

## บทที่ 7

### ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

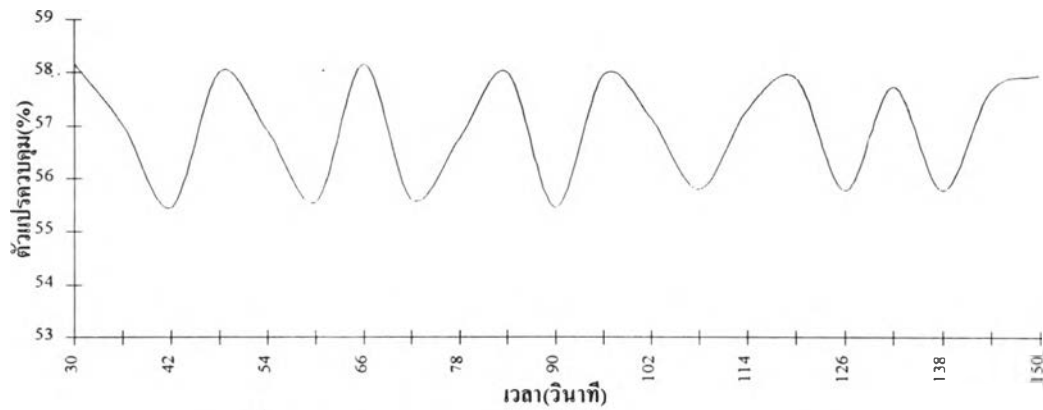
เนื้อหาของบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดสอบและการเปรียบเทียบวิเคราะห์ผล การควบคุมในแต่ละขั้นตอน เพื่อที่จะใช้ในการสรุปผลตลอดจนข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางใน การศึกษาหรือการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

#### 7.1 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 7.1.1 ผลการปรับจูนตัวควบคุม

###### ก. ตัวควบคุมพีไอดี

เทคนิคการปรับจูนตัวควบคุมพีไอดีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Continuous cycling method) ของซีเกลอร์และนิค โคลส์ (Seborg et al., 1989) ซึ่งเหมาะกับ กระบวนการที่มีพลวัตค่อนข้างเร็ว และเป็นวิธีที่ง่าย การปรับจูนทำที่ระดับความสูงปฏิบัติการ เซ็ทพอยท์ 50% ซึ่งใช้เป็นระดับปฏิบัติการที่สภาวะปกติของกระบวนการ จากการทดลองหา ผลตอบสนองของกระบวนการลูปปิดเพื่อใช้คำนวณหาพารามิเตอร์ปรับจูน ได้ผลดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ผลการทดลองหาค่าเกินสุดยอดและคาบเวลา

จากการทดลองหาค่าเกินสุดยอดและคาบเวลาผลที่ได้คือ

เกินสุดยอด ( $K_{cu}$ ) = 16

คาบเวลาเมื่อเกินสุดยอด ( $P_u$ ) = 20 วินาที

นำผลที่ได้มาหาค่าพารามิเตอร์ปรับจูนตามตารางของ ซีกเลอร์และนิคโคลส์ สำหรับตัว

ควบคุมแบบพีไอโดย

$$K_c = K_{cu} * 0.45$$

$$= 16 * 0.45 = 7.2$$

และ  $\tau_I = P_u / 1.2$

$$= 20 / 1.2 = 16.7$$

ปรับจูนละเอียดอีกครั้งจะได้พารามิเตอร์ปรับจูนตามตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 พารามิเตอร์ปรับจูนสำหรับตัวควบคุมพีไอดี

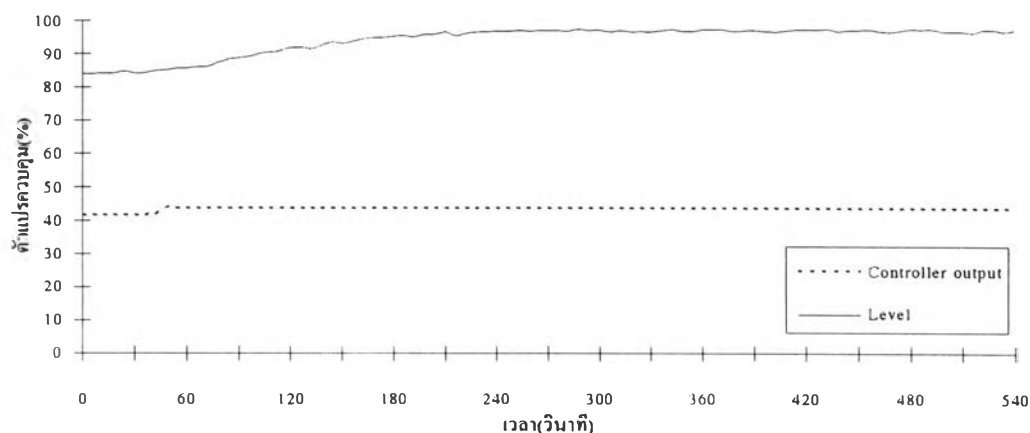
$K_c$	$\tau_I$ (วินาที)	$\tau_D$ (วินาที)
5.8	20.8	0

ข. ตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน

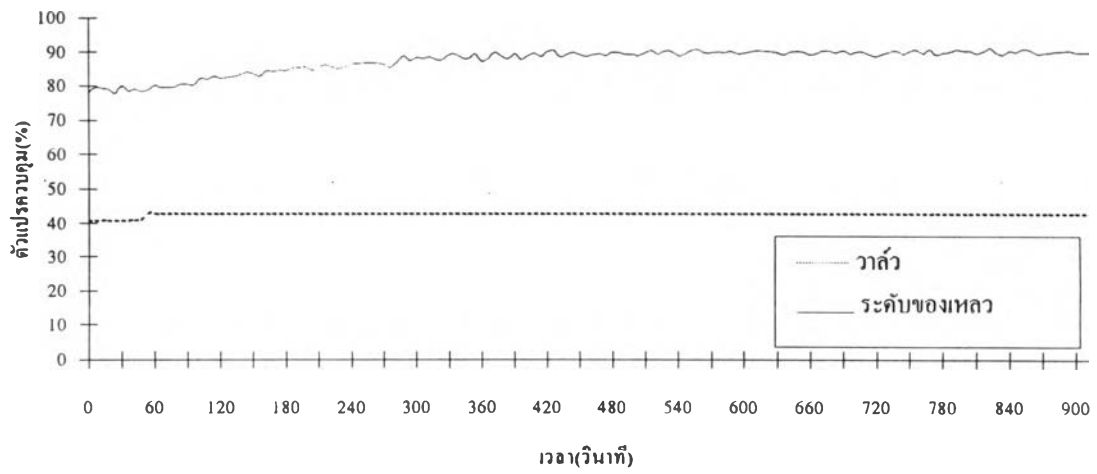
การปรับจูนตัวควบคุมพีไอดีแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับการปรับจูนตัวควบคุมพีไอดีธรรมดาแต่จะแบ่งการปรับจูนเป็น 5 จุดซึ่งมี  $K_c$  ต่างกันไป โดยใช้  $\tau_I$  ค่าเดิมคือ 20.8 วินาที เทคนิคการหาค่า  $K_c$  ในแต่ละจุดคือ ผลคูณเกณฑ์เปิดคงที่แสดงซึ่งในสมการที่ (7.1)

$$K_c K_p = \text{Constant} \quad (7.1)$$

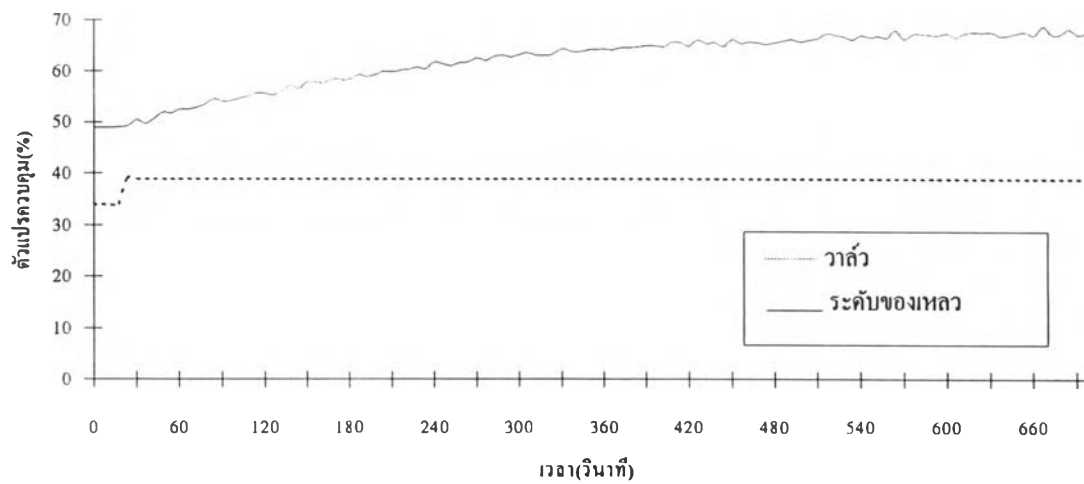
ทำการหาค่า  $K_p$  ในแต่ละจุดโดยวิธีหาผลตอบสนองวงรอบการเปิด (Process reaction curve methods) ที่ระดับความสูงต่างๆ กันได้ผลดังรูปที่ 7.2 - 7.6 และตารางที่ 7.2



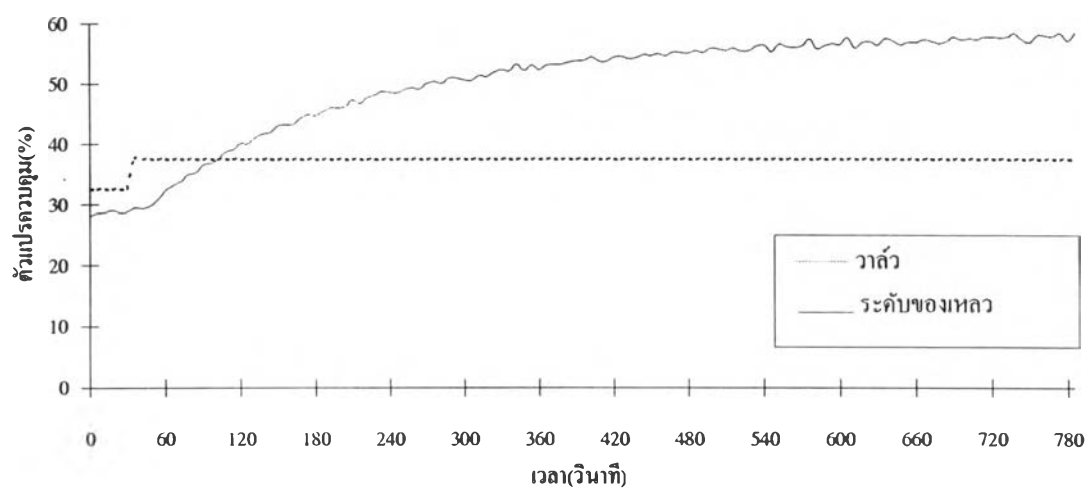
รูปที่ 7.2 ผลตอบสนองวงรอบการเปิดที่ระดับความสูง 85 %



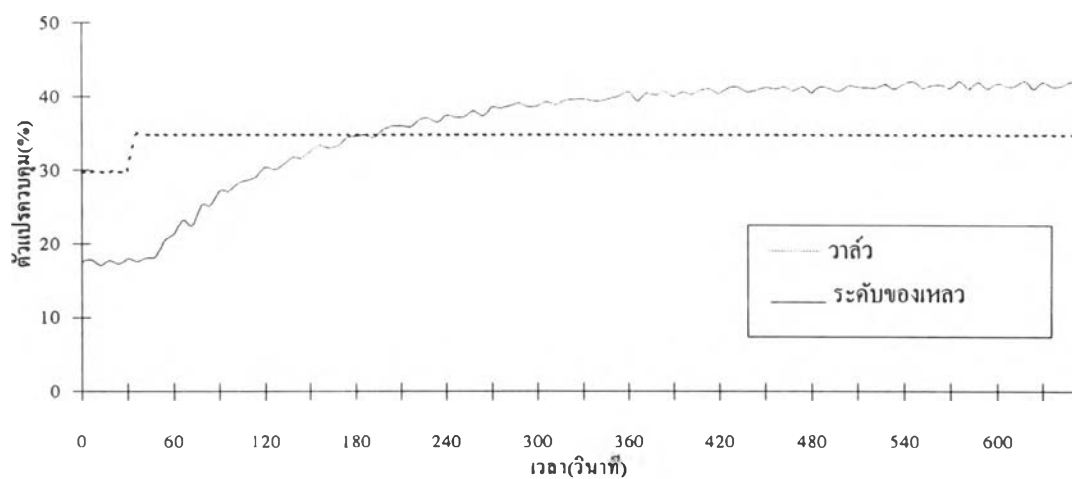
รูปที่ 7.3 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 80 %



รูปที่ 7.4 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 50 %



รูปที่ 7.5 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 30 %



รูปที่ 7.6 ผลตอบสนองกระบวนการเปิดที่ระดับความสูง 20 %

จากผลการทดลองข้างต้นคำนวณหาค่าเกณฑ์ของกระบวนการที่จุดปฏิบัติการต่างๆ ได้  
ตามตารางที่ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.2 ผลการหาค่าเกณฑ์กระบวนการที่ระดับปฏิบัติการต่างๆ

ระดับความสูงปฏิบัติการ (%)	เกณฑ์กระบวนการ ( $K_p$ )
85	7
80	6
50	4
30	5.6
20	5.8

ทำการคำนวณหา  $K_c$  ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยเริ่มจากหาค่าคงที่ในสมการที่ (7.1) โดยใช้  $K_c$   
ที่ระดับความสูงปฏิบัติการ 50 % เป็นหลัก

$$\text{Constant} = K_c K_p = 5.8 * 4 = 23.2$$

ดังนั้นที่ระดับปฏิบัติการ 80 % จะคำนวณค่า  $K_c$  ได้

$$K_c (80\%) = \text{Constant} / K_p(80\%) = 23.2/6 = 4.64$$

ที่ระดับปฏิบัติการ 30 % จะคำนวณค่า  $K_c$  ได้

$$K_c (30\%) = \text{Constant} / K_p(30\%) = 23.2/5.6 = 4.14$$

ส่วน  $K_c$  ที่ระดับปฏิบัติการอื่นๆ จะคำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน

ภายหลังจากทำการปรับจูนละเอียดค่า  $K_c$  ที่ได้ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 พารามิเตอร์ปรับจูนตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน

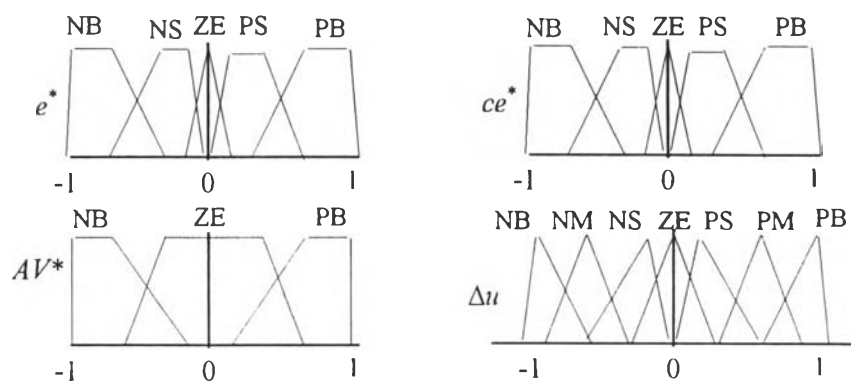
ระดับความสูงปฏิบัติการ (%)	$K_c$
100	1.85
80	3.4
50	5.1
30	4.85
20	4.81

### ค. ตัวควบคุมพีซีลอลจิก

เทคนิคที่ใช้ในการปรับจูนตัวควบคุมพีซีลอลจิกนี้จะเป็นวิธีลองผิดลองถูกโดยการปรับพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว คือ  $S_e$ ,  $S_{ce}$  และ  $S_{\Delta u}$  และปรับจูนละเอียดด้วยฟังก์ชันสมาชิกตามวิธีการและตัวอย่างผลการปรับจูนที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 5 ผลการปรับจูนทั้งหมดแสดงในตารางที่ 7.4 และรูปที่ 7.7 (กฎการควบคุมทั้งหมดแสดงไว้แล้วในบทที่ 5)

ตารางที่ 7.4 พารามิเตอร์ปรับจูนสำหรับตัวควบคุมพีซีลอลจิก

$S_e$	$S_{ce}$	$S_{\Delta u}$
80	17	43



รูปที่ 7.7 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมภายหลังการปรับจูน

### 7.1.2 ผลการควบคุมกระบวนการ

การประเมินผลตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ได้สร้างขึ้น ทำโดยการทดสอบเปรียบเทียบกับ การควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดีและตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ซึ่งตัวควบคุม ทั้งหมดได้รับการปรับจูนอย่างเหมาะสม โดยเลือกช่วงเวลากลับข้อมูลสำหรับกระบวนการ คือ 6 วินาที การทดสอบทำโดยทดสอบการตอบสนองของกระบวนการต่อการเปลี่ยนของ เซ็ตพื้เซ็ทพอยท์ ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน การเปลี่ยน ย่านการทำงานและการทดสอบผลของความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีชชี เพื่อทดสอบความทนทานของการควบคุม

เกณฑ์การตัดสินสมรรถนะการทำงานของตัวควบคุมทั้งหมดจะใช้หลักการของ อินทีกรัลของความผิดพลาด (Integral error) วิธีที่เลือกใช้คือ อินทีกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) ในช่วงเวลาปฏิบัติการ เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบที่มีลักษณะความผิดพลาดไม่มากนักและใช้ช่วงเวลากลับข้อมูลที่ไม่ยาวนาน สมการของอินทีกรัลความผิดพลาดสัมบูรณ์คือ

$$IAE = \int_{t_0}^t |e(t)| dt \quad (7.2)$$

เมื่อ  $t_0$  เป็นเวลาเริ่มต้นการอินทีเกรต

$t$  เป็นเวลาสิ้นสุดการอินทีเกรต

$e(t)$  เป็นค่าความผิดพลาดขณะเวลาใดๆ

ผลการทดสอบแสดงได้ตามลำดับคือ



(1) ผลการควบคุมระดับของเหลวแบบอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสตีพ  
 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุม เมื่อมีการ  
 เปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสตีพในช่วงเวลาที่สนใจ การเปลี่ยนสตีพเป็นแบบขึ้น-ลงที่  
 ระดับปฏิบัติการปกติที่ระดับความสูง 50 % ขนาดสตีพที่ใช้ทดสอบคือ 10 % และ 20 % ภายใน  
 ช่วงเวลาทดสอบ 1350 วินาที ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 7.5 และรูปที่ 7.8

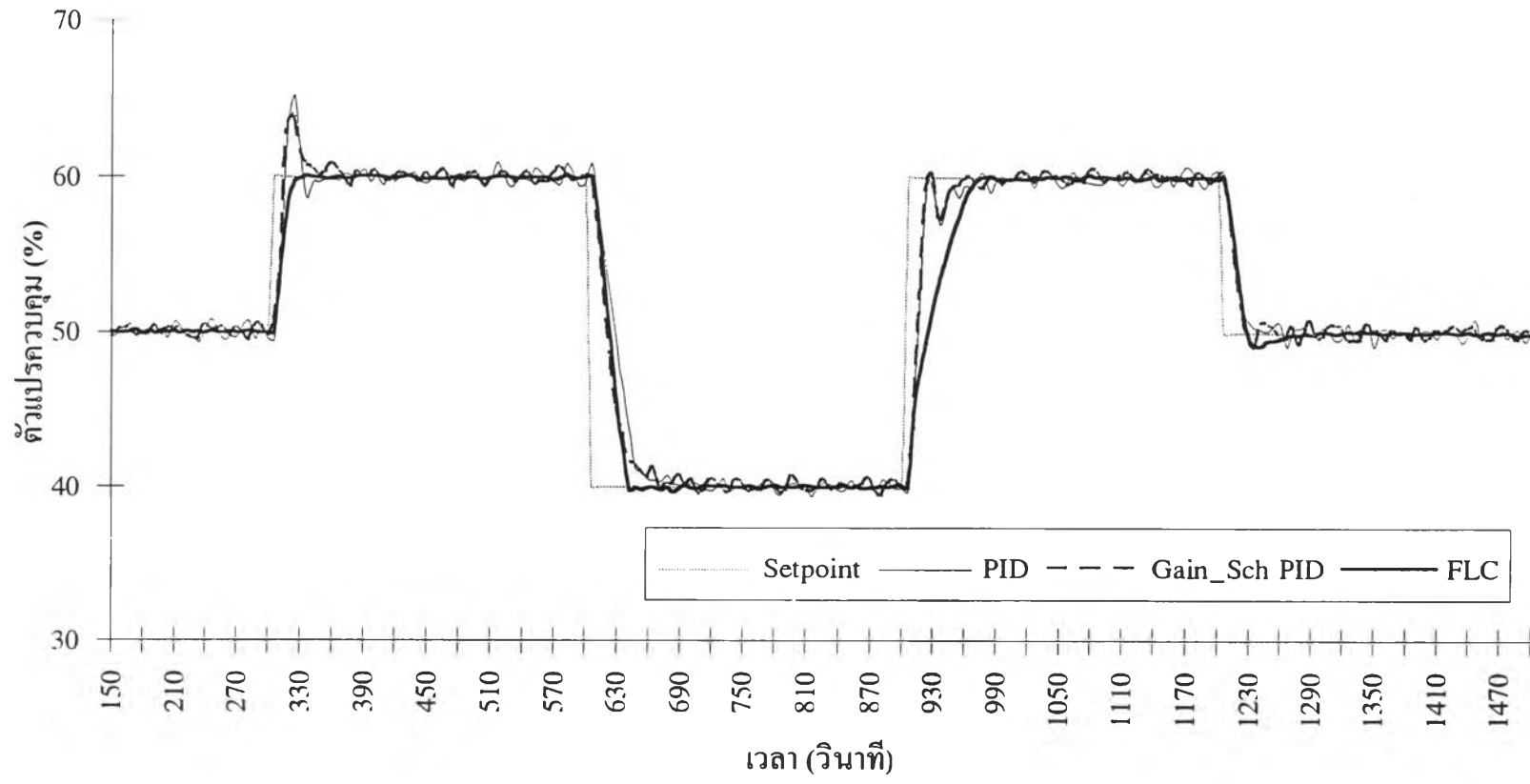
ตารางที่ 7.5 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสตีพ

ตัวควบคุม	IAE
พีไอดี	243.868
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	229.135
พีซีแอลจิก	209.136

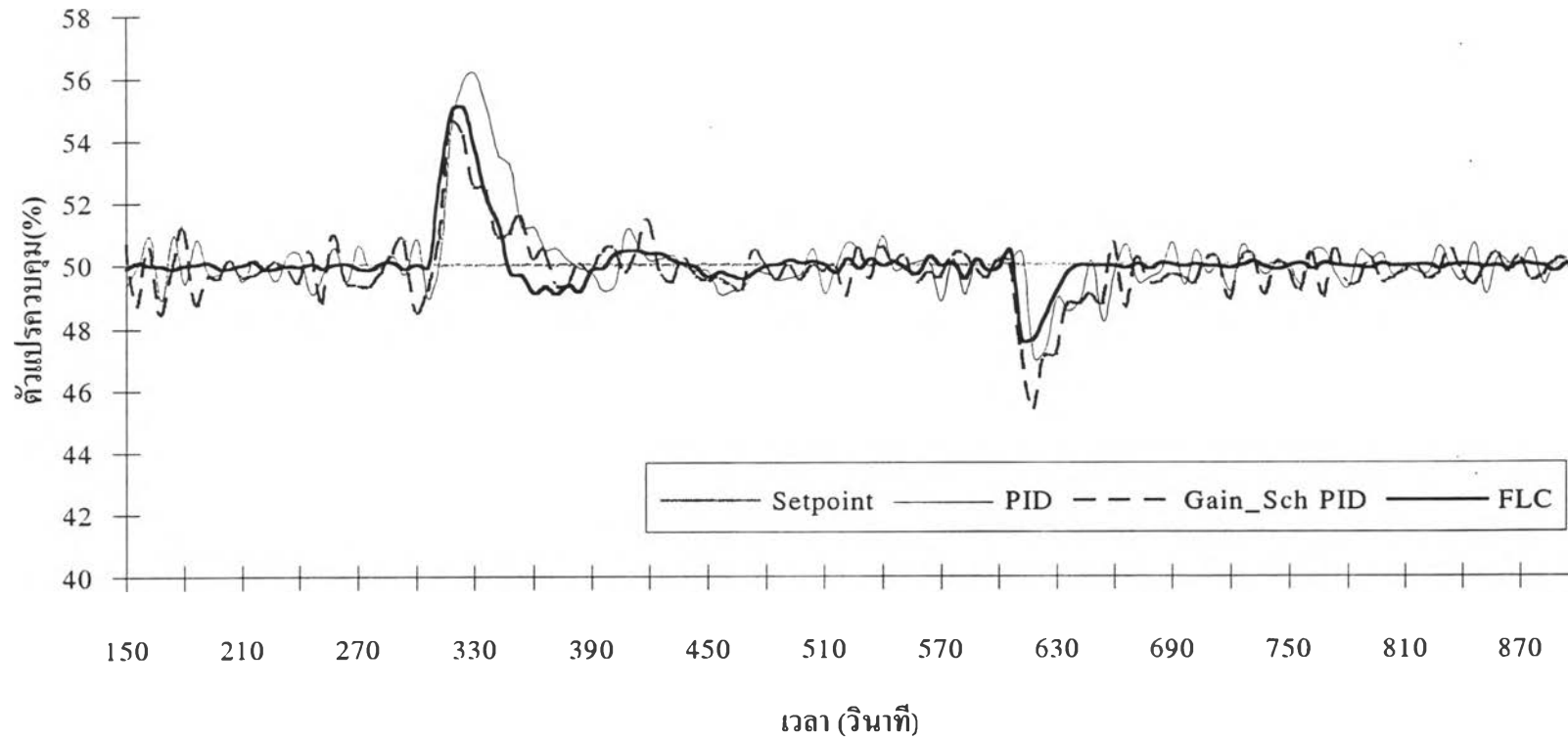
(2) ผลการควบคุมระดับของเหลวแบบอัตโนมัติต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน  
 ในกรณีนี้จะเป็นการทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุม เมื่อมีการรบกวน  
 จากภายนอกเพิ่มเข้ามาในกระบวนการ การทดสอบกระทำที่ระดับความสูงปฏิบัติการ 50% ภาย  
 ในช่วงเวลาทดสอบ 750 วินาที ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 7.6 และรูปที่ 7.9

ตารางที่ 7.6 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

ตัวควบคุม	IAE
พีไอดี	88.688
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	89.267
พีซีแอลจิก	50.533



รูปที่ 7.8 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



รูปที่ 7.9 แสดงผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

จากการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมพืชชีลोजิกเปรียบเทียบกับควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน รอบจุดปฏิบัติการปกติ โดยการทดสอบทั้งสองกรณีพบว่า

ก. กรณีของการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

ตัวควบคุมพืชชีลोजิกสามารถให้ผลการควบคุมที่นุ่มนวลและแม่นยำที่สุดโดยปราศจากโอเวอร์ชูทและมีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวน้อยมาก โดยสามารถลดผลรวมค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ลง 14.17 % และ 8.72 % เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี และพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันตามลำดับ

ข. กรณีของการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

ตัวควบคุมแบบพืชชีลोजิกสามารถให้ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดลดลง 43.02 % และ 43.39 % เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี และพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันตามลำดับ

(3) ผลการทดสอบความทนทานเมื่อเปลี่ยนย่านปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้คือ เพื่อจะดูถึงความสามารถในการควบคุมของตัวควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงย่านปฏิบัติการภายในกระบวนการ การทดสอบทำโดยการเปลี่ยนจุดปฏิบัติการไปที่ระดับความสูงเซ็ทพอยท์ 80% และ 30% ตามลำดับซึ่งเป็นย่านที่มีเกณฑ์สูง ใช้รูปแบบการทดสอบโดยการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสลับเช่นเดียวกับหัวข้อที่ (1) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 7.7 - 7.8 และรูปที่ 7.10 - 7.11 ตามลำดับ

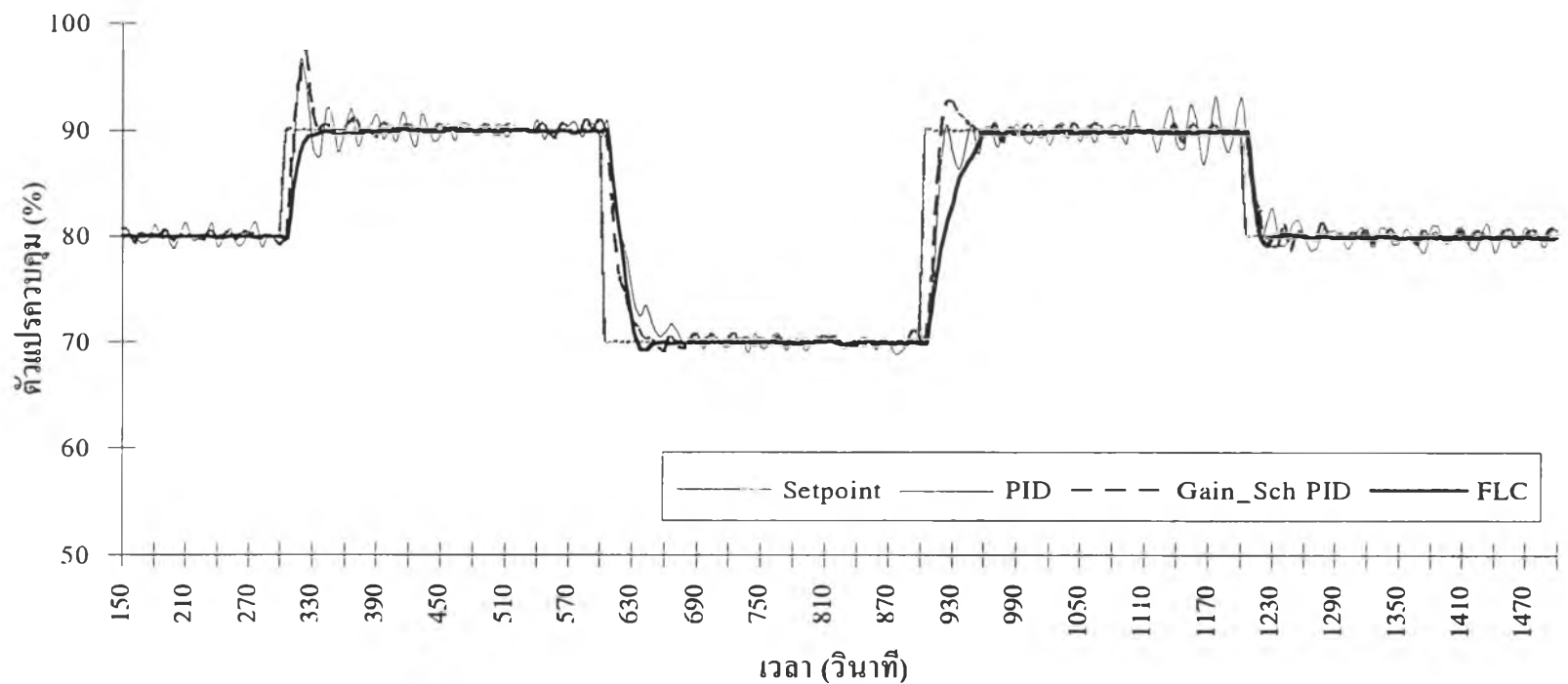
ตารางที่ 7.7 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยการตอบสนองต่อการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ปเมื่อเปลี่ยนจุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูงเซ็ทพอยท์ 80%

ตัวควบคุมควบคุม	<i>IAE</i>
พีไอดี	314.352
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	232.325
พีซซีลอลจิก	187.834

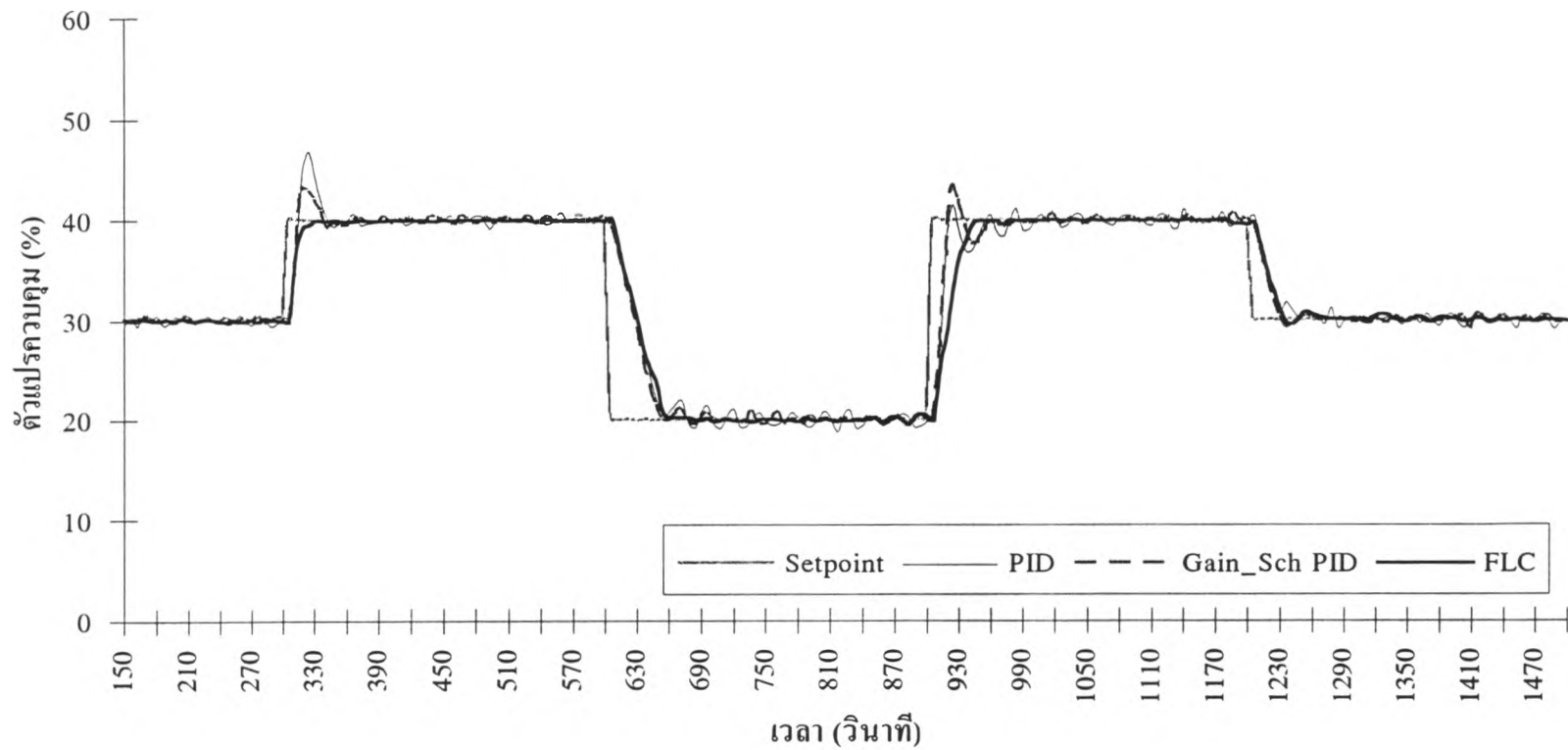
ตารางที่ 7.8 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยการตอบสนองต่อการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ปเมื่อเปลี่ยนจุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูงเซ็ทพอยท์ 30%

ตัวควบคุม	<i>IAE</i>
พีไอดี	274.929
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	231.404
พีซซีลอลจิก	215.497

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในการควบคุมของตัวควบคุมควบคุมพีซซีลอลจิกในการปฏิบัติการที่ย่านเกณฑ์กระบวนการมีค่าสูง ซึ่งการควบคุมยังคงเป็นไปด้วยดีเช่นเดียวกับย่านเกณฑ์ต่ำโดยไม่มีโอเวอร์ชูทเกิดขึ้น ในขณะที่ตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันก็ยังคงสามารถรักษาสมรรถนะของการควบคุมไว้ได้แต่ยังคงมีโอเวอร์ชูทเกิดขึ้นในกระบวนการ สำหรับผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดีในย่านนี้พบว่าการควบคุมทำได้ไม่ดีโดยจะเกิดโอเวอร์ชูทและมีการแกว่งของตัวแปรควบคุมอย่างมาก ทั้งนี้เป็นผลจากความไม่เชิงเส้นของกระบวนการนั่นเอง



รูปที่ 7.10 แสดงผลการทดสอบความทนทานโดยค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป เมื่อเปลี่ยนจุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 80%



รูปที่ 7.11 แสดงผลการทดสอบความทนทาน โดยค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสเต็ป เมื่อเปลี่ยนจุดปฏิบัติการเป็นระดับความสูง 30%

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้งหมดในกรณีการทดสอบความทนทาน  
เมื่อเปลี่ยนย่านปฏิบัติการสรุปได้ดังนี้

ก. เมื่อย่านปฏิบัติการอยู่ที่ระดับความสูง 80%

ตัวควบคุมฟิซซีลอจิกสามารถลดผลรวมค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ได้ 40.24 % และ  
19.15 % เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ตามลำดับ

ข. เมื่อย่านปฏิบัติการอยู่ที่ระดับความสูง 30%

ตัวควบคุมฟิซซีลอจิกสามารถลดผลรวมค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ได้ 25.58% และ  
7.38% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ตาม  
ลำดับ

(4) การทดสอบความทนทานเมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมฟิซซี

จากการทดสอบความทนทานของตัวควบคุมฟิซซีเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในพารามิเตอร์ปรับจูน คือแฟคเตอร์การสเกล โดยทดลองให้มีความผิดพลาดเป็น  $\pm 30\%$  และ  $\pm 50\%$  แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการควบคุมจากตัวควบคุมพีไอดี พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน และตัวควบคุมฟิซซีลอจิกที่ปรับจูนอย่างดีที่สุด ทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสตีพและการรบกวนของโหลดที่ระดับความสูงปฏิบัติการเซ็ทพอยท์ 50% เช่นเดียวกับ การทดสอบในหัวข้อ (1) และ (2) ได้ผลการควบคุมดังตารางที่ 7.9 และ 7.10 รูปที่ 7.12 ถึง 7.19

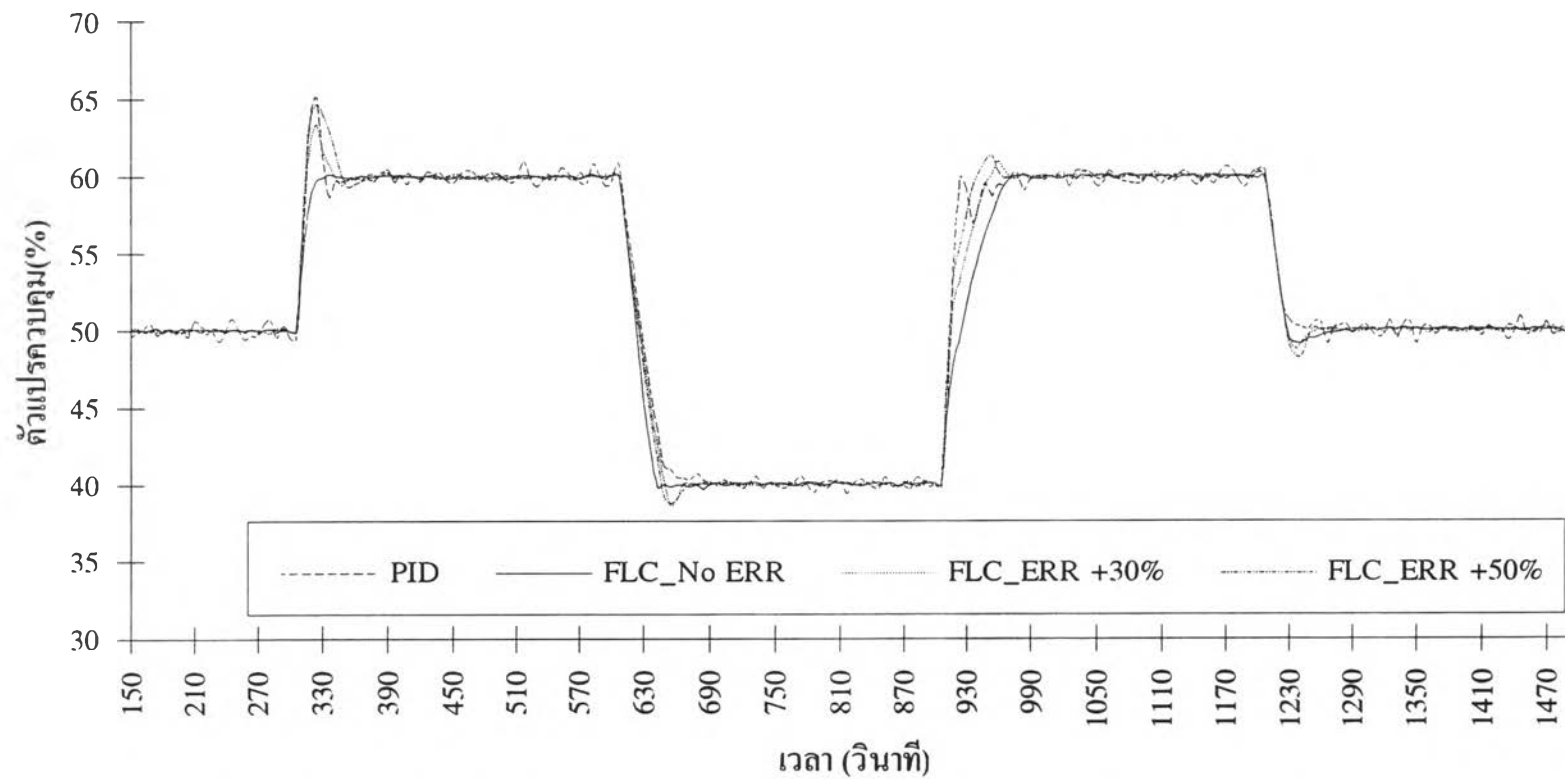


ตารางที่ 7.9 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของ  
ตัวควบคุมพีชชีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ในกรณีการ  
เปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป

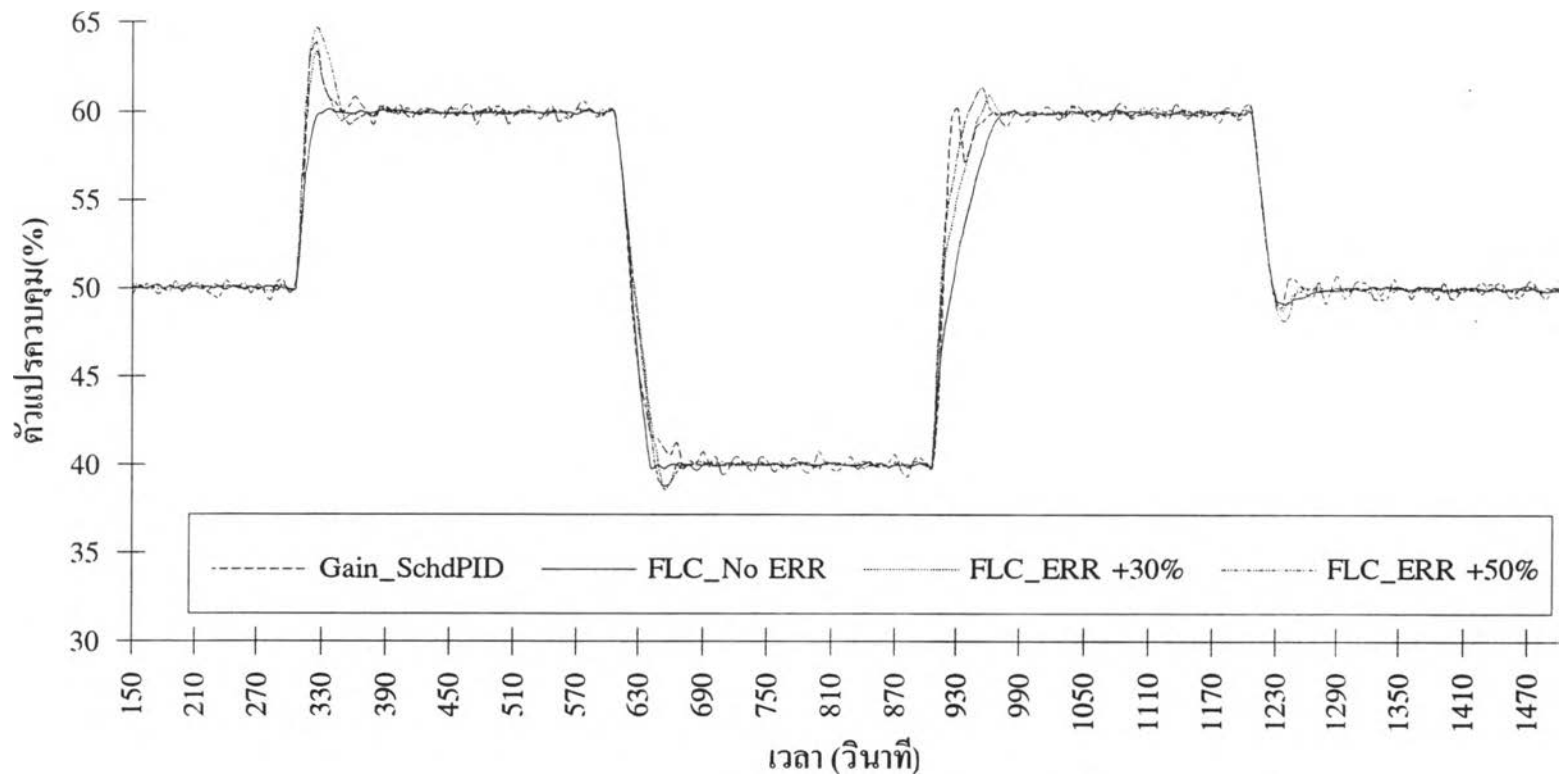
ตัวควบคุม	IAE
พีไอดี	243.686
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	229.135
พีชชี ERR +50%	226.351
พีชชี ERR +30%	214.706
พีชชี ERR 0%	209.136
พีชชี ERR -30%	238.041
พีชชี ERR -50%	231.131

ตารางที่ 7.10 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของ  
ตัวควบคุมพีชชีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ในกรณีการ  
เปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

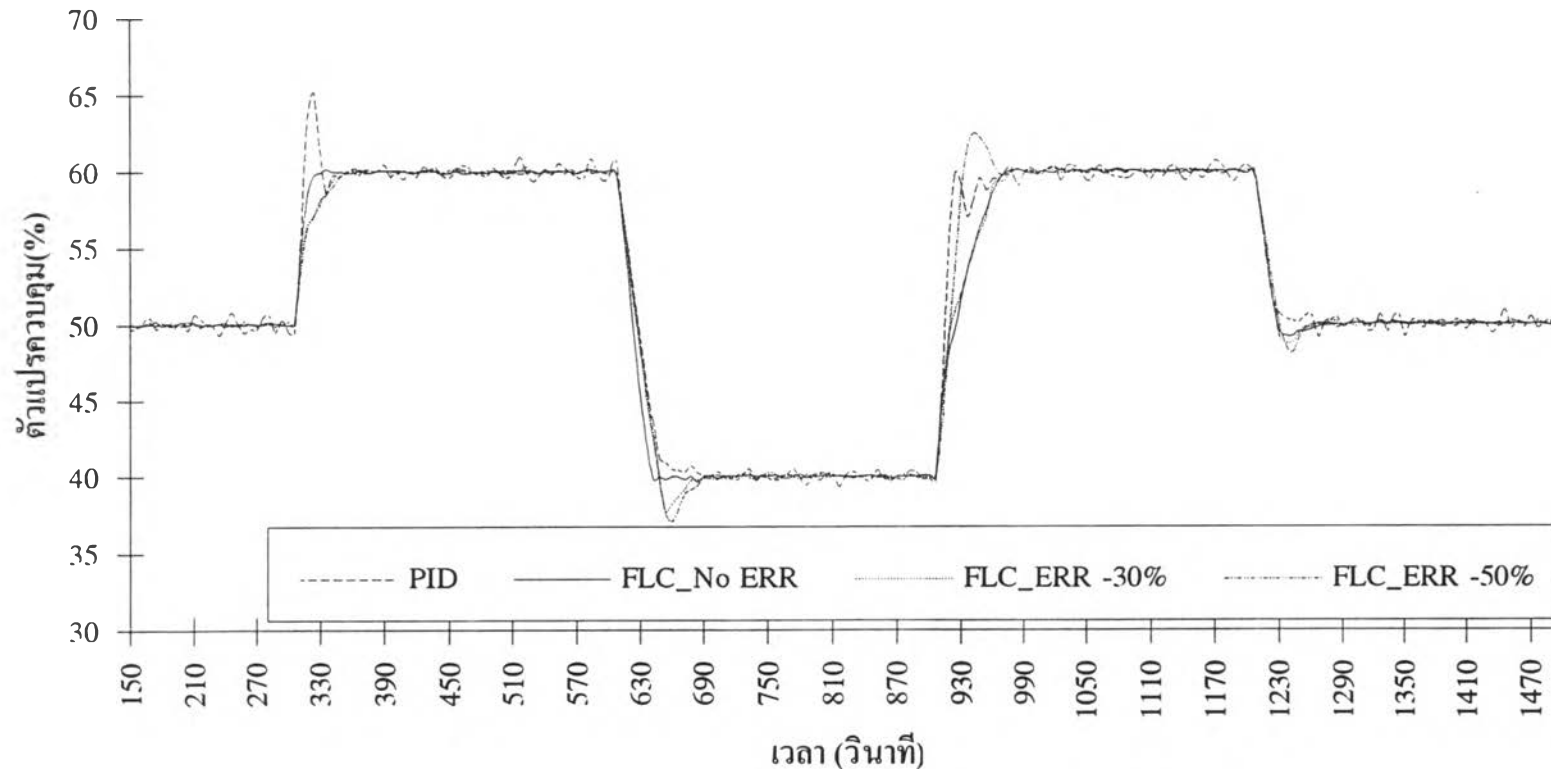
ตัวควบคุม	IAE
พีไอดี	88.688
พีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน	89.267
พีชชี ERR +50%	47.245
พีชชี ERR +30%	44.058
พีชชี ERR 0%	43.884
พีชชี ERR -30%	41.682
พีชชี ERR -50%	43.731



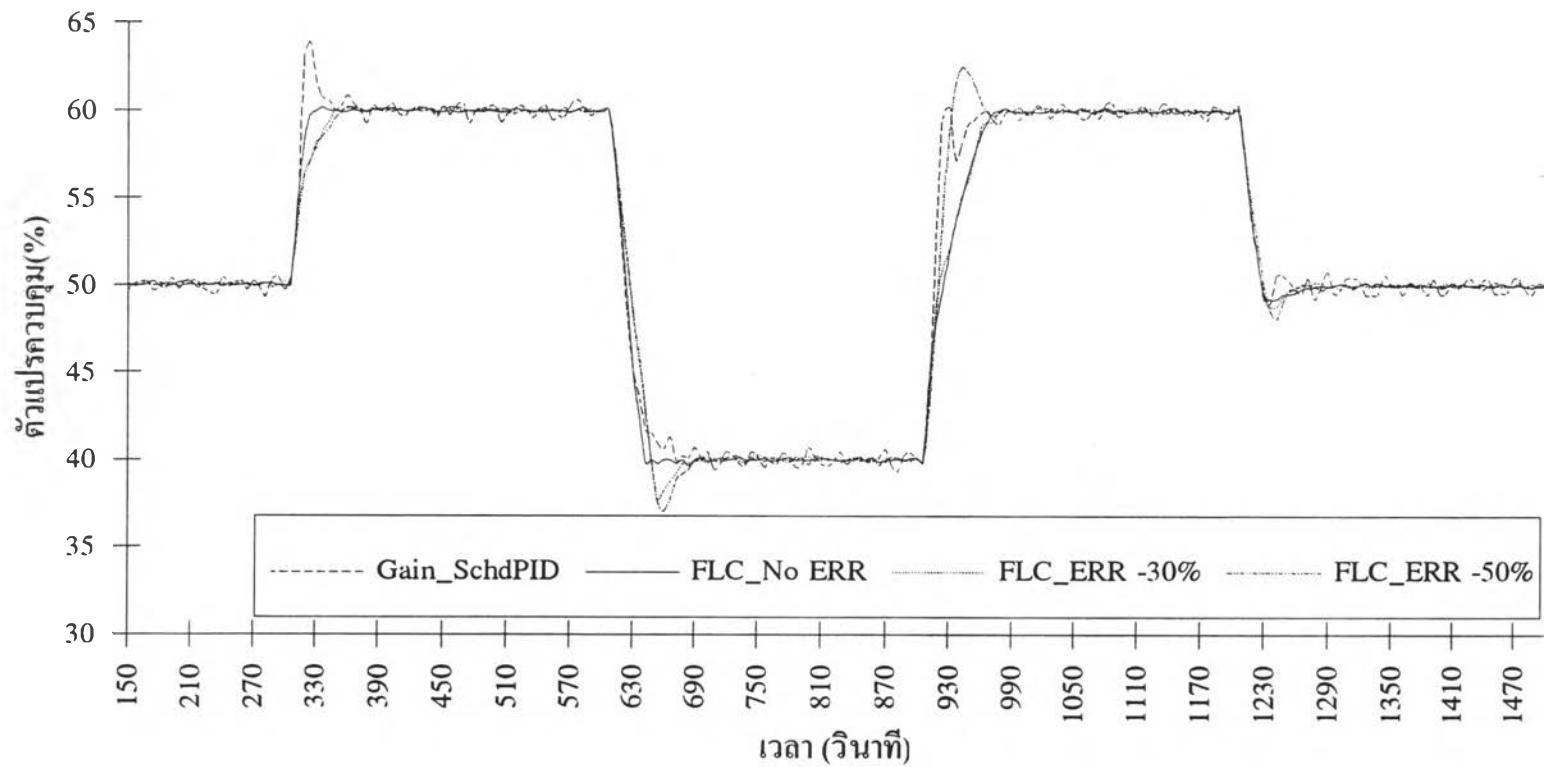
รูปที่ 7.12 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมฟuzzyเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี ในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



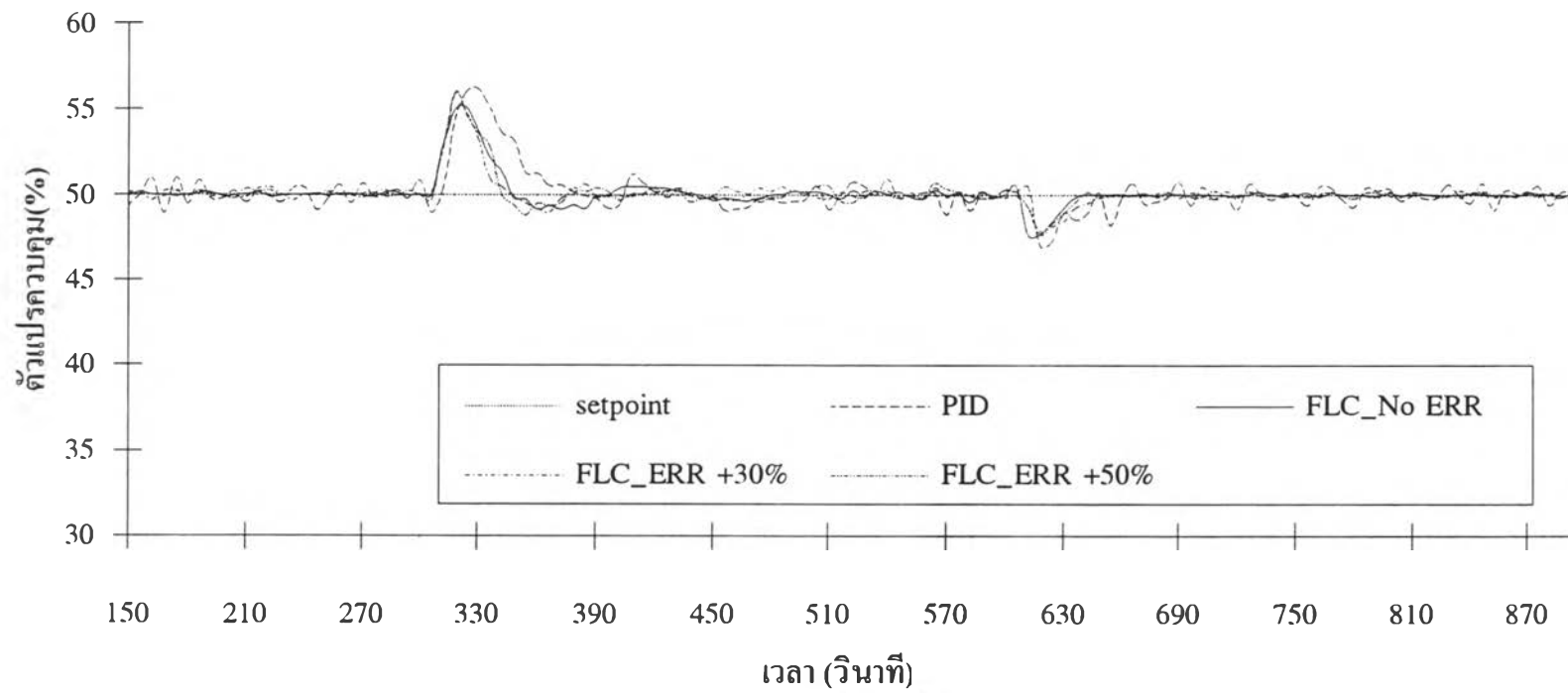
รูปที่ 7.13 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



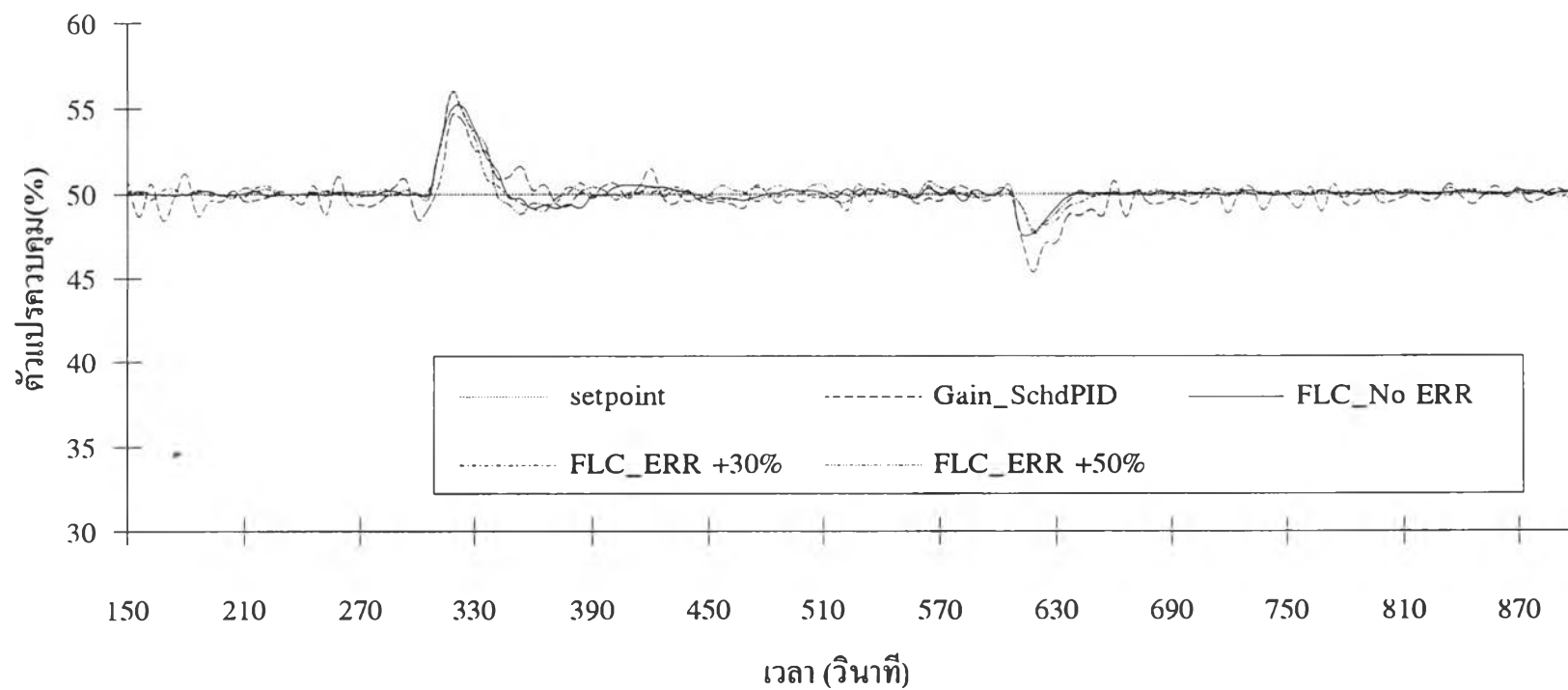
รูปที่ 7.14 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี ในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



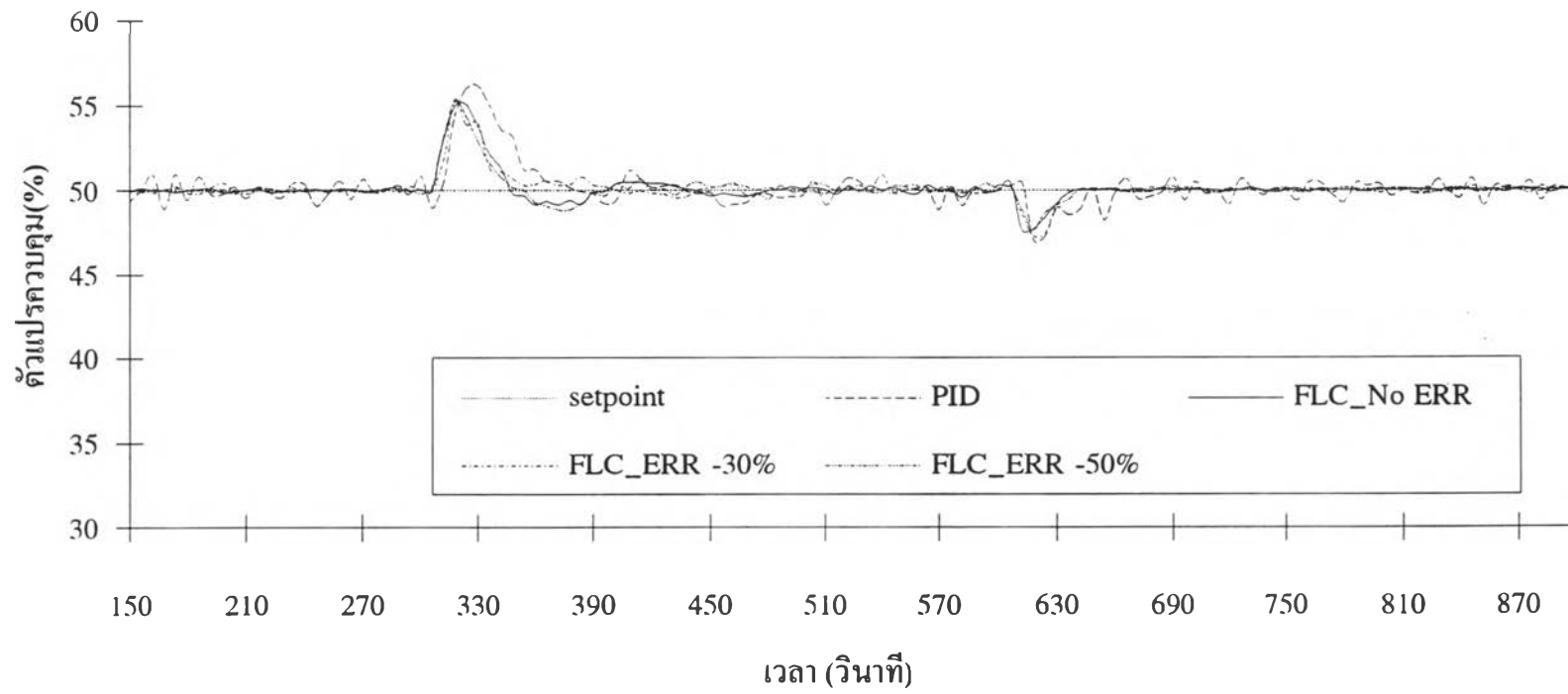
รูปที่ 7.15 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการเปลี่ยนแปลงของค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



รูปที่ 7.16 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมฟัซซี่เทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

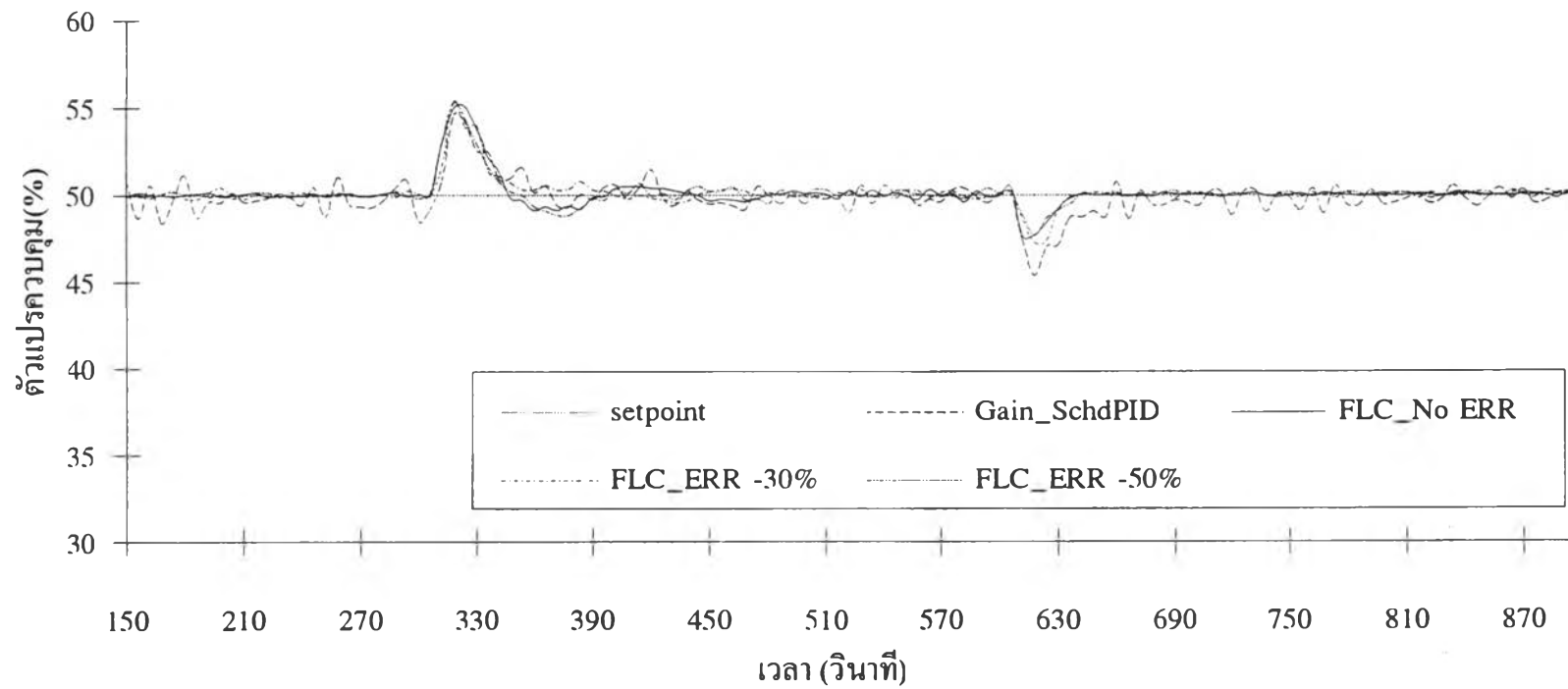


รูปที่ 7.17 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน



รูปที่ 7.18 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมฟuzzyเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน





รูปที่ 7.19 แสดงผลการทดสอบความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีซีเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรับกวน

จากผลการทดสอบความทนทานของตัวควบคุมพืชชี้เมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนพบว่า เมื่อมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นจาก 0%,  $\pm 30\%$ ,  $\pm 50\%$  ค่าผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาดของตัวควบคุมพืชชี้เพิ่มขึ้น ไม่มากนัก ทั้งในกรณีการทดสอบการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ปและการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมพืชชี้ยังสามารถทำการควบคุม ได้ดีถึงแม้ว่าจะมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนถึง  $\pm 50\%$  ตัวควบคุมพืชชี้ก็ยังสามารถให้ผลรวมของความผิดพลาดที่น้อยกว่าตัวควบคุมพีไอดี และ ใกล้เคียงกันกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ในการทดสอบการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ และให้ผลรวมความผิดพลาดที่น้อยกว่าตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

## 7.2 สรุปผลการวิจัย

การประเมินผลตัวควบคุมพืชชี้ลอจิกที่ได้สร้างขึ้น โดยการเปรียบเทียบกับผลการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดี และพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันพบว่า

ก.) กรณีทดสอบโดยผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์เมื่อย่านปฏิบัติการอยู่ในช่วงปกติ (ระดับความสูงปฏิบัติการที่ 50%) พบว่าตัวควบคุมพืชชี้ลอจิกให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด รองลงมาคือตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันและพีไอดีธรรมดาตามลำดับ

ข.) กรณีมีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน พบว่าตัวควบคุมพีซีลोजิกให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด ส่วนตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันและพีไอดีธรรมดาให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ค.) ผลการทดสอบความทนทาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดปฏิบัติการไปที่ย่านที่มีความไม่เชิงเส้นสูง พบว่าตัวควบคุมพีซีลोजิกยังสามารถสมรรถนะของการควบคุมได้ดีเช่นเดิม โดยมีผลรวมค่าสัมบูรณ์ความผิดพลาดน้อยที่สุด รองลงมาคือตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน ส่วนตัวควบคุมแบบพีไอดีธรรมดานั้นให้ผลการควบคุมที่ไม่ดีในกรณีดังกล่าว

ง.) ผลการทดสอบความทนทานเมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีซีลोजิกในกรณีการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็ปพบว่า ตัวควบคุมพีซีลोजิกยังสามารถรักษาสมรรถนะของการควบคุมไว้ได้โดยใกล้เคียงกับตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กัน และดีกว่าตัวควบคุมพีไอดีธรรมดาที่ปรับจูนอย่างถูกต้องตามลำดับ และในกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนพบว่า ตัวควบคุมพีซีลोजิกยังมีสมรรถนะที่เหนือกว่าตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันและพีไอดีธรรมดาตามลำดับ

จ.) จากผลการทดสอบทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมพีซีลोजิกมีสมรรถนะในการควบคุมและความทนทานที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอดีแบบกำหนดเกณฑ์ต่างๆ กันและพีไอดีธรรมดาตามลำดับ

### 7.3 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

- 1) การออกแบบโปรแกรมตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อัลกอริทึมที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องใช้เทคนิคทางการโปรแกรมหลายประการในการสร้าง ดังนั้นจึงไม่สะดวกนักในทางปฏิบัติจริง ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่เป็นลักษณะของเชลล์ (Shell) ซึ่งช่วยในการออกแบบระบบพีซีได้มีการพัฒนาและเริ่มแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เช่น TIL Shell, FLUDEK ฯลฯ (Jamshidi et al., 1993) ดังนั้นจึงเป็นการดีที่จะใช้แนวความคิดการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซีลอจิกจากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการสร้างตัวควบคุมจากเชลล์ดังกล่าว ซึ่งจะเป็นการประหยัดเวลาและสะดวกในการสร้างตัวควบคุมในทางปฏิบัติ
- 2) เนื่องจากการปรับจูนตัวควบคุมแบบพีซีลอจิกนั้นยังไม่มีวิธีมาตรฐาน ดังนั้นการปรับจูนในปัจจุบันทำได้โดยการลองผิดลองถูกประกอบกับการวิเคราะห์ผลที่ได้ในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก วิธีการปรับจูนตัวควบคุมพีซีนั้นนอกจากจะใช้การลองผิดลองถูกแล้วยังมีผู้เสนอแนวทางการปรับจูนด้วยวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation method) (Jamshidi et al., 1993) โดยวิธีการนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับแก้ค่าจุดศูนย์กลางของฟังก์ชันสมาชิกข้อสรุปในแต่ละกฎเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่เหมาะสมที่สุด วิธีการแบบนี้จำเป็นต้องมีการแก้สมการคณิตศาสตร์ในลักษณะของการออปติไมซ์ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาจยังเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและไม่สะดวกซึ่งเป็นข้อเสียของวิธีนี้ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้มีการค้นคว้าเพื่อ

หาวิธีการปรับจูนใหม่ๆ ซึ่งสามารถปรับจูนได้โดยใช้เวลาน้อยลงและไม่ต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากนัก เพื่อจะได้มีการใช้งานฟิชชีลอจิกในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวางขึ้น

3) กระบวนการในอุตสาหกรรมส่วนมากนอกจากความไม่เชิงเส้นของกระบวนการแล้ว ปัญหาที่พบบ่อยคือการกระทบกัน (Interaction) ระหว่างตัวแปรควบคุมสำหรับระบบเอ็มไอเอ็มโอ แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น เทคนิคการดีคัปปลิง (Decoupling) เทคนิคการควบคุมแบบดีเอ็มซี (DMC) วิธีการดังกล่าวเริ่มมีการใช้งานกันแล้วในอุตสาหกรรม และโดยโครงสร้างของฟิชชีลอจิกเองก็สามารถรองรับการควบคุมที่มีลักษณะของปัญหาดังกล่าวนี้ได้เช่นกัน โดยสามารถทำการควบคุมในระบบเอ็มไอเอ็มโอที่มีปัญหาการกระทบกันของตัวแปรควบคุมได้ ดังนั้นจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจที่จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุม โดยใช้เทคนิคของการควบคุมแบบเอ็มไอเอ็มโอต่างๆ กับการควบคุมแบบเอ็มไอเอ็มโอโดยใช้ฟิชชีลอจิก

4) แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมขั้นต่อไปคือ การออกแบบให้โครงสร้างทางอินพุทและเอาต์พุทของตัวควบคุม คือตัวแปรอินพุท ตัวแปรเอาต์พุทและฟังก์ชันสมาชิก สามารถปรับเปลี่ยนยืดหยุ่นได้ตามความต้องการของผู้ควบคุมและลักษณะของกระบวนการ ซึ่งจะหมายถึงจำนวนของกฎที่จะสามารถปรับเปลี่ยนยืดหยุ่นได้โดยอัตโนมัติ และในส่วนของการอินเทอร์เฟซสัญญาณควรที่จะออกแบบให้สามารถใช้กับการ์ดเก็บข้อมูลได้หลายๆ ชนิด ซึ่งจะทำให้สามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่างๆ ได้กว้างขึ้น