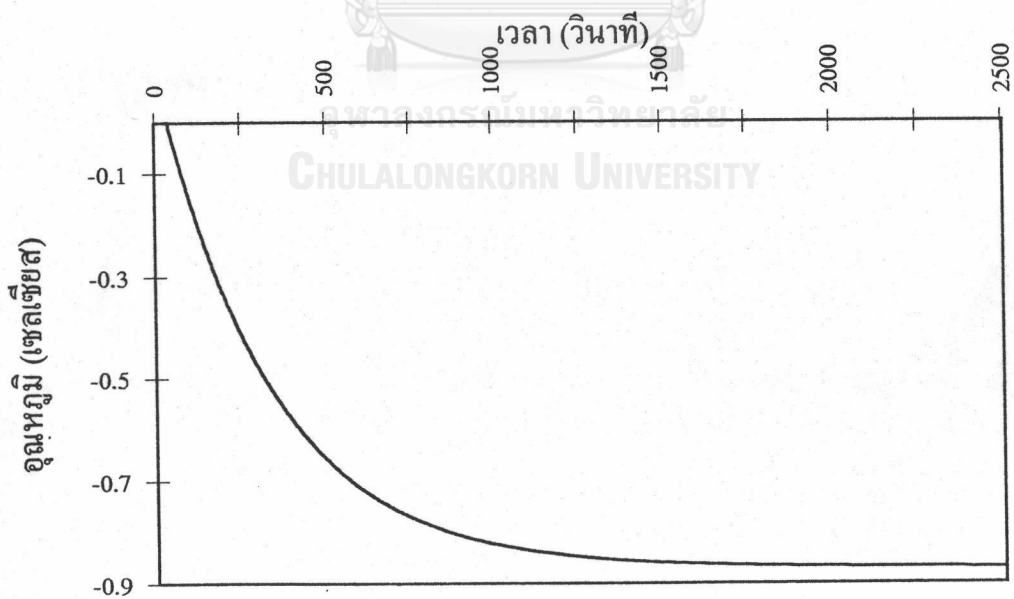
รูปที่ 5.3 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็มพีของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่อระดับของเหลว



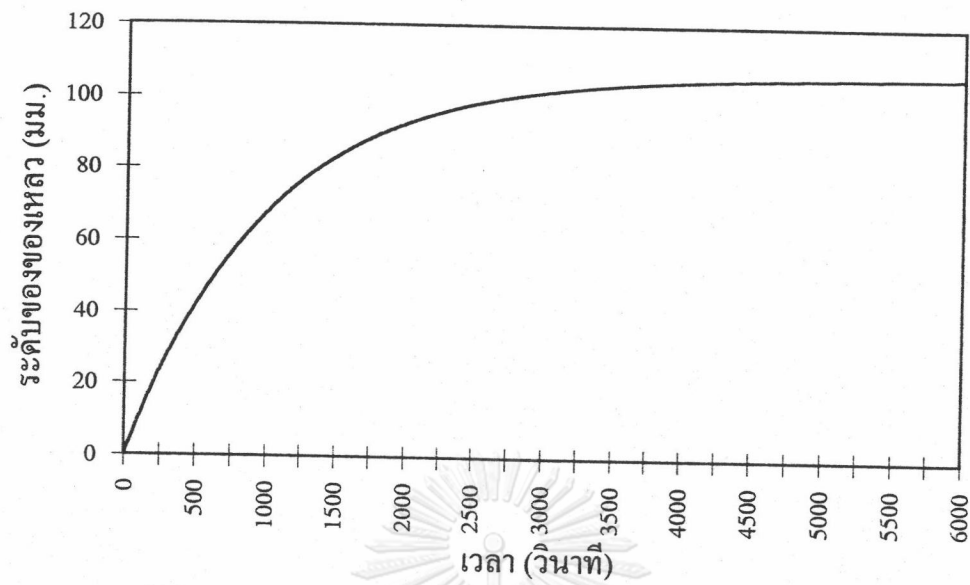
รูปที่ 5.4 ลักษณะการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็มพีของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ออุณหภูมิ



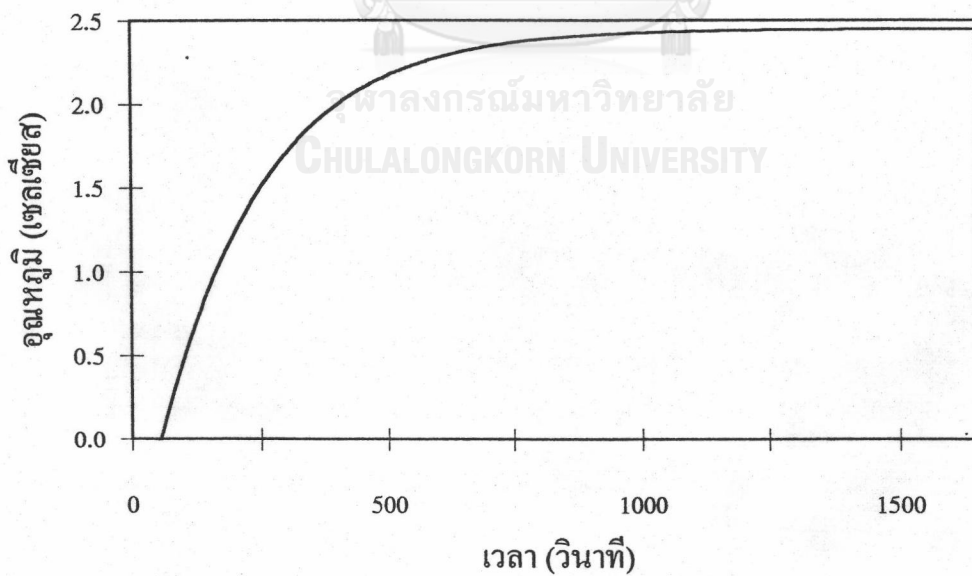
รูปที่ 5.5 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็ปของอัตราไหลของน้ำเย็นต่อระดับของเหลว



รูปที่ 5.6 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็ปของอัตราไหลของน้ำเย็นต่ออุณหภูมิ



รูปที่ 5.7 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็ปของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่อระดับของเหลว



รูปที่ 5.8 สัญญาณการตอบสนองต่อสเต็ปของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่ออุณหภูมิ

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการหาค่าการตอบสนองของเอาต์พุตต่ออินพุต

อินพุต	เอาต์พุต	ค่าแกนของ กระบวนการ $K_p$	ค่าคงตัวเวลา $\tau$ (วินาที)	ค่าเดดไทม์ $T_d$ (วินาที)
อัตราการไหล ของน้ำเย็น	ระดับของเหลว	52.55	1191.4	0
	อุณหภูมิ	-0.87	328	36
อัตราการไหล ของน้ำร้อน	ระดับของเหลว	106.5	986.8	0
	อุณหภูมิ	2.448	203.8	56

จากผลการทดลองหาค่าการตอบสนองของเอาต์พุตต่ออินพุต โดยตั้งสมมติฐานให้เป็น  
กระบวนการอันดับหนึ่งจะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต  
4 คู่ ดังนี้

ก. เปอร์เซนต์วาล์วน้ำเย็นต่อระดับของเหลว เป็นกระบวนการอันดับหนึ่ง  
ไม่มีเดดไทม์

$$T(S) = \frac{52.55}{1191.4S + 1} \quad (5-1)$$

ข. เปอร์เซนต์วาล์วน้ำร้อนต่อระดับของเหลว เป็นกระบวนการอันดับหนึ่งไม่มีเดดไทม์

$$T(S) = \frac{106.5}{986.8S + 1} \quad (5-2)$$

ค. เปอร์เซนต์วาล์วน้ำเย็นต่ออุณหภูมิ เป็นกระบวนการอันดับหนึ่งมีเดคไทม์

$$T(S) = \frac{-0.87e^{-36S}}{328S+1} \quad (5-3)$$

ง. เปอร์เซนต์วาล์วน้ำร้อนต่ออุณหภูมิ เป็นกระบวนการอันดับหนึ่งมีเดคไทม์

$$T(S) = \frac{2.448e^{-56S}}{203.8S+1} \quad (5-4)$$

จากค่าการตอบสนองต่อสเต็ปสามารถนำมาหาเมทริกซ์ A ได้ ขึ้นอยู่กับคาบการเก็บ

ตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก ข สำหรับกรณีที่ใช้ในการออกแบบคิเอ็มซีมีค่า  $\Delta t = 10$  วินาที

### 5.1.2 ผลการควบคุมระบบแบบเอสไอเอสไอ

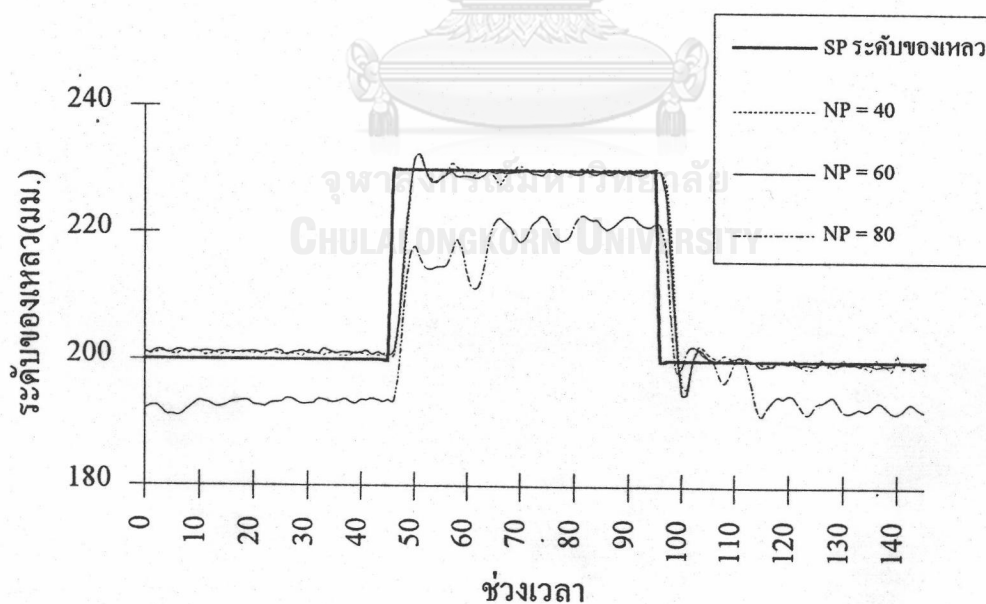
หลังจากได้ค่าการตอบสนองต่อสเต็ปแล้วนำมาสร้างเมทริกซ์ A ของตัวควบคุมคิเอ็มซีแบบเอสไอเอสไอ โดยเลือกเปรียบเทียบลูการควบคุมระดับของเหลวโดยอัตราการไหลของน้ำร้อน หรืออัตราการไหลของน้ำเย็น กับตัวควบคุมพีไอดีซึ่งได้รับการจูนให้มีผลการควบคุมที่ดีที่สุด และปรับตัวแปรปรับของตัวควบคุมคิเอ็มซีเพื่อคูลผลของตัวแปรปรับแต่ละตัว คือ ค่าจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท ค่าจำนวนช่วงเวลาในการปรับตัวแปรปรับ และค่าเฟกเตอร์น้ำหนัก w แล้วเลือกตัวแปรที่ให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี สำหรับคาบการเก็บตัวอย่างที่ใช้คือ 10 วินาที

## (1) ผลของจำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

ในการเลือกตัวแปรของดีเอ็มซี ตัวแปรหนึ่งคือ จำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทที่ใช้ในการคำนวณหาค่าในไดนามิกแมทริกซ์ จากตารางและกราฟเป็นผลของจำนวนช่วงเวลาของการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทต่อการควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็นซึ่งเป็นตัวควบคุมดีเอ็มซีของระบบเอสไอเอสโอ

ตารางที่ 5.2 แสดงผลของจำนวนช่วงเวลาการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

จำนวนช่วงเวลาการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด
40	260.4
60	253.9
80	1215.9



รูปที่ 5.9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนช่วงเวลาการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุทต่อประสิทธิภาพการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซี



## (2) ผลของจำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

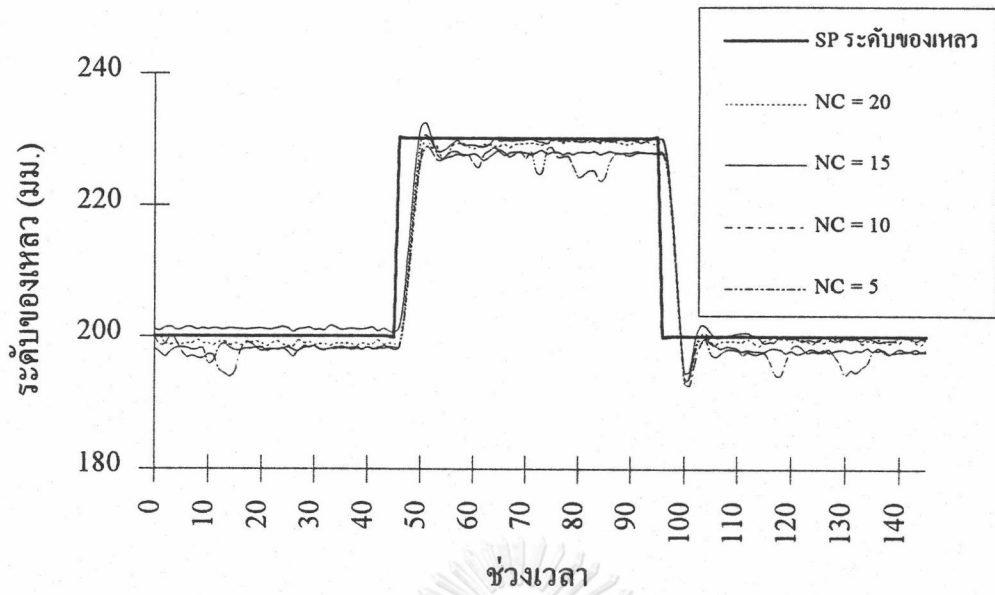
ในการเลือกตัวแปรของดีเอ็มซี ตัวแปรหนึ่งคือ จำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับที่ใช้ในการคำนวณหาค่าในไดนามิกแมทริกซ์ จากตารางและกราฟเป็นผลของจำนวนช่วงเวลาของการปรับตัวแปรปรับคืออัตราการไหลของน้ำขึ้นต่อระดับของเหลว ซึ่งเป็นตัวควบคุมดีเอ็มซีของระบบเอสไอเอสไอ

ตารางที่ 5.3 แสดงผลของการปรับจำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

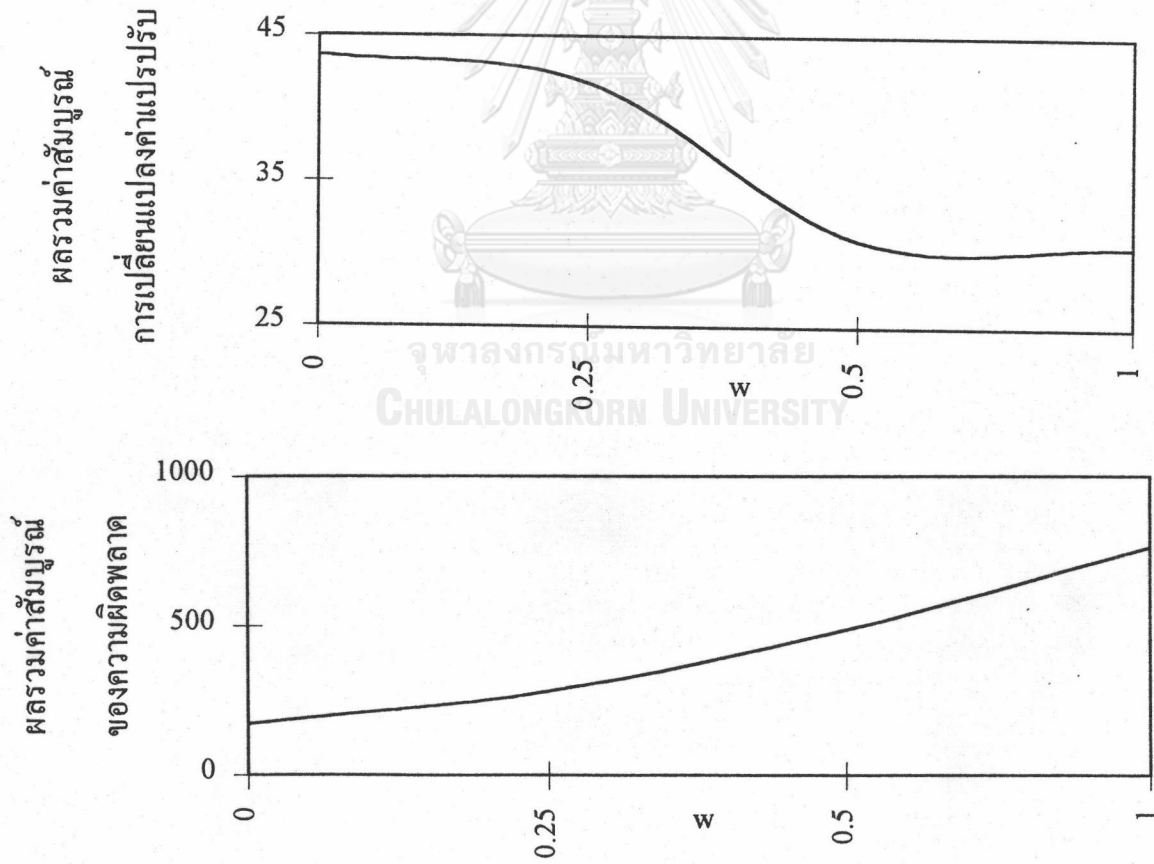
จำนวนช่วงเวลา ของตัวแปรปรับ	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด
5	503.9
10	464.3
15	253.9
20	271.3

(3) ผลของค่าแฟกเตอร์น้ำหนัก  $w$  ต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าแฟกเตอร์น้ำหนักจาก 0 - 1 สำหรับตัวควบคุมดีเอ็มซีของการควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำร้อน นำผลการควบคุมมาเปรียบเทียบในรูปของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าผิดพลาด และผลรวมค่าสัมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับ



รูปที่ 5.10 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนช่วงเวลาของตัวแปรปรับต่อประสิทธิภาพการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซี



รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างผลของค่าแฟกเตอร์นำหนักต่อตัวควบคุมดีเอ็มซี

ผลจากการทดลองในหัวข้อ 5.1.2.1-5.1.2.3 จะได้ข้อสรุปว่าสำหรับระบบนี้ ตัวแปร ดีเอ็มซีที่เหมาะสมคือ  $NP = 60$   $NC = 15$  เมื่อ  $\Delta t = 10$  วินาที โดยพิจารณาจากผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดที่หาได้ และสำหรับค่าแฟกเตอร์น้ำหนักจะมีผลต่อขนาดการปรับของตัวแปรปรับคือ เมื่อค่า  $w$  มากขึ้นจะทำให้ขนาดการปรับตัวแปรปรับน้อยลง ในขณะที่จะทำให้มีผลให้ค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดมีค่ามากขึ้น ดังนั้นการพิจารณาเลือกค่า  $w$  ที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับลักษณะอินเตอร์แอกชันระหว่างตัวแปร

(4) ผลการควบคุมระดับของของเหลวแบบอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนแปลงสเต็ปของค่าเซ็ทพอยท์

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

ตัวควบคุม	อินพุท	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด
พีไอดี	อัตราการไหลของน้ำเย็น	481.4
	อัตราการไหลของน้ำร้อน	413.2
ดีเอ็มซี	อัตราการไหลของน้ำเย็น	275.7
	อัตราการไหลของน้ำร้อน	261.3

ตัวแปรที่ใช้สำหรับการควบคุมระบบแบบเอสไอเอสไอ ( $\Delta t = 10$  วินาที)

ตัวแปรของตัวควบคุมพีไอดีสำหรับควบคุมระดับของของเหลว

ตัวแปรปรับเป็นน้ำร้อน  $K_c = 1$   $T_I = 2400$  วินาที  $T_D = 0$

ตัวแปรปรับเป็นน้ำเย็น  $K_c = 2.5$   $T_I = 1200$  วินาที  $T_D = 0$

ตัวแปรของตัวควบคุมดีเอ็มซีสำหรับควบคุมระดับของเหลว

ตัวแปรปรับเป็นน้ำร้อน  $NC = 15$   $NP = 60$   $w = 0$

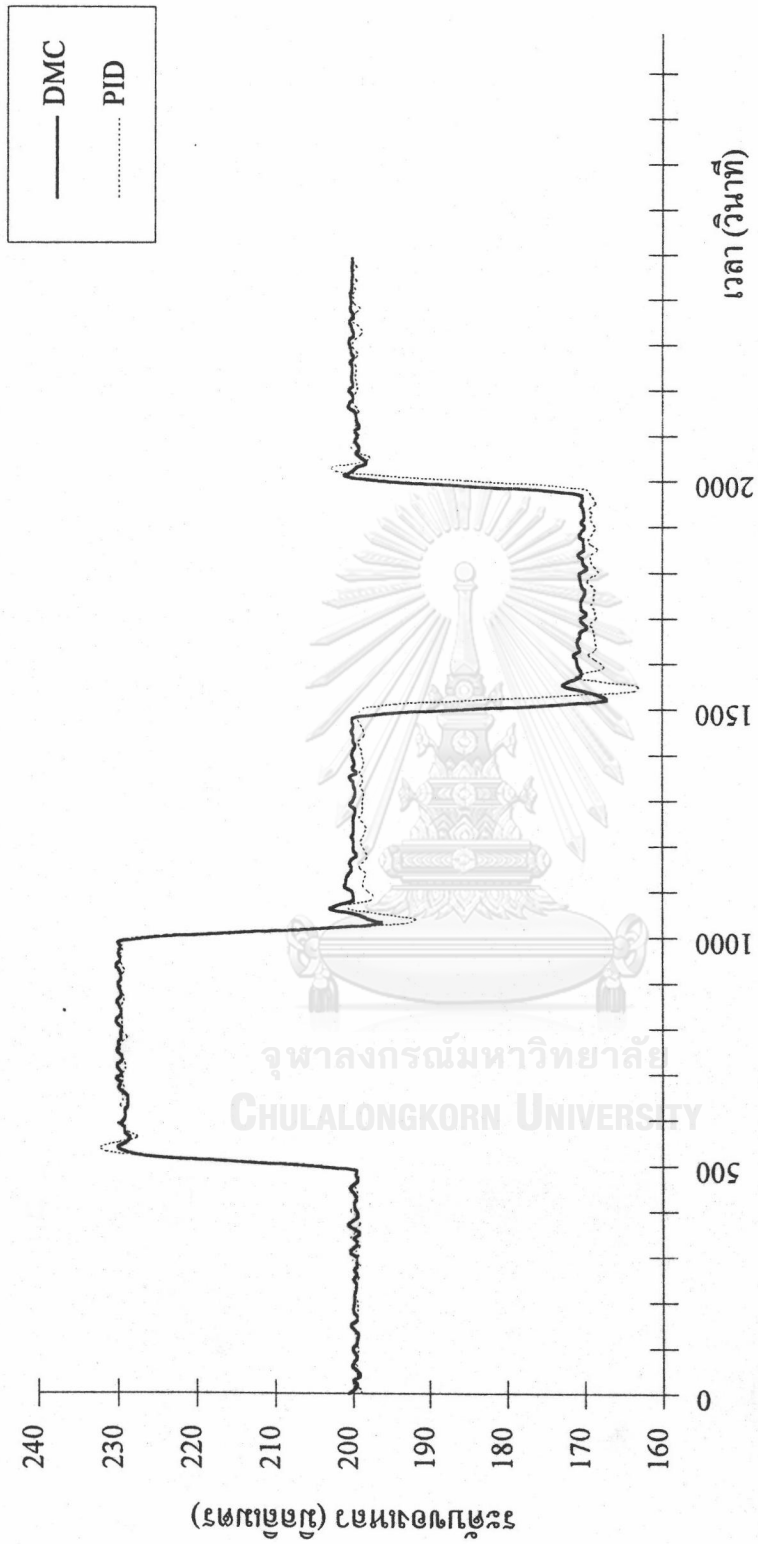
ตัวแปรปรับเป็นน้ำเย็น  $NC = 15$   $NP = 60$   $w = 0$

(5) ผลการควบคุมระดับของของเหลวแบบอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนแปลง

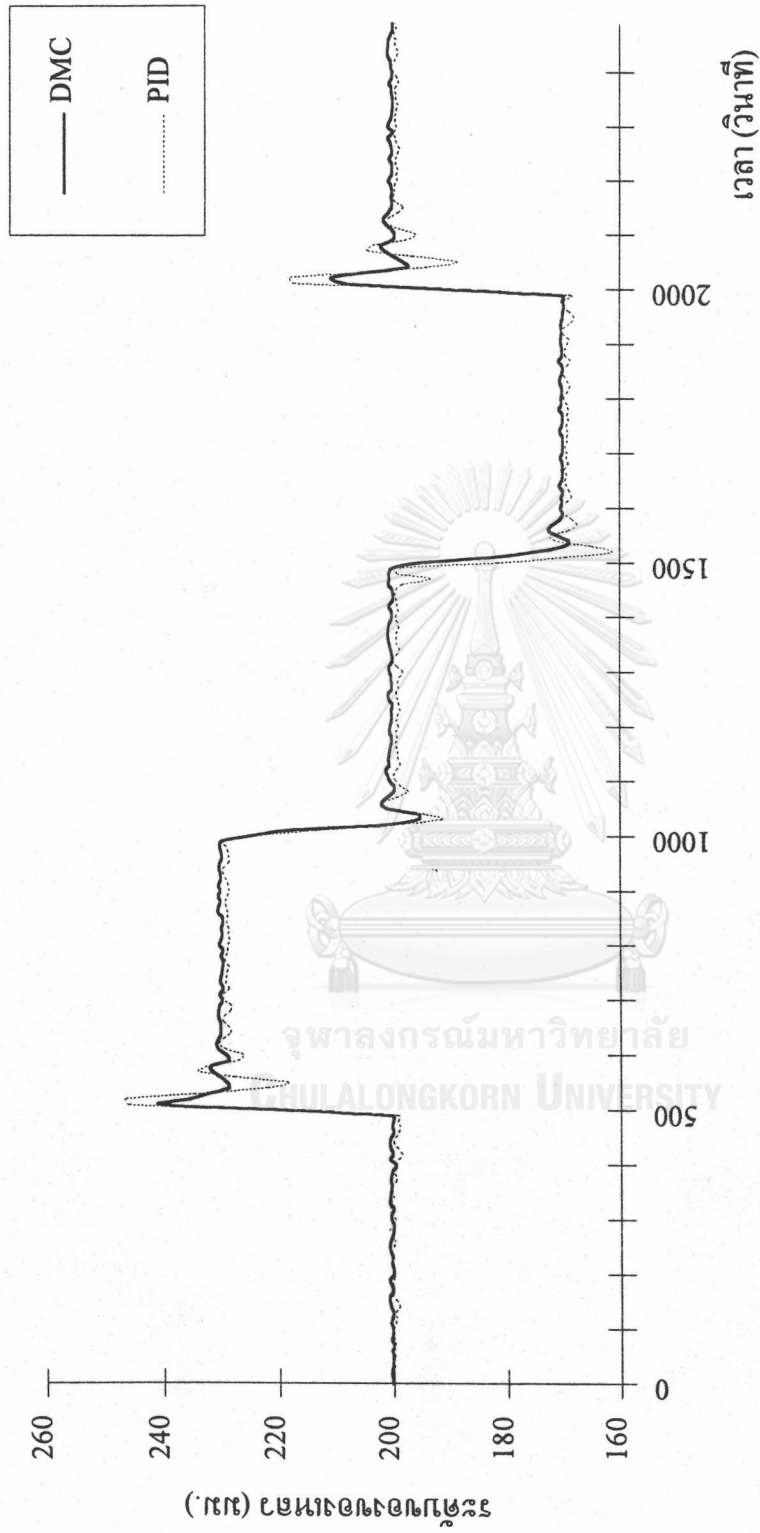
ของการรบกวน

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน

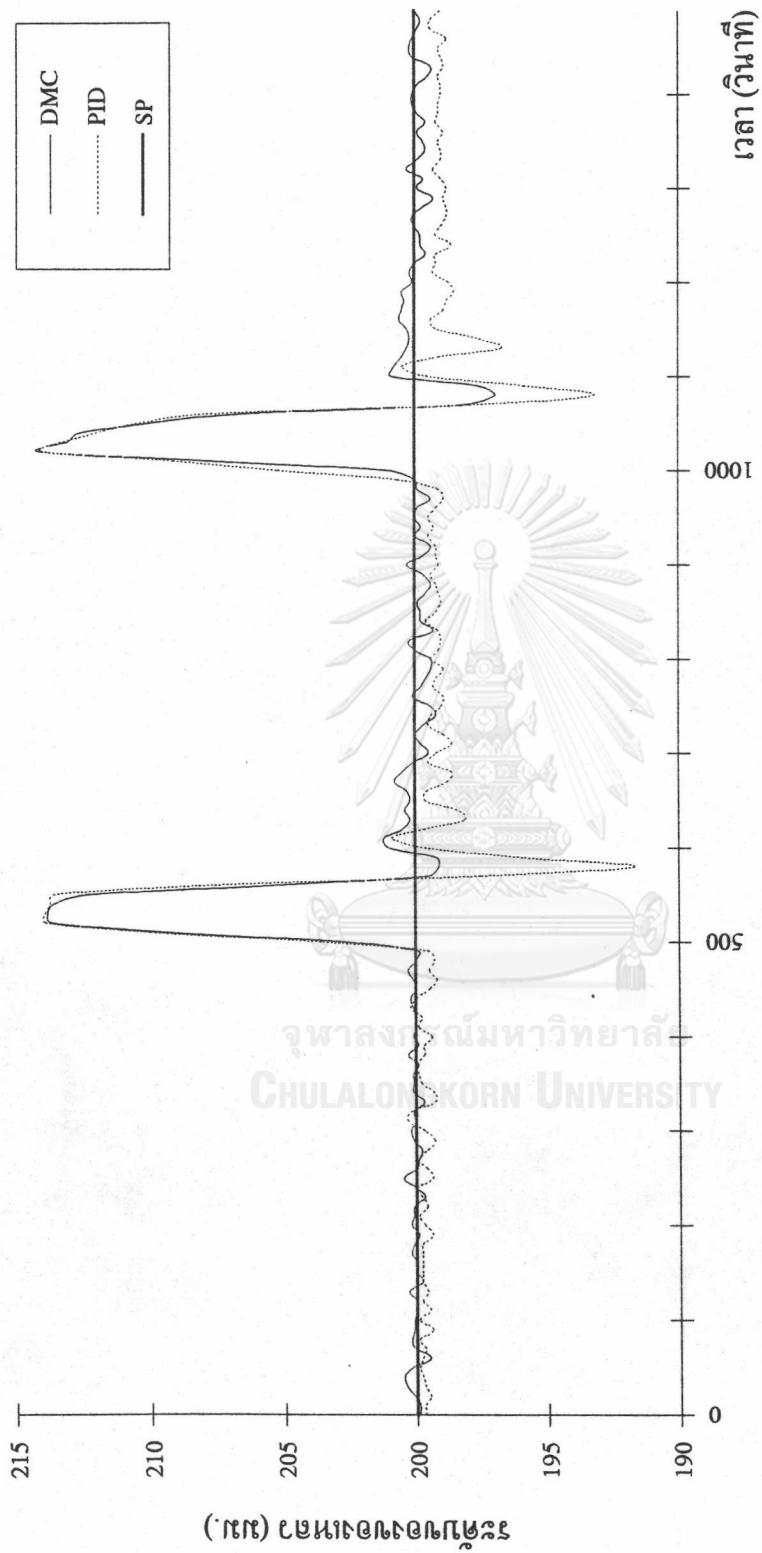
ตัวควบคุม	อินพุท	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด	
		สิ่งรบกวนน้ำเย็น	สิ่งรบกวนน้ำร้อน
พีไอดี	อัตราการไหลของน้ำเย็น	121.2	147
	อัตราการไหลของน้ำร้อน	102.3	128.9
ดีเอ็มซี	อัตราการไหลของน้ำเย็น	87.5	91.2
	อัตราการไหลของน้ำร้อน	89.7	98



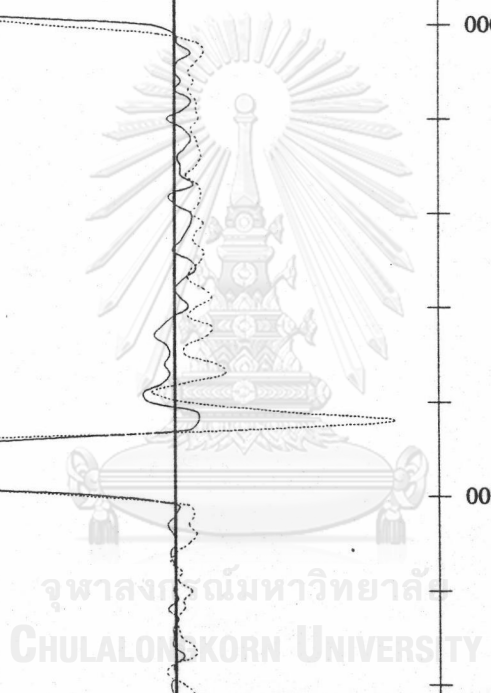
รูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนระดับของเหลวของหาวาระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ปของค่าเซ็ทพอยท์ เมื่อควบคุมระดับของเหลวด้วยอัลตราการไหลของน้ำเย็น

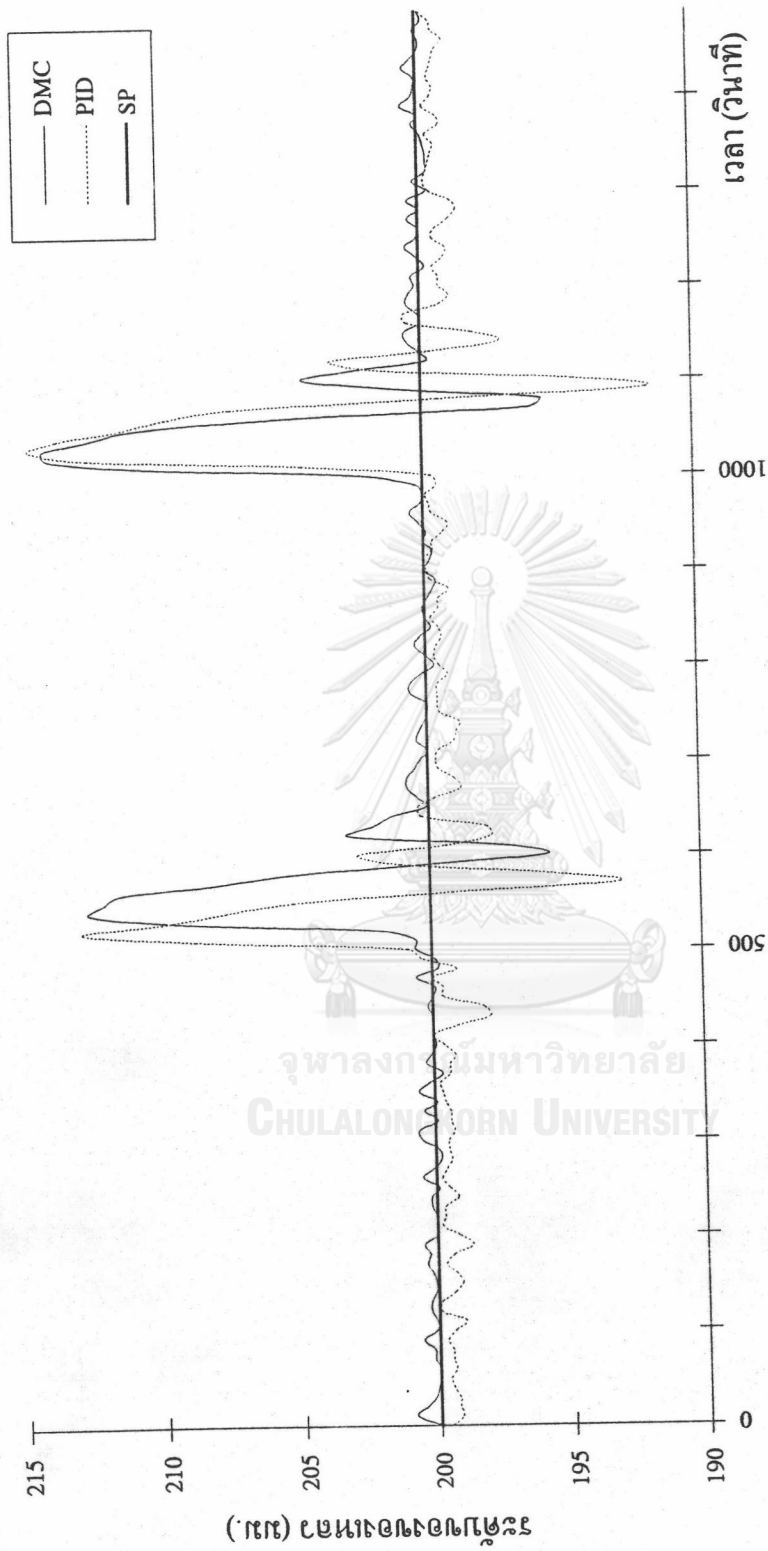


รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนระดับของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ปของค่าเซ็ทพอยท์ เมื่อควบคุมระดับของเหลวด้วยอัลตราการไหลของน้ำร้อน



รูปที่ 5.14 แสดงการเปลี่ยนระดับของอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน เมื่อควบคุมระดับของอุณหภูมิด้วยอัตราการใช้ของน้ำเย็น





รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนระดับของเหลวของเหลวระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน  
เมื่อควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการใช้ของน้ำร้อน



สำหรับการควบคุมระบบเอสไอเอสไอของการควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นเปรียบเทียบระหว่างผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้รับการจูนละเอียดไว้อย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละกรณี และตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีพบว่า

ก. ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ ตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีสามารถลดผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดลง 74.6 % และ 58.1 % เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี สำหรับการควบคุมระดับของเหลวโดยอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำร้อนตามลำดับ

ข. ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงการรบกวน

(1) กรณีสิ่งรบกวนเป็นน้ำเย็น ตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีสามารถลด

ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดลง 27.8 % และ 12.3 % สำหรับการควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำร้อนตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี

(2) กรณีสิ่งรบกวนเป็นน้ำร้อน ตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีสามารถลด

ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดลง 38.0 % และ 24.0 % สำหรับการควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำร้อนตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี

### 5.1.3 ผลการควบคุมระบบแบบเอ็มไอเอ็มโอ

จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการสามารถจะเลือกการจับคู่ที่เหมาะสมระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตได้โดยวิธีการหาค่าอะเรย์เกนสัมพัทธ์ได้ ดังนี้

$$\Lambda = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{น้ำเย็น} & \text{น้ำร้อน} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{ระดับของเหลว} \\ \text{อุณหภูมิ} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.58 & 0.42 \\ 0.42 & 0.58 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

จะพบว่าอินพุตและเอาต์พุตทั้งคู่มีอินเตอร์แอคชันต่อกันค่อนข้างมาก ดังนั้น จากค่าอะเรย์เกนสัมพัทธ์จะเลือกคู่การควบคุมสำหรับตัวควบคุมพีไอดีให้เหมาะสมที่สุดโดยใช้ อัตราการไหลของน้ำเย็นเป็นตัวแปรปรับสำหรับควบคุมระดับของเหลว และอัตราการไหลของน้ำร้อนเป็นตัวแปรปรับสำหรับควบคุมอุณหภูมิ

#### (1) ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอแบบอัตโนมัติ

ต่อการเปลี่ยนแปลงสเต็ปของค่าเซ็ทพอยท์ของระดับของเหลว

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ของระดับของเหลว

ตัวควบคุม	เอาต์พุต	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด
พีไอดี	ระดับของของเหลว	1065.8
	อุณหภูมิ	415.6
ดีเอ็มซี	ระดับของของเหลว	1059.0
	อุณหภูมิ	120.1

## (2) ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอแบบอัตโนมัติ

ต่อการเปลี่ยนแปลงสเด็จพระของค่าเซทพอยท์ของอุณหภูมิ

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลง  
ค่าเซทพอยท์ของอุณหภูมิ

ตัวควบคุม	เอาท์พุท	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด
พีไอดี	ระดับของของเหลว	1379.4
	อุณหภูมิ	1174.6
ดีเอ็มซี	ระดับของของเหลว	1303.5
	อุณหภูมิ	306.0

## (3) ผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอแบบอัตโนมัติ

ต่อการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอต่อการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน

ตัวควบคุม	เอาท์พุท	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (มม.)	
		สิ่งรบกวนน้ำเย็น	สิ่งรบกวนน้ำร้อน
พีไอ	ระดับของของเหลว	481	481.5
	อุณหภูมิ	76.3	350.2
ดีเอ็มซี	ระดับของของเหลว	285.4	204.5
	อุณหภูมิ	77.8	235.1

ตัวแปรที่ใช้สำหรับการควบคุมระบบแบบเอ็มไอเอ็มโอ ( $T_s = 10$  วินาที)

ตัวแปรของตัวควบคุมพีไอดี

ตัวควบคุมระดับของเหลว  $K_c = 0.4$   $T_I = 200$  วินาที  $T_D = 0$

ตัวควบคุมอุณหภูมิ  $K_c = 2.5$   $T_I = 3000$ วินาที  $T_D = 0$

ตัวแปรของตัวควบคุมดีเอ็มซี

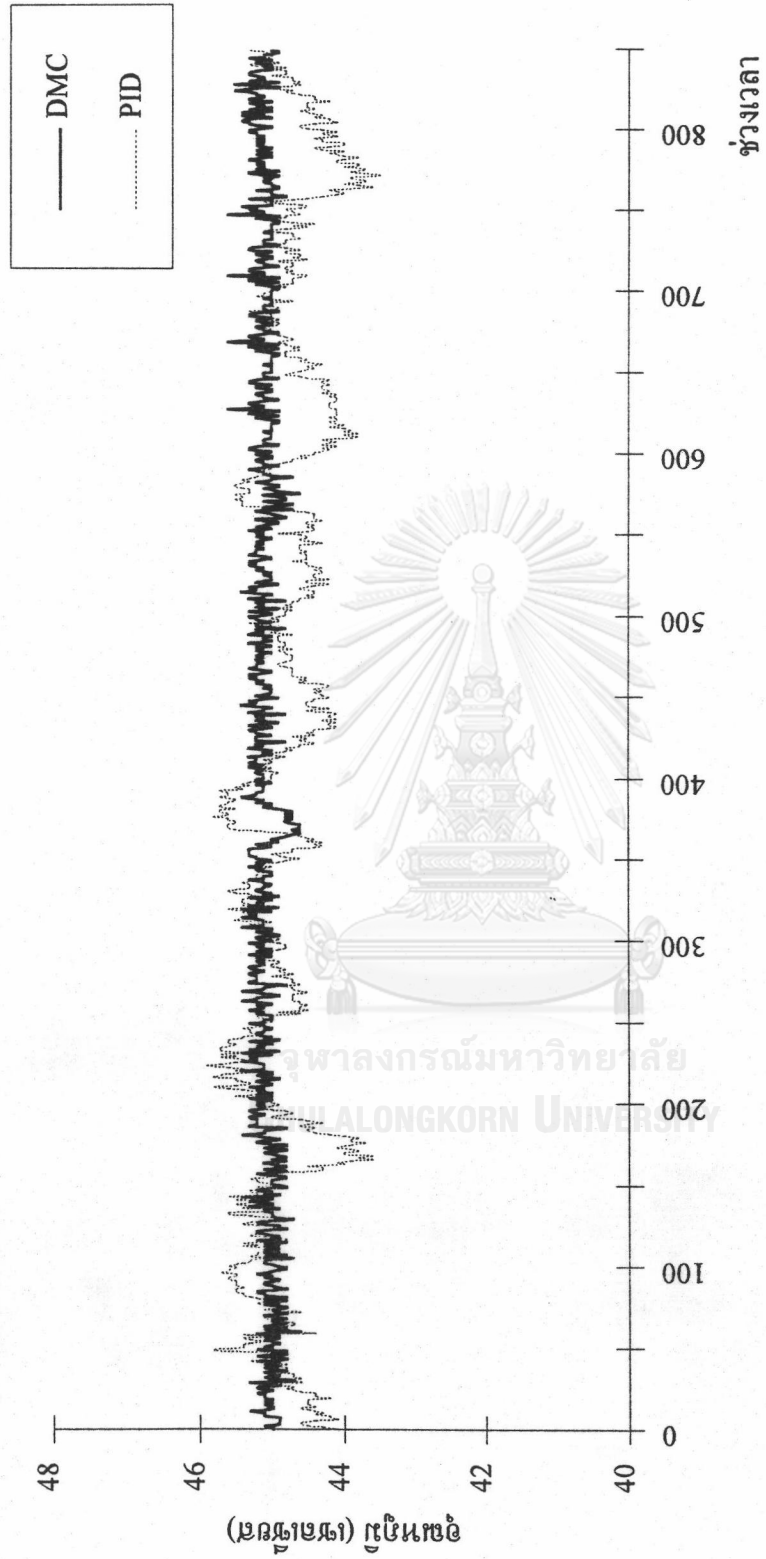
$N_C = 15$   $N_P = 60$

ค่าแฟกเตอร์น้ำหนักของน้ำเย็น  $w_1 = 0.25$

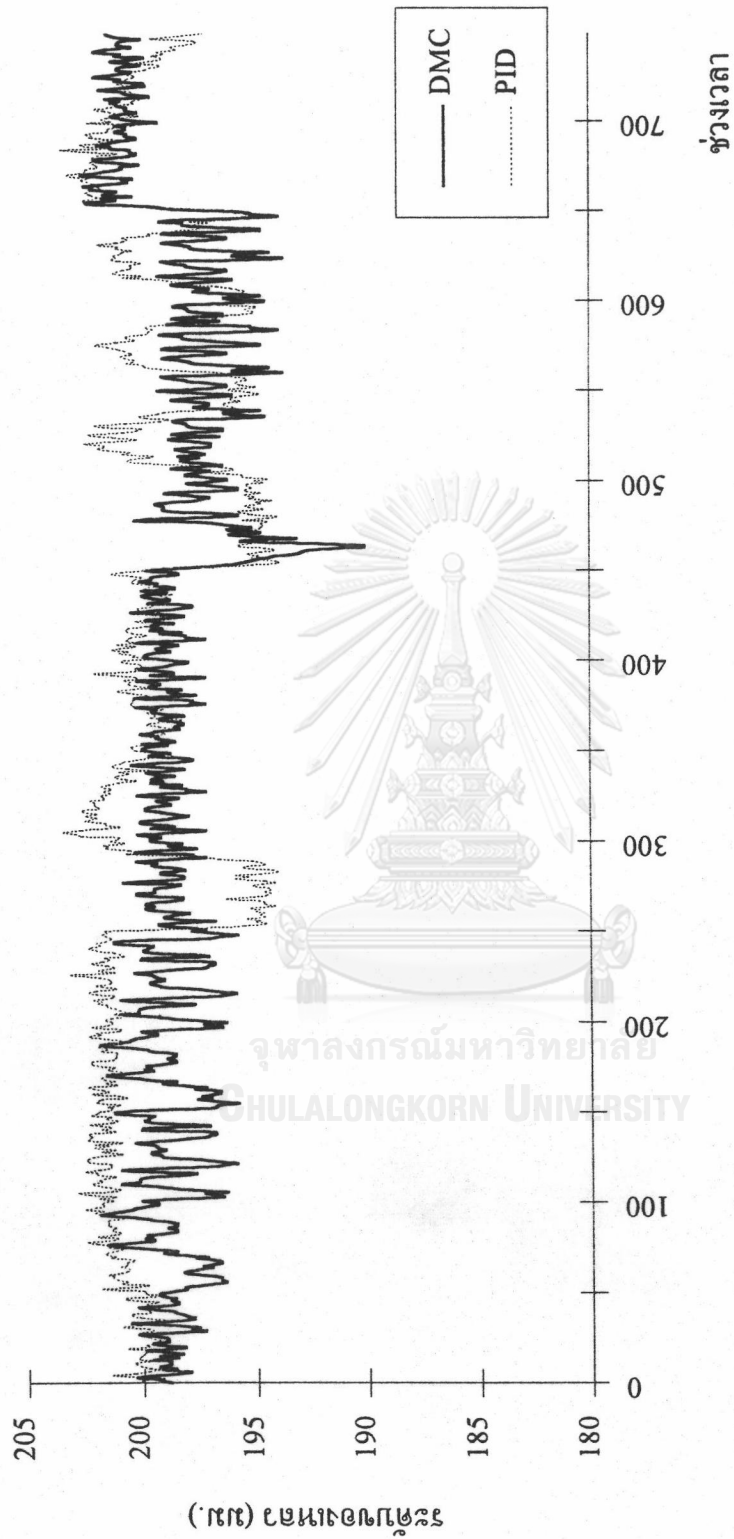
ค่าแฟกเตอร์น้ำหนักของน้ำร้อน  $w_2 = 0.75$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

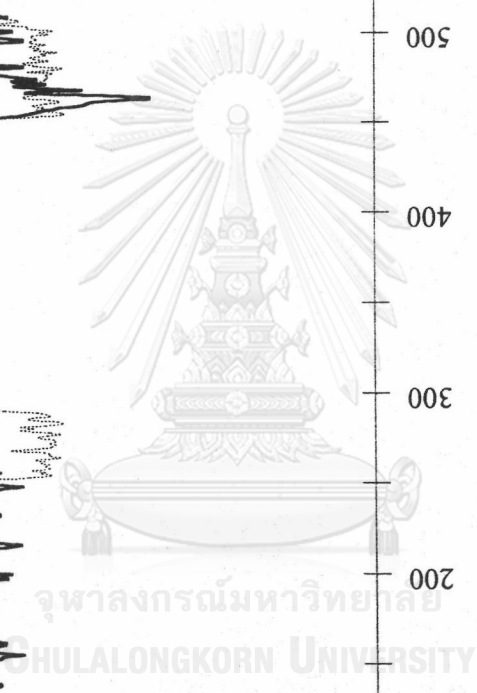


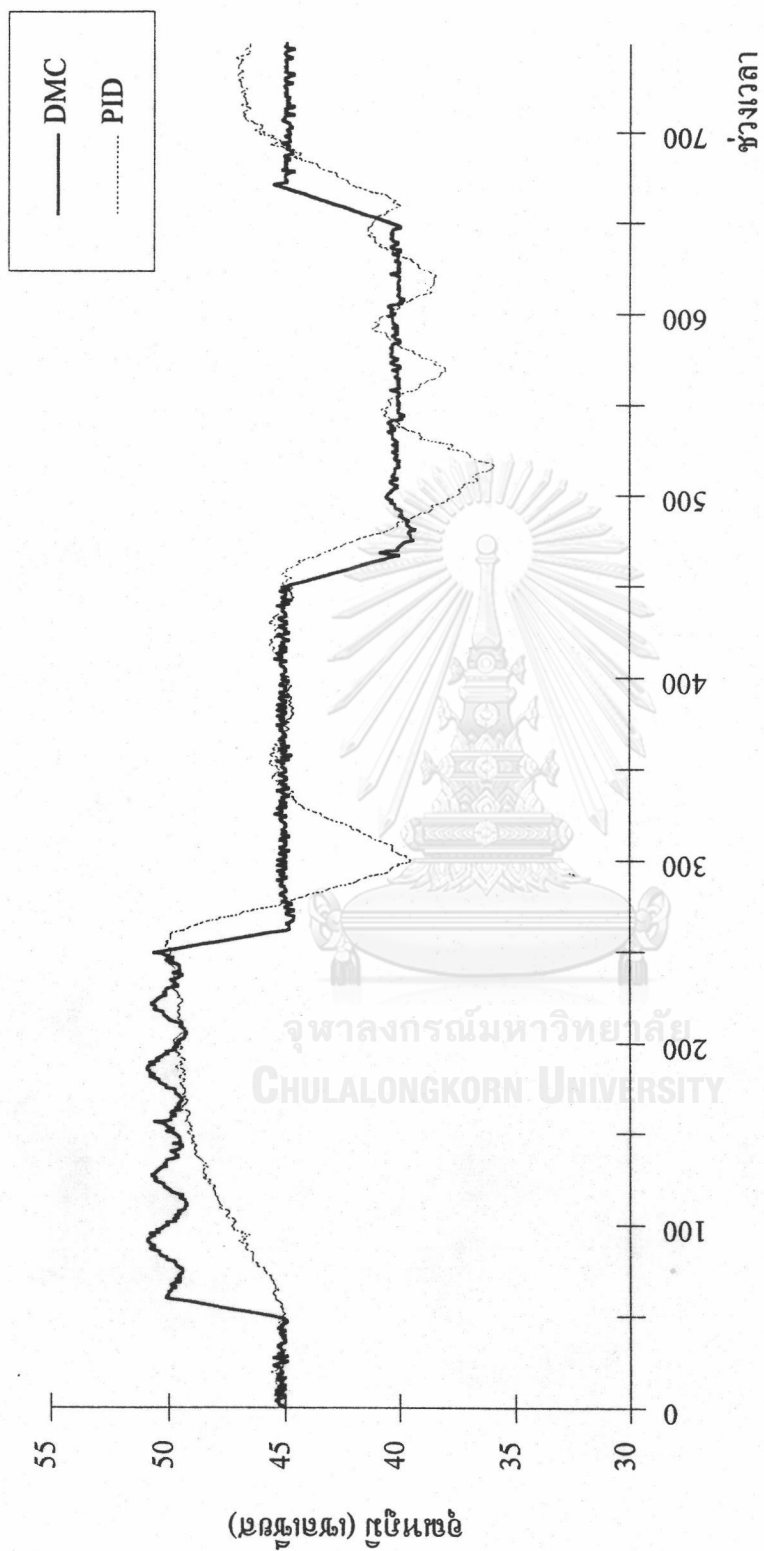


รูปที่ 5.17 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป  
ของค่าเซ็ทพอยท์ของระดับของเหลว สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ



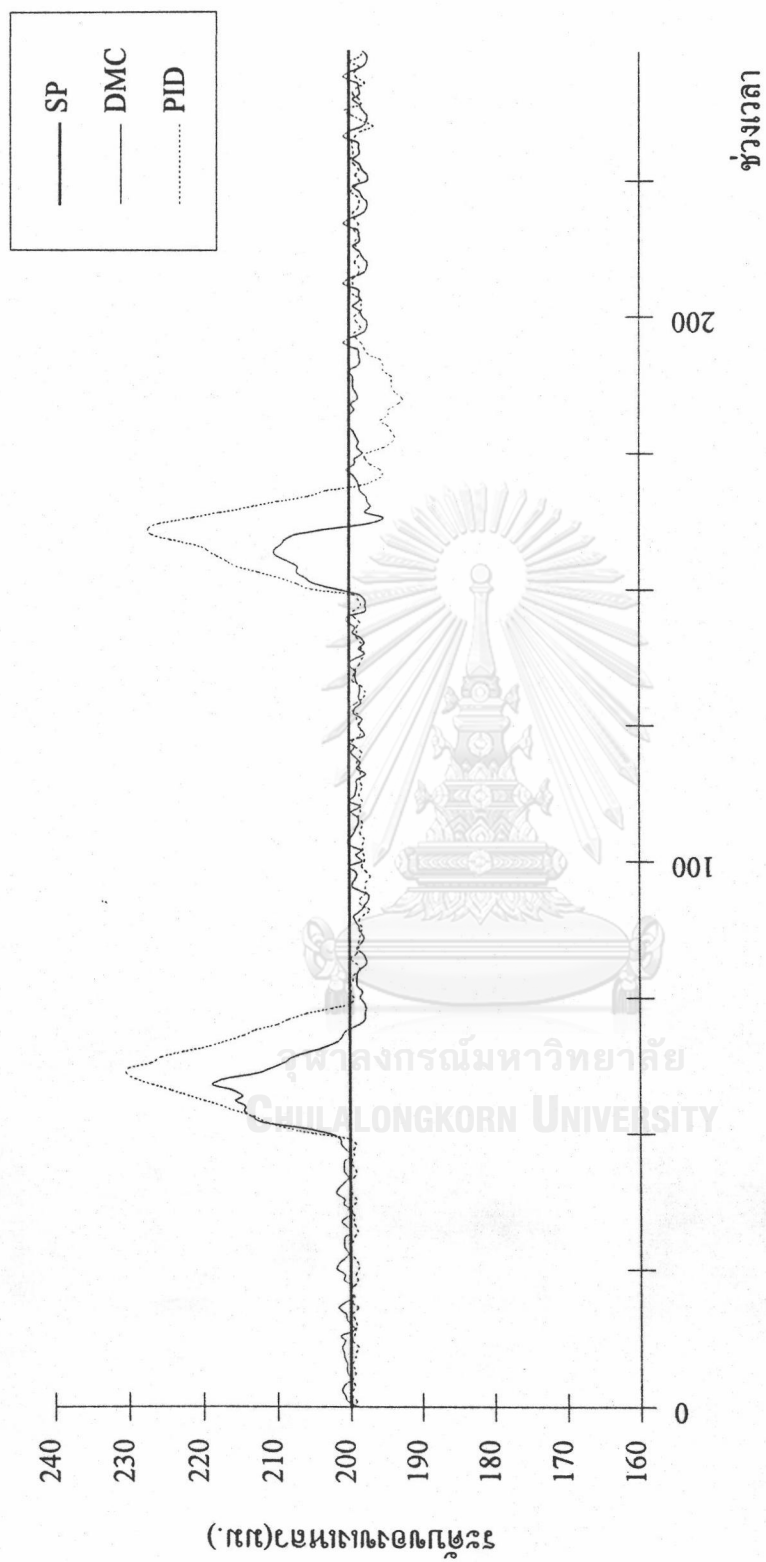
รูปที่ 5.18 แสดงการเปลี่ยนระดับของอุณหภูมิระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ปของค่าตั้งเป้าหมายของอุณหภูมิ สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ



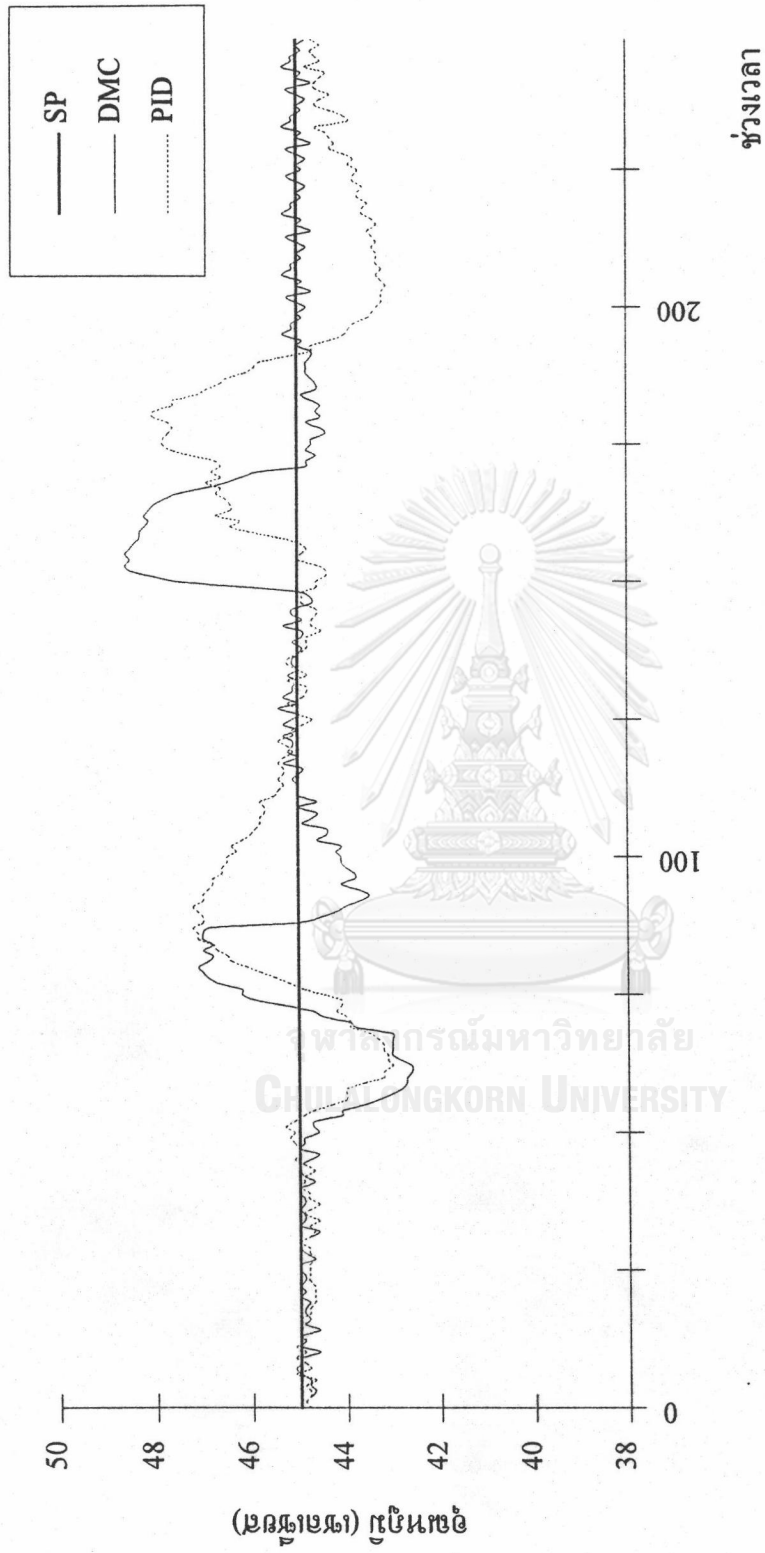


รูปที่ 5.19 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิของหลอดความร้อนระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป  
 ของค่าเซ็ทพอยท์ของอุณหภูมิ สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ





รูปที่ 5.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับของแรงดันระหว่างการควบคุมอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ



รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนอุณหภูมิของหลอดระหว่างการทำงานของอัตโนมัติและมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน

สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ

จากผลการทดลองการควบคุมระบบเอ็มไอเอ็มโอด้วยตัวควบคุมแบบดีเอ็มซีและพีไอดี เมื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของตัวควบคุมที่ได้รับการจูนอย่างเหมาะสมของทั้งคู่ พบว่า

ก. กรณีของการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ของระดับของเหลว ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดของระดับของเหลวได้ใกล้เคียงกับ ตัวควบคุมแบบพีไอดี คือลดลง 0.6 % แต่สำหรับอนุกรมวิพบว่า ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดลดลง 71.1 %

ข. กรณีของการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ของอุณหภูมิ ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดของระดับของเหลวได้ใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบพีไอดีเช่นกัน คือ ลดลง 5.5 % แต่สำหรับอนุกรมวิพบว่า ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดลดลง 73.94 %

ค. กรณีของการเปลี่ยนแปลงการรบกวน

(1) กรณีตัวรบกวนเป็นน้ำเย็น ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดของระดับของเหลวลดลง 40.6 % แต่สำหรับอนุกรมวิตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกันกับตัวควบคุมพีไอดี

(2) กรณีตัวรบกวนเป็นน้ำร้อน ตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดของระดับของเหลวลดลง 57.5 % และสำหรับอนุกรมวิตัวควบคุมดีเอ็มซีให้ผลของค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดลดลง 23.8% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี

ค. ตัวควบคุมดีเอ็มซีในกรณีของระบบเอ็มไอเอ็มโอ ต้องมีค่าפקเตอร์น้ำหนัก  $w$  เข้า  
 ช่วยในการปรับให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุตทั้งสองตัวเหมาะสม จากการทดลองพบว่า  
 ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ  $w = 0.75$  และ  $0.25$  สำหรับอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นตาม  
 ลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากค่าเกณฑ์ของอัตราการไหลของน้ำร้อนต่อเอาท์พุททั้งสองตัวแปร มีค่ามากกว่า  
 ค่าเกณฑ์ของอัตราการไหลของน้ำเย็น

#### 5.1.4 ผลการทดสอบความรอบัสด์ (robustness) ของตัวควบคุมดีเอ็มซี

##### (1) ความรอบัสด์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการ

จากการทดสอบการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซีแบบเอสไอเอสไอของการควบคุม  
 ระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็น โดยการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ไปจากจุด  
 ปฏิบัติการปกติที่เคยทำการทดสอบคือ ที่ระดับของเหลว 200 มิลลิเมตร ไปที่ ระดับของเหลว  
 150 มิลลิเมตร และ 250 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี ได้ผลดังตารางที่ 5.9 และ  
 รูปที่ 5.22 - 5.24

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดสอบความรอบรู้ต่อการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการ  
ของตัวควบคุมดีเอ็มซี

ตัวควบคุม	ค่าเซ็ทพอยท์	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด
พีไอ	150	329
	200	331
	250	442.8
ดีเอ็มซี	150	163.7
	200	253.9
	250	299.2

(2) ความรอบรู้เมื่อมีการผิดพลาดของโมเดล

จากการทดสอบการควบคุมของตัวควบคุมดีเอ็มซีแบบเอสไอเอสโอของการควบคุม  
ระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็น เมื่อทำให้โมเดลหรือไดนามิกแมทริกซ์มีค่าความ  
ผิดพลาดไปจากเดิม 10% 30% และ 50% ได้ผลการควบคุมดังตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.25  
ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดสอบความรอบรู้ต่อความผิดพลาดของโมเดลของตัวควบคุม  
ดีเอ็มซีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ปของค่าเซ็ทพอยท์

ค่าความผิดพลาดของ ไดนามิกแมทริกซ์	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด
0%	253.9
10%	254.6
30%	305.0
50%	300.1

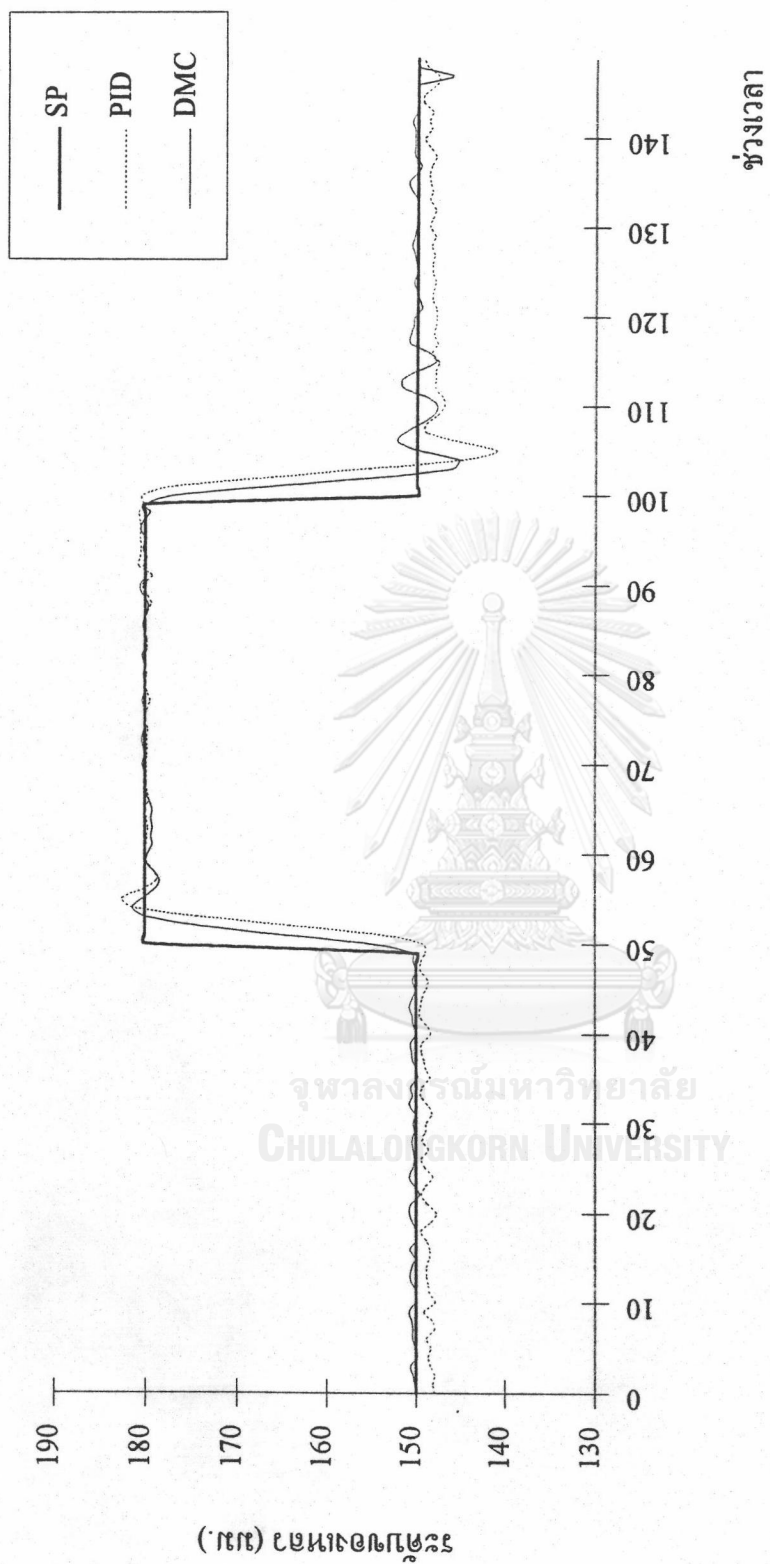
ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดสอบความรอบัสดัต่อความผิดพลาดของโมเดลของ

ตัวควบคุมดีเอ็มซีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการรบกวน

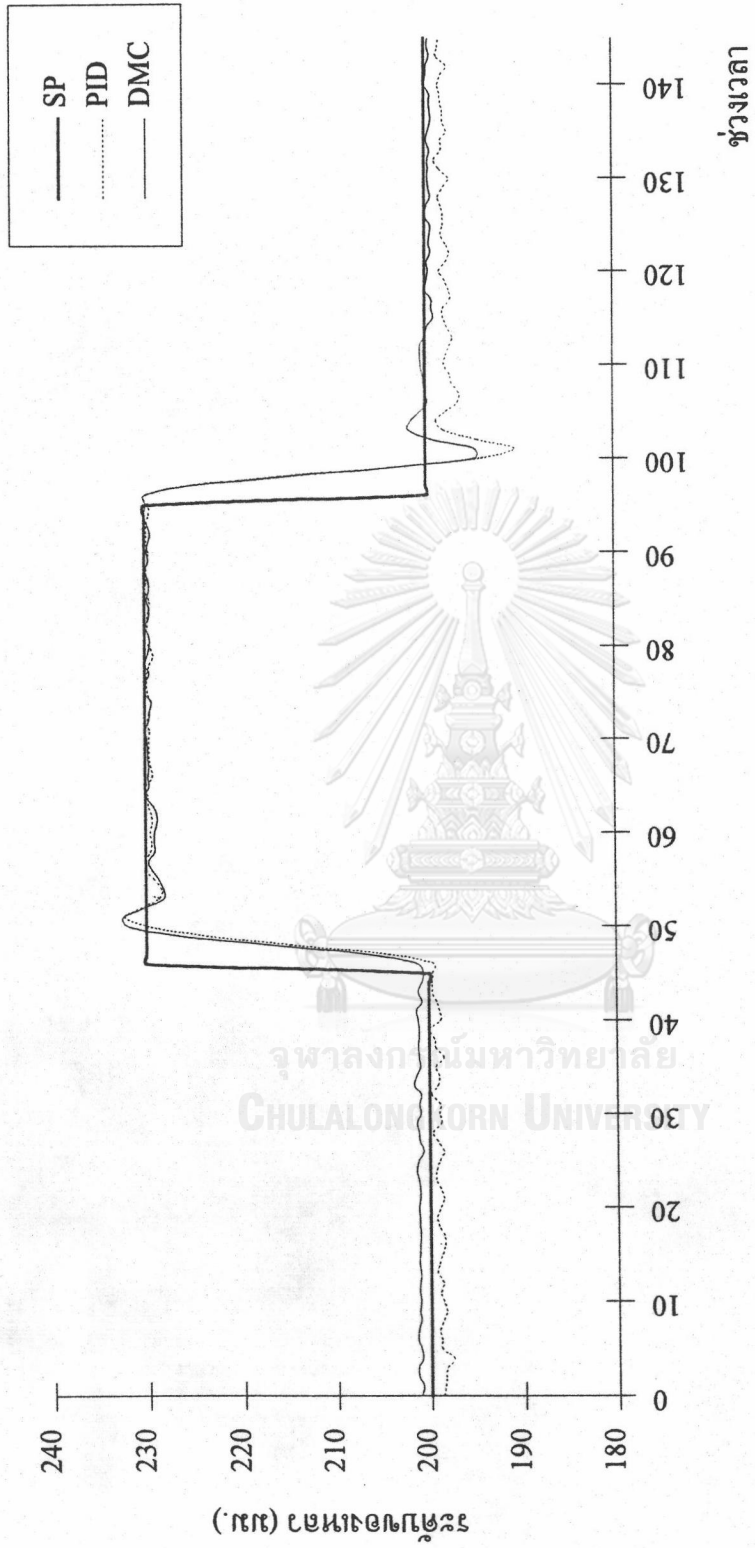
ค่าความผิดพลาดของ ไดนามิกแมทริกซ์	ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด
0%	216
10%	239.9
30%	246.5
50%	260.8

ผลการทดสอบความรอบัสดัของตัวควบคุมดีเอ็มซี ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการจากการทดสอบกับตัวควบคุมระดับของเหลวด้วยอัตราการไหลของน้ำเย็น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี พบว่าตัวควบคุมดีเอ็มซียังคงสามารถรักษาประสิทธิภาพในการควบคุมไว้ได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะการควบคุมจากจุดปฏิบัติการจุดหนึ่งไปยังจุดปฏิบัติการอีกจุดหนึ่ง

สำหรับ ในกรณีเมื่อมีค่าความผิดพลาดของไดนามิกแมทริกซ์หรือ โมเดลของตัวควบคุมดีเอ็มซี พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความผิดพลาดของโมเดลจาก 0% ,10% ,30% และ 50% แล้ว ค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดีเอ็มซียังสามารถทำการควบคุมได้ดีในขณะที่มีค่าความผิดพลาดของโมเดล และถึงแม้ว่า ความผิดพลาดของโมเดลมากถึง 50% ก็ยังคงให้ค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดน้อยกว่าตัวควบคุมพีไอดี



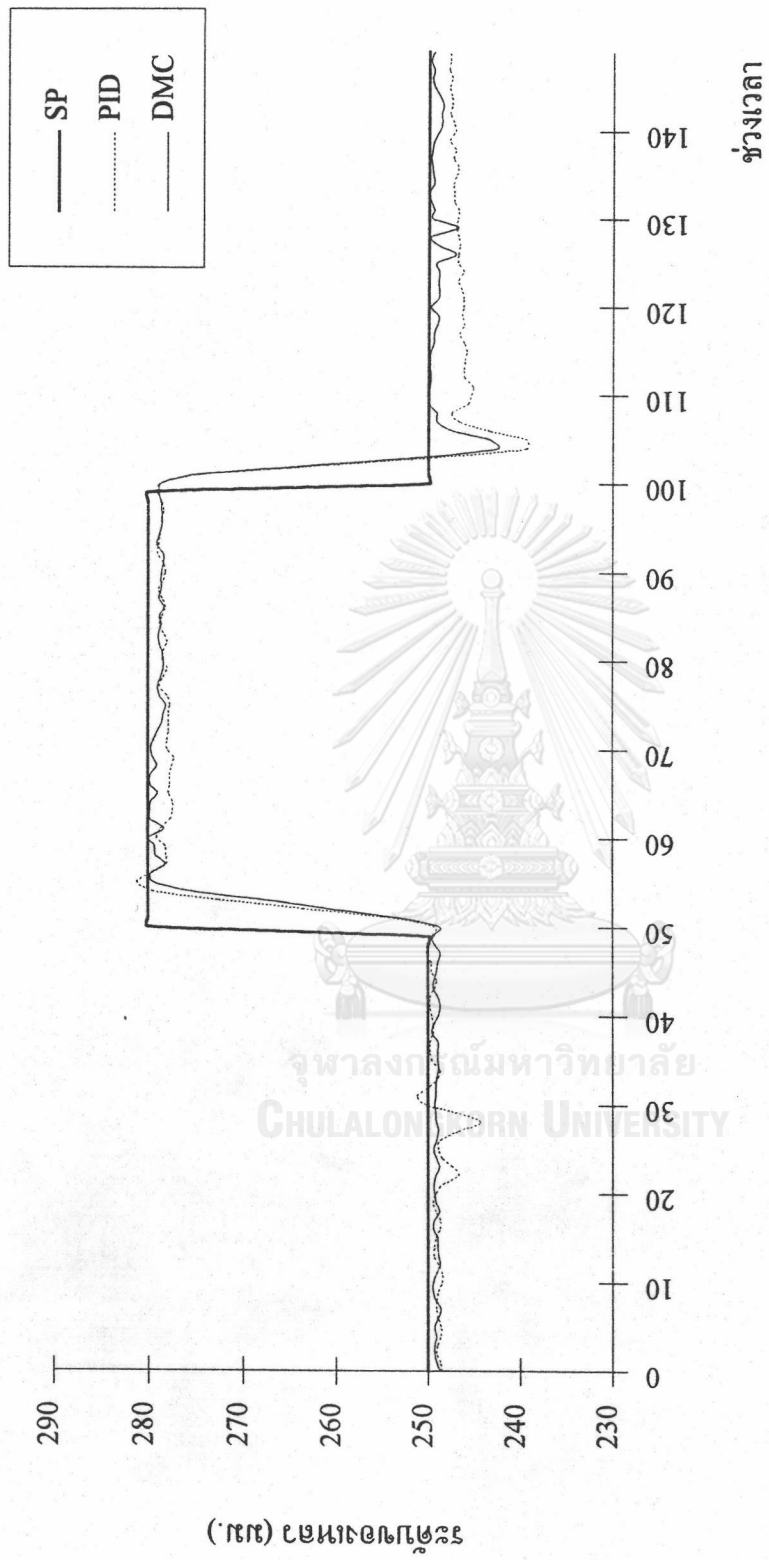
รูปที่ 5.22 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมที่เริ่มที่เซ็ทพอยท์ 150 มม.



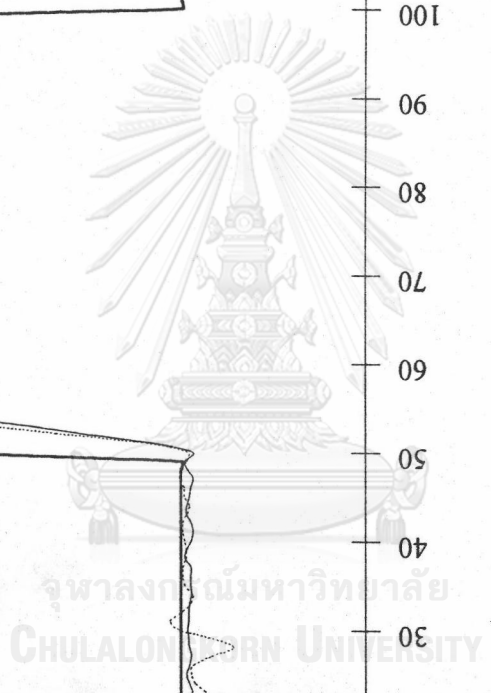
รูปที่ 5.23 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมที่เพิ่มซึ่งใช้ที่เซตพอยท์ 200 มม.

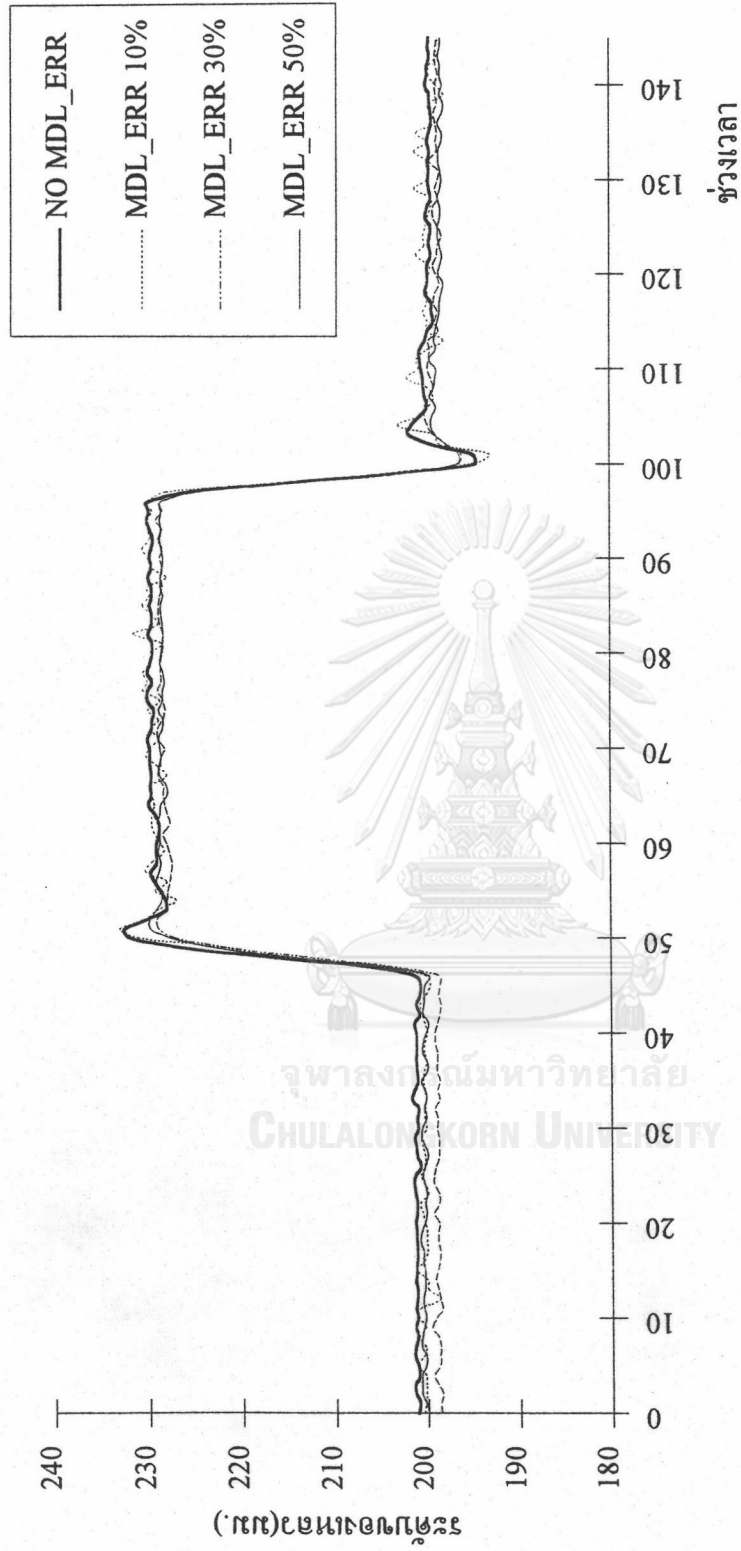
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





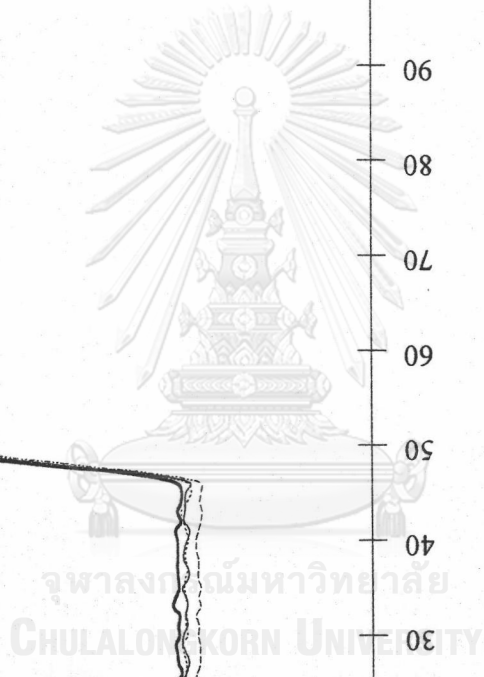
รูปที่ 5.24 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีอีซีที่เซตพอยท์ 250 มม.

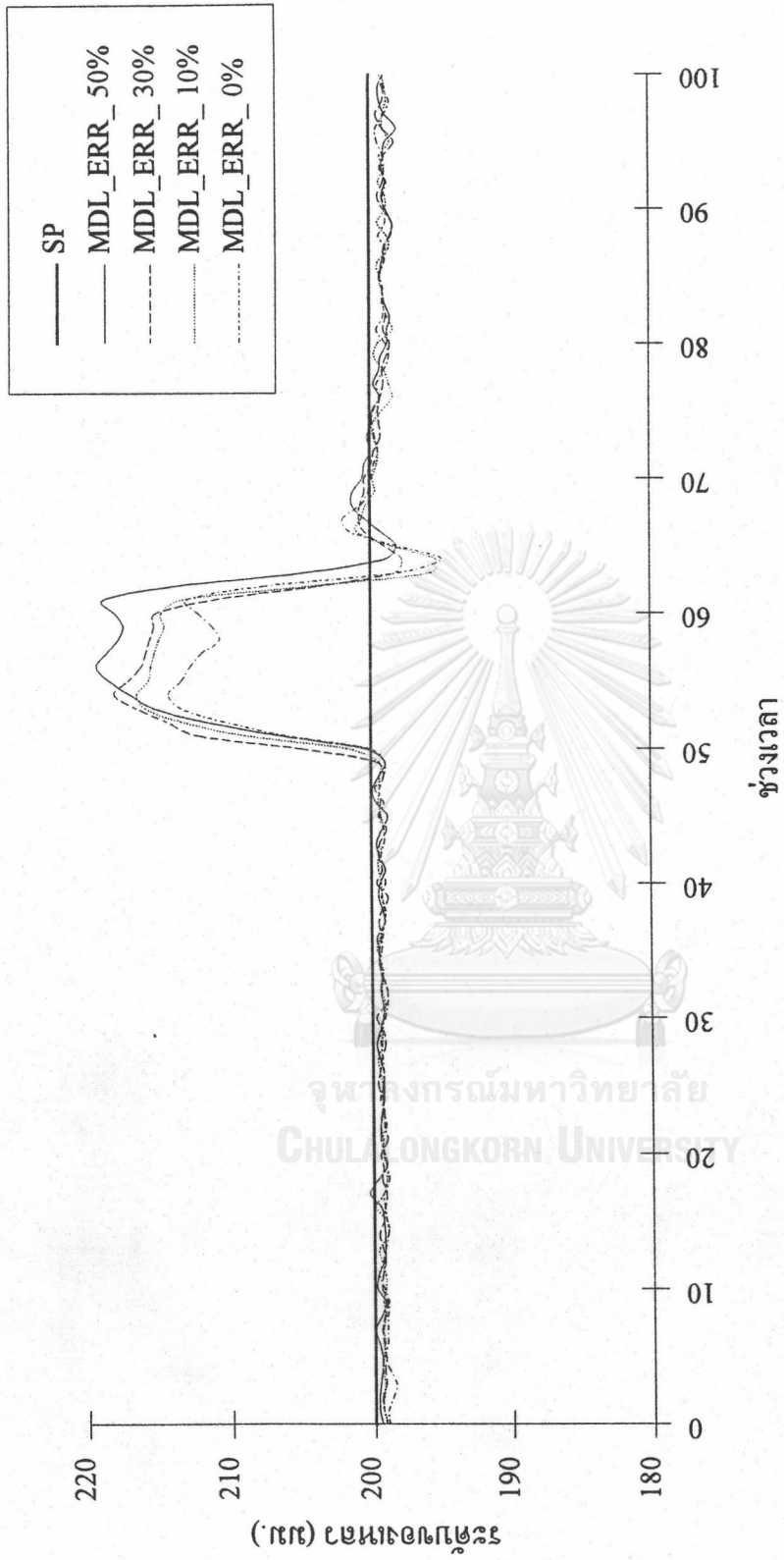




รูปที่ 5.25 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีดีเอ็มซี เมื่อมีค่าความผิดพลาดของไดนามิกแมทริกซ์

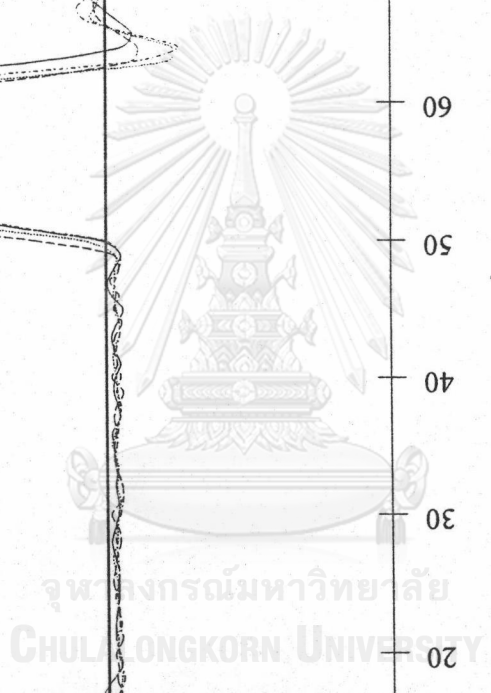
และมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์





รูปที่ 5.26 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีเอ็มซี เมื่อมีค่าความผิดพลาดของไดนามิกแมทริกซ์

และมีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ



## 5.2 สรุปผล

- (1) ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวควบคุมดีเอ็มซี คือ จำนวนช่วงเวลาในการทำนายค่าตัวแปรเอาท์พุท, NP จำนวนช่วงเวลาในการปรับตัวแปรปรับ, NC และแฟกเตอร์น้ำหนัก, w สำหรับระบบดังผสมที่ทำการศึกษาเมื่อค่าคาบการเก็บตัวอย่างเท่ากับ 10 วินาที ค่า NP และ NC ที่เหมาะสมคือ 60 และ 15 ตามลำดับ โดยมีค่าแฟกเตอร์น้ำหนักเป็นตัวแปรในการจูนละเอียด
- (2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมระหว่างตัวควบคุมดีเอ็มซีและพีไอดี สำหรับระบบเอสไอเอสโอ 4 กรณี พบว่า ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดจากตัวควบคุมดีเอ็มซีมีค่าน้อยกว่าจากตัวควบคุมพีไอดีทั้ง 4 กรณี
- (3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมระหว่างตัวควบคุมดีเอ็มซีและพีไอดี สำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ 8 กรณี พบว่า ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดจากตัวควบคุมดีเอ็มซีมีค่าน้อยกว่าจากตัวควบคุมพีไอดี 5 กรณี และมีค่าใกล้เคียงกัน 3 กรณี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมดีเอ็มซีสามารถแก้ปัญหาลักษณะอินเตอร์แอกชันระหว่างลูปควบคุมได้จริง
- (4) ตัวควบคุมดีเอ็มซีมีความรอบคอบที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอดี จากการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการ หรือการสร้าง โมเดล ให้มีความผิดพลาด
- (5) สำหรับระบบที่มีตัวแปรอินพุท และเอาท์พุทมากกว่าสองตัวแปร สามารถจะนำตัวควบคุมดีเอ็มซีไปอิมพลีเม้นท์ได้ โดยไม่ซับซ้อนยุ่งยาก เพียงแต่หาค่าการตอบสนองต่อสแต็ป

ของอินพุตต่อเอาต์พุตให้ครบทุกคู่ แล้วนำมาสร้างเป็นไดนามิกแมทริกซ์ขยายเพิ่มเข้าไปจากเดิม และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมคือ ค่าแฟกเตอร์น้ำหนัก  $w$  ให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมดีเอ็มซีเป็นเทคนิคการควบคุมแบบสมัยใหม่ที่วิศวกรควบคุมสามารถทำความเข้าใจและนำไปใช้งานได้ โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากเกินไป

### 5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

(1) เนื่องจากตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิอยู่ที่ระดับ 160 มิลลิเมตร ดังนั้นทำให้การควบคุมอุณหภูมิจะมีความผิดพลาดถ้าระดับของเหลวต่ำกว่านี้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจะต้องปรับปรุงตำแหน่งของตัววัดอุณหภูมิให้อยู่ในตำแหน่งต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

(2) แก้ปัญหากระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอ เพื่อจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนเป็น 70 หรือ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้สามารถขยายช่วงการทดสอบให้กว้างขึ้น

(3) ออกแบบถังให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถทำการทดสอบการตอบสนองต่อสเต็ปได้เหมาะสมกับค่าเกนและค่าคงตัวเวลาของกระบวนการ

(4) ถ้าสามารถแก้ปัญหาอุปกรณ์ให้เหมาะสม ดังกล่าวข้างต้นแล้ว การทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมควรจะทดสอบการตอบสนองต่อสเต็ปที่บริเวณรอบจุดของค่าเซ็ทพอยท์ และควรทดสอบทั้งลักษณะสัญญาณแบบสเต็ปและสัญญาณแบบพัลส์ เพื่อพิจารณาว่า จะมีความแตกต่างกันหรือไม่ และทำการทดสอบความรอบบัสต์ของตัวควบคุมดีเอ็มซีสำหรับ

ระบบเอ็มไอเอ็มโอ โดยมีทั้งการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการของระดับและอุณหภูมิ รวมทั้งมีการ  
ผิดพลาดของโมเดลทั้งระบบด้วย

(5) การพัฒนาโปรแกรมขั้นต่อไป สามารถนำขอบเขตของตัวแปรอินพุท และตัวแปร  
เอาต์พุททั้งหมดมาเป็นขอบเขตของตัวควบคุม เพื่อศึกษาหลักการออปติไมซ์ระบบ โดยตัวควบคุม  
คูดิเอ็มซี ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY