

## บทที่ 7

### การทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบ

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการทดสอบโปรแกรม วิธีการทดสอบ และแสดงผลของการทดสอบเป็นตัวอย่างพอสังเขป การทดสอบที่จะกล่าวถึงพอจะแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน กล่าวคือ การทดสอบการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การทดสอบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุม การทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการ และการทดสอบกับกระบวนการจำลองในห้องปฏิบัติการ

#### 7.1 การทดสอบการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการทดสอบการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการ โปรแกรมที่ผู้วิจัยใช้ในการทดสอบนั้นได้แก่ โปรแกรม Tutsim ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลอง และแสดงผลตอบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ รวมทั้งมีความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีโมดูล หรือฟังก์ชันการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างมากมาย

ในการทดสอบการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น ผู้วิจัยจะทดสอบโดยกำหนดกระบวนการจำลอง เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ และเก็บผลตอบของกระบวนการจำลองนั้น แล้วนำผลตอบไปลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ นำผลตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาได้ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับผลตอบของกระบวนการจำลองที่กำหนดขึ้น ผู้วิจัยขอเสนอผลการทดสอบดังกล่าว โดยนำเสนอการทดสอบกับ กระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง และมีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงเกิน ทดสอบกับกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิงและมีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงขาด ทดสอบกับกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง และทดสอบกับกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง ผลการทดสอบที่ได้ นำเสนอในรูปของตารางดังตารางที่

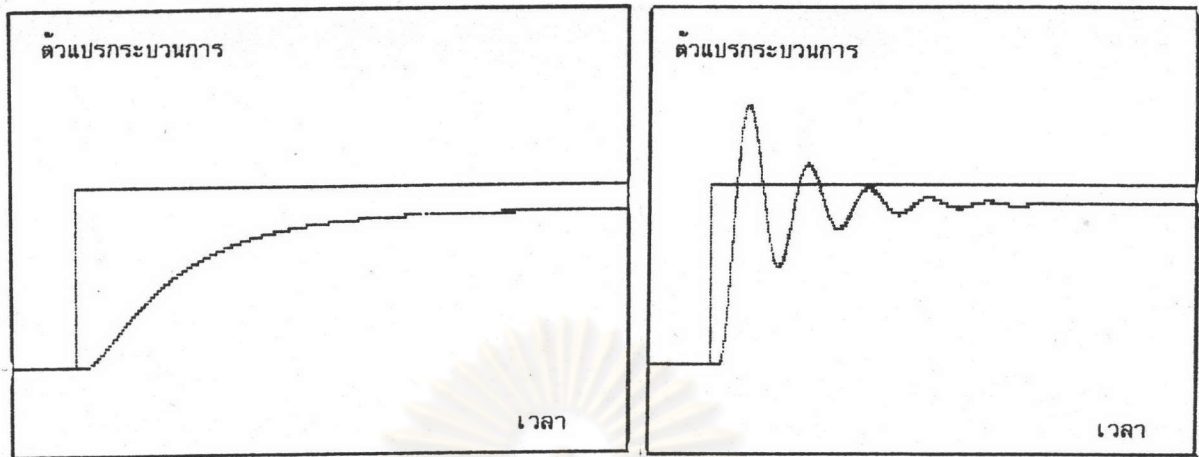
## 7.1 และในรูปที่ 7.1

ชนิดของกระบวนการที่ทดสอบ	พารามิเตอร์ของกระบวนการจำลอง	พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
— กระบวนการกำลังสองแบบมีเวลาประวิงชนิดที่มีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงเกิน $m$	$L=10 : K=0.0006$ $T_1=0.01 : T_2=0.07$	$L=9.7051 : K=0.00058$ $T_1 = 0.0101046$ $T_2 = 0.0677831$
— กระบวนการกำลังสองแบบมีเวลาประวิงชนิดที่มีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงขาด	$L=10 : K=0.008$ $z=0.142 : w=0.03$	$L=9.8748 : K=0.00808$ $z=0.1463548$ $w=0.0953863$
— กระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง	$L=7 : K=0.00009$ $T_1=0.02 : T_2=0.06$ $T_3=0.08$	$L=14.108 : K=0.00079$ $T_1=0.0217492$ $T_2=0.0388984$
— กระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง	$L=8 : K=0.0000075$ $T_1=0.03 : T_2=0.05$ $T_3=0.06 : T_4=0.09$	$L=23.696 : K=0.00066$ $z=0.9047043$ $w=0.0277463$

หมายเหตุ :  $L$  := เวลาประวิง  $K$  := อัตราขยายของวงรอบเปิด  $z$  := อัตราส่วนการหน่วง  
 $w$  := ความถี่ธรรมชาติ  $T_1, T_2, T_3, T_4$  := โพลของกระบวนการ

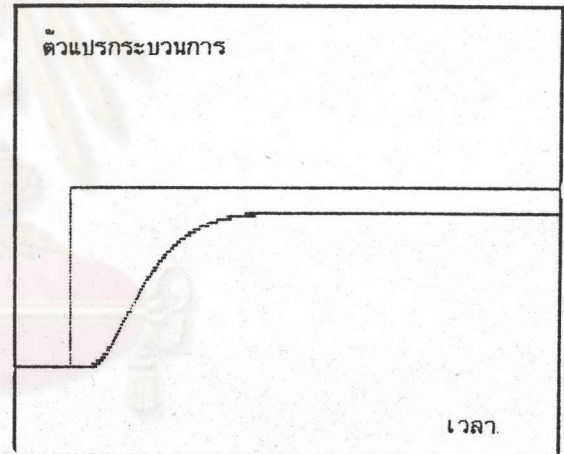
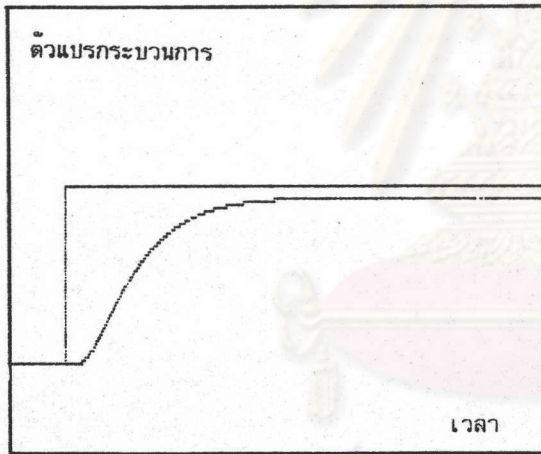
ตารางที่ 7.1 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์





ก. กระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง และมีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงเกิน

ข. กระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง และมีผลตอบแบบกระบวนการหน่วงขาด



ค. กระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง

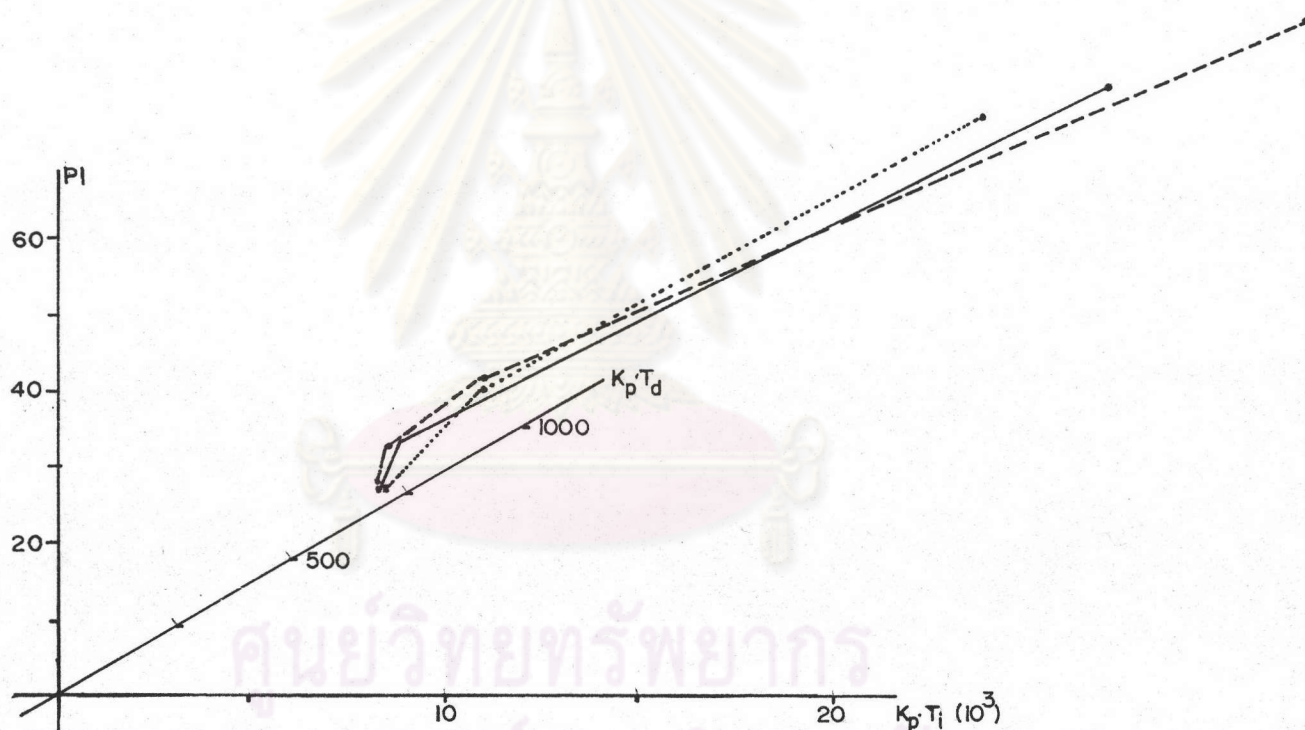
ง. กระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง

รูปที่ 7.1 แสดงผลการทดสอบการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 7.1 และตามรูปที่ 7.1 ก-ง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า โปรแกรมหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ นั้น สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการได้เป็นอย่างดี ผลตอบของแบบจำลองที่ได้ นั้น มีลักษณะและขนาดเท่ากับผลตอบของกระบวนการจำลองที่ทดสอบ

## 7.2 การทดสอบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุม

การทดสอบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมนั้น ผู้วิจัยทดสอบโดยให้โปรแกรมหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมสำหรับกระบวนการที่กำหนดจากจุดเริ่มต้นต่าง ๆ กัน นำผลทางเดินของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟเพื่อดูทิศทางและความสามารถในการเข้าสู่จุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งดูความใกล้เคียงของจุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้จากการเริ่มต้นที่จุดต่าง ๆ กัน กราฟที่ได้แสดงตามรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงการเข้าสู่จุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จุดเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 7.2 สามารถเห็นได้ว่า โปรแกรมหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถเข้าสู่จุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ในจุดที่ใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นใดก็ตาม แต่ที่ค่าที่ได้ที่จุดที่เหมาะสมที่สุดนั้นได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เกิดขึ้นจากความละเอียดของ Step size และความละเอียดของค่า Precision Index ที่กำหนด



### 7.3 การทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุม กับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการ

ผู้วิจัยได้ทดสอบ โดยทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมกระบวนการ โดยทดลองกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการ นำผลตอบที่ได้จากโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการมาทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุม หลังจากนั้น นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปทดลองควบคุมกระบวนการ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมกระบวนการที่โปรแกรมหาได้ที่ดรชนี้สมรรถนะต่าง ๆ แสดงได้ตามตารางที่ 7.2 และผลการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการรบกวนโดยการ เปลี่ยนจุดปรับตั้ง และผลการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการรบกวนโดยการ เปลี่ยนแปลงตัวแปรกระบวนการแบบขั้นบันไดที่ดรชนี้สมรรถนะต่าง ๆ แสดงได้ตามรูปที่ 7.3, 7.4, 7.5 และรูปที่ 7.6 สำหรับรูปที่ 7.7 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบของกระบวนการที่จุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ดรชนี้สมรรถนะต่าง ๆ

ดรชนี้สมรรถนะ	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด
— ดรชนี้สมรรถนะ IAE.	$K_p = 50.0$ $T_i = 300.0$ $T_d = 2.0$	$K_p = 49.624$ $T_i = 87.650$ $T_d = 4.0$ $PI. = 14.024$

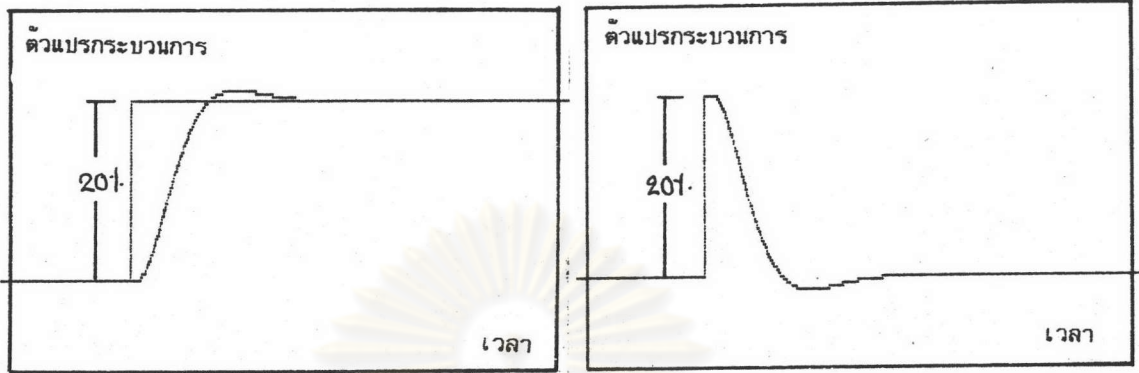
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการ

ดรรชนีสมรรถนะ	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด
- ดรรชนีสมรรถนะ ISE.	$K_p = 20$ $T_i = 90$ $T_d = 3$	$K_p = 20$ $T_i = 256.707$ $T_d = 0.0$ $PI. = 21121.610$
- ดรรชนีสมรรถนะ ITAE.	$K_p = 50$ $T_i = 500$ $T_d = 1$	$K_p = 49.6$ $T_i = 87.029$ $T_d = 3.0$ $PI. = 555.843$
- ดรรชนีสมรรถนะที่ทำให้ค่าพุ่งเกินน้อยที่สุด	$K_p = 20.6$ $T_i = 91.0$ $T_d = 3.2$	$K_p = 53.589$ $T_i = 87.263$ $T_d = 6.971$ $PI. = 596.460$

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการ (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

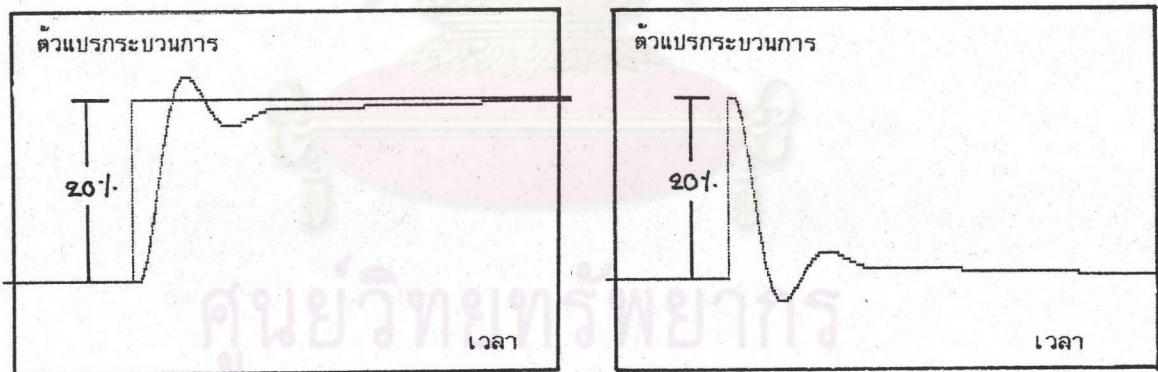




ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

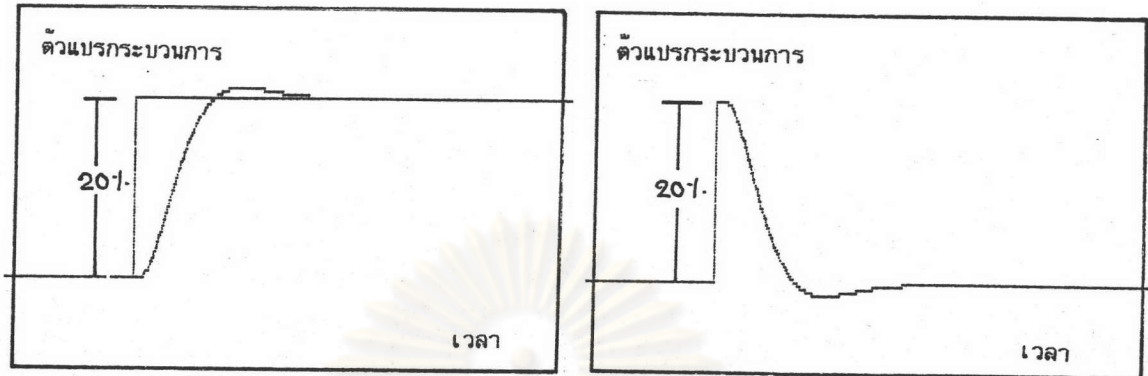
รูปที่ 7.3 ผลตอบที่จุดที่ทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของครรชนี้สมรรถนะ IAE.



ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

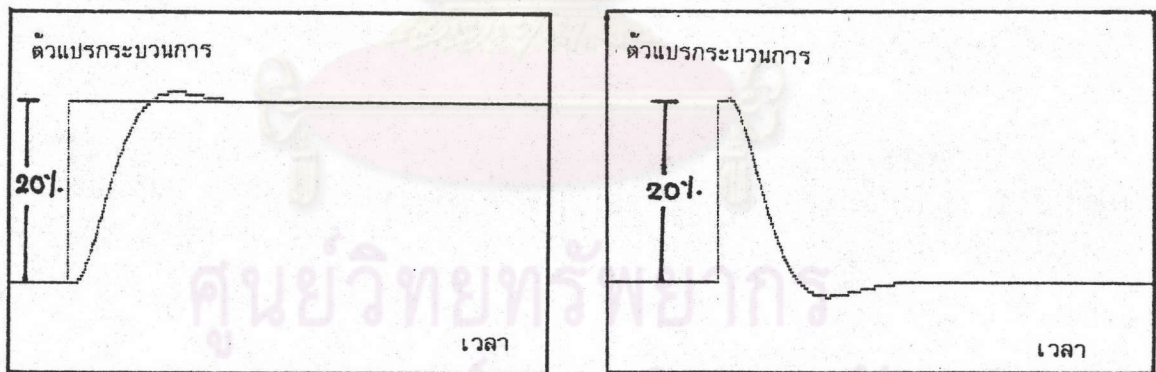
รูปที่ 7.4 ผลตอบที่จุดที่ทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของครรชนี้สมรรถนะ ISE.



ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

รูปที่ 7.5 ผลตอบที่จุดที่ทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของดรชนี้สมรรถนะ ITAE.

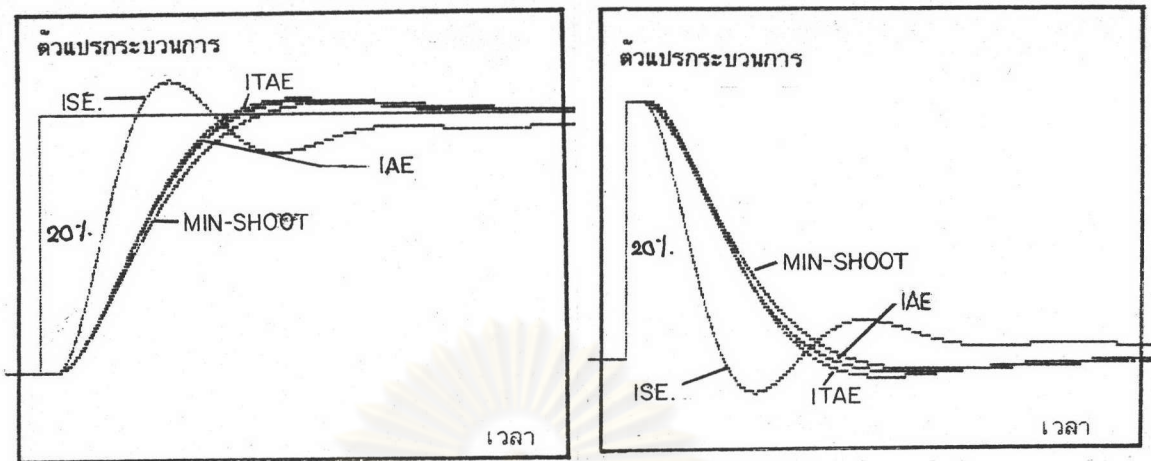


ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

รูปที่ 7.6 ผลตอบที่จุดที่ทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของดรชนี้สมรรถนะที่ทำให้ค่าพุ่งเกินน้อยที่สุด





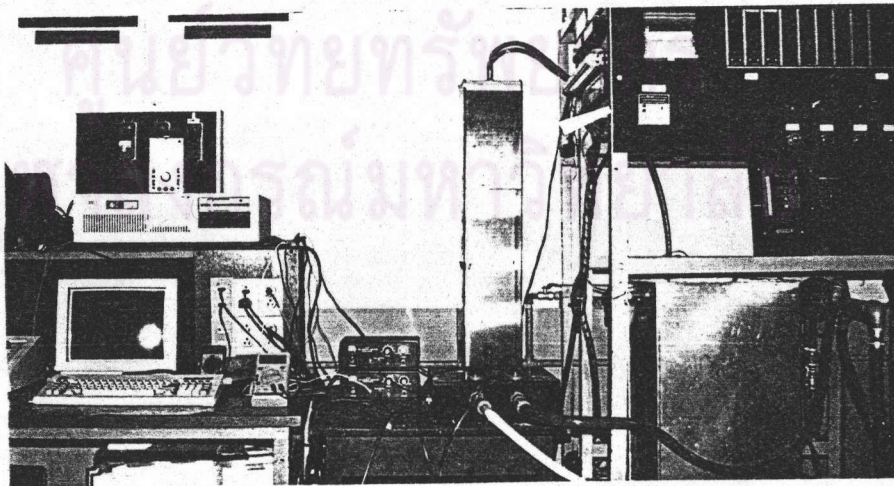
ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

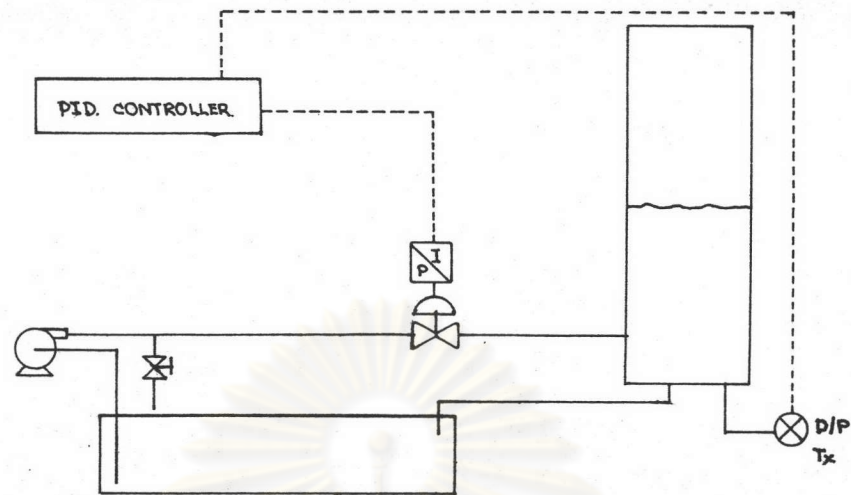
รูปที่ 7.7 เปรียบเทียบผลตอบที่จุดที่ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตรรกะนิสมรรถนะต่าง ๆ

#### 7.4 การทดสอบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมกับกระบวนการจำลอง

การทดสอบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมกับกระบวนการจำลองนี้ ผู้วิจัยได้ทดสอบกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ซึ่งแสดงในรูปที่ 7.8 โครงสร้างของกระบวนการแสดงในรูปที่ 7.9



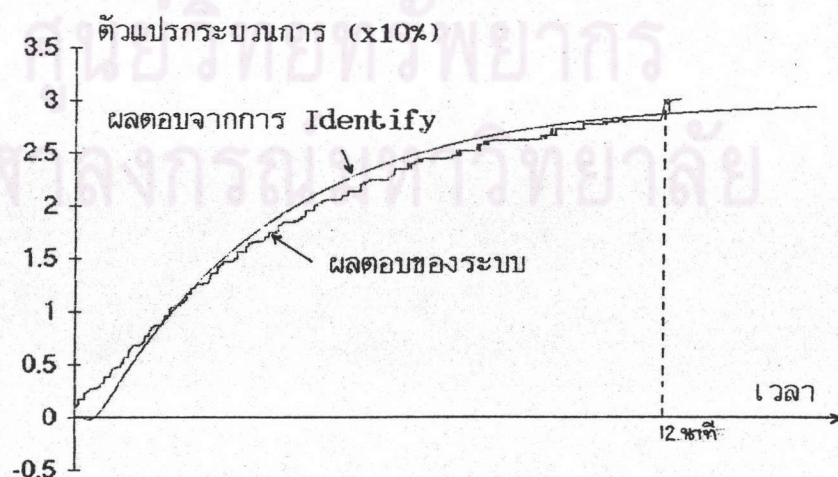
รูปที่ 7.8 กระบวนการควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 7.9 โครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ

สมการของการหากระบวนการจำลองของกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่โปรแกรมหาค่ากระบวนการจำลองหาได้แสดงตามสมการที่ 7.1 ผลตอบแบบวงรอบเปิดของกระบวนการเทียบกับผลตอบแบบวงรอบเปิดของกระบวนการจำลองที่หาได้ แสดงตามรูปที่ 7.10

$$G(s) = \frac{-24.6878252 s}{(s + 0.0046641)(s + 0.3344291)} \quad \text{-----} [7.1]$$



รูปที่ 7.10 เปรียบเทียบผลตอบแบบวงรอบเปิด ระหว่าง  
กระบวนการควบคุมระดับน้ำกับกระบวนการจำลอง



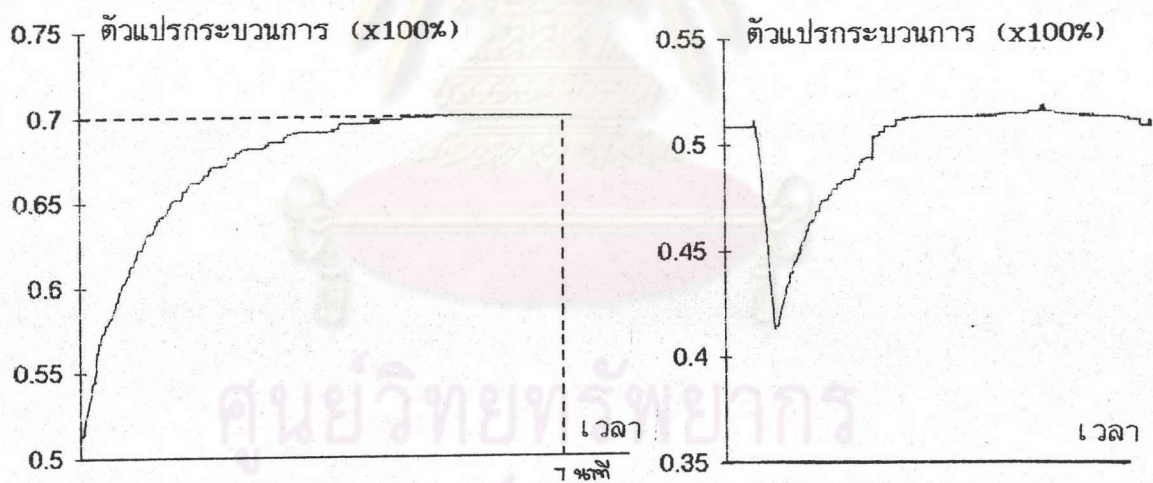
หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุม ซึ่งผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมตามตรรกะนี้สมรรถนะต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 7.3 ผลการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดปรับตั้ง และผลการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกระบวนการอย่างทันทีทันใด สำหรับตรรกะนี้สมรรถนะต่าง ๆ แสดงได้ตามรูปที่ 7.11, 7.12, 7.13 และรูปที่ 7.14 รูปที่ 7.15 และรูปที่ 7.16 เป็นการเปรียบเทียบผลตอบของกระบวนการที่ค่าการควบคุมที่หาได้ที่ตรรกะนี้สมรรถนะต่าง ๆ

ตรรกะนี้สมรรถนะ	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด
— ตรรกะนี้สมรรถนะ IAE.	$K_p = 100.0$ $T_i = 173.0$ $T_d = 1.0$	$K_p = 75.4539$ $T_i = 372.7196$ $T_d = 0.0001$ $PI. = 10.9113$
— ตรรกะนี้สมรรถนะ ISE.	$K_p = 100.0$ $T_i = 100.0$ $T_d = 0.1$	$K_p = 58.0401$ $T_i = 167.1686$ $T_d = 0.1$ $PI. = 17445.9399$
— ตรรกะนี้สมรรถนะ ITAE.	$K_p = 75.45$ $T_i = 372.72$ $T_d = 0.0001$	$K_p = 74.25$ $T_i = 317.2898$ $T_d = 0.0001$ $PI. = 362.3026$

ตารางที่ 7.3 แสดงค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการ

ดรชชนี้สมรรถนะ	ค่าเริ่มต้น	ค่าที่จุดที่เหมาะสมที่สุด
- ดรชชนี้สมรรถนะที่ให้ค่าพุ่งเกิน น้อยที่สุด	$K_p = 75.45$ $T_i = 372.72$ $T_d = 0.0001$	$K_p = 71.0525$ $T_i = 377.6376$ $T_d = 0.0$ $PI. = 346.4715$

ตารางที่ 7.3 แสดงค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการ (ต่อ)

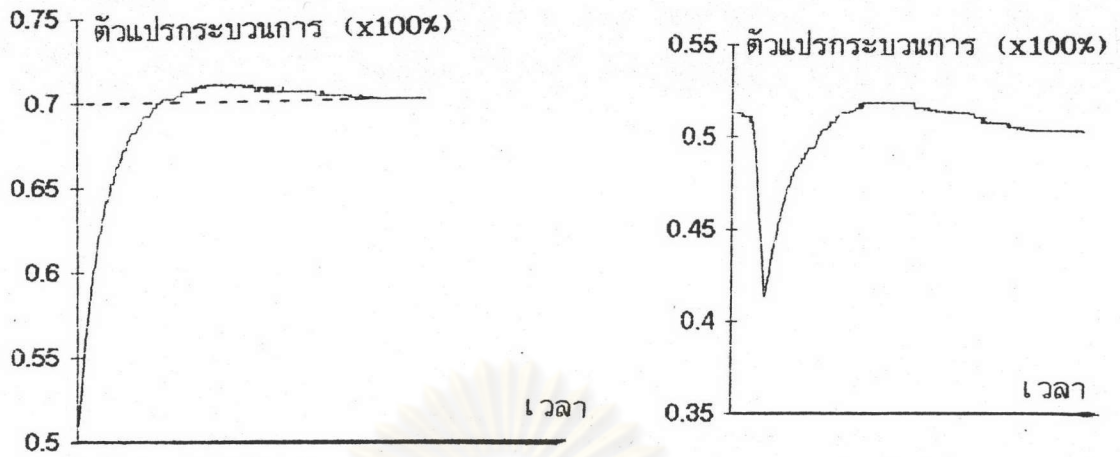


ก. Setpoint-Change Disturbance

ข. Load-Change Disturbance

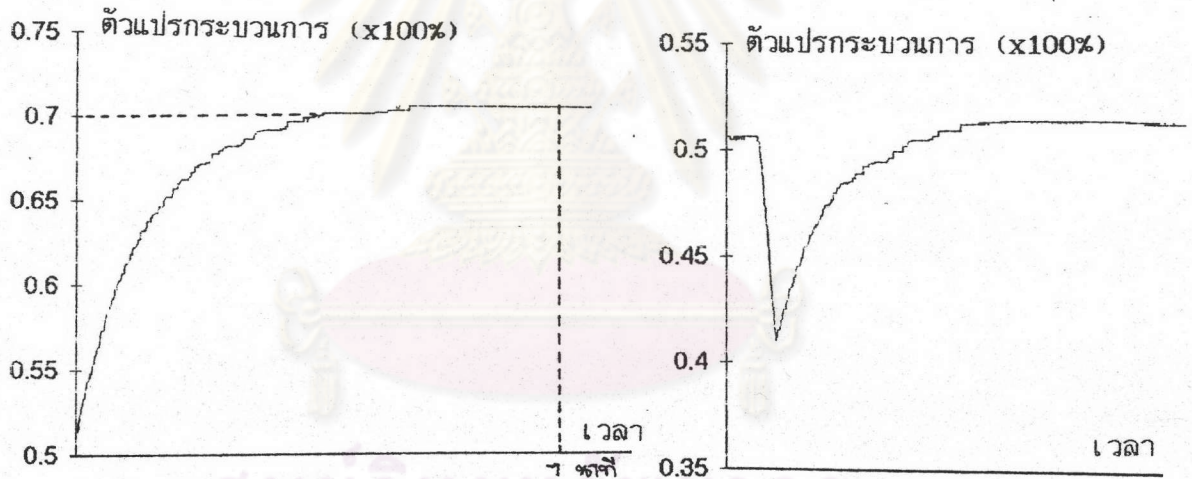
รูปที่ 7.11 ผลตอบที่จุดที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดตามดรชชนี้สมรรถนะ IAE.





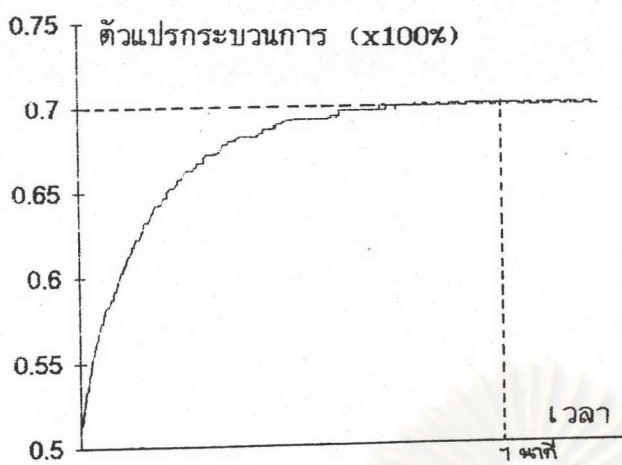
ก. Setpoint-Change Disturbance      ข. Load-Change Disturbance

รูปที่ 7.12 ผลตอบที่จุดที่หาค่าที่เหมาะสมที่สุดตามครรชนีสมรรถนะ ISE.

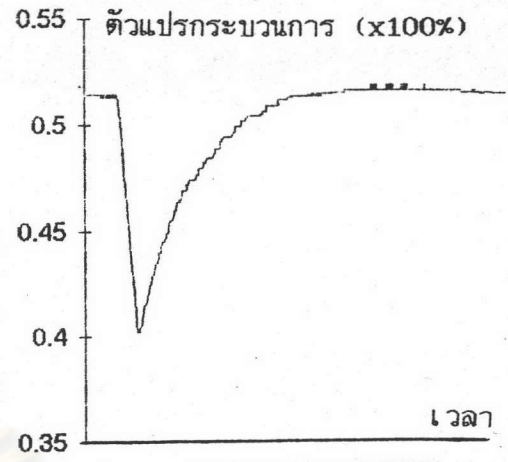


ก. Setpoint-Change Disturbance      ข. Load-Change Disturbance

รูปที่ 7.13 ผลตอบที่จุดที่หาค่าที่เหมาะสมที่สุดตามครรชนีสมรรถนะ ITAE.

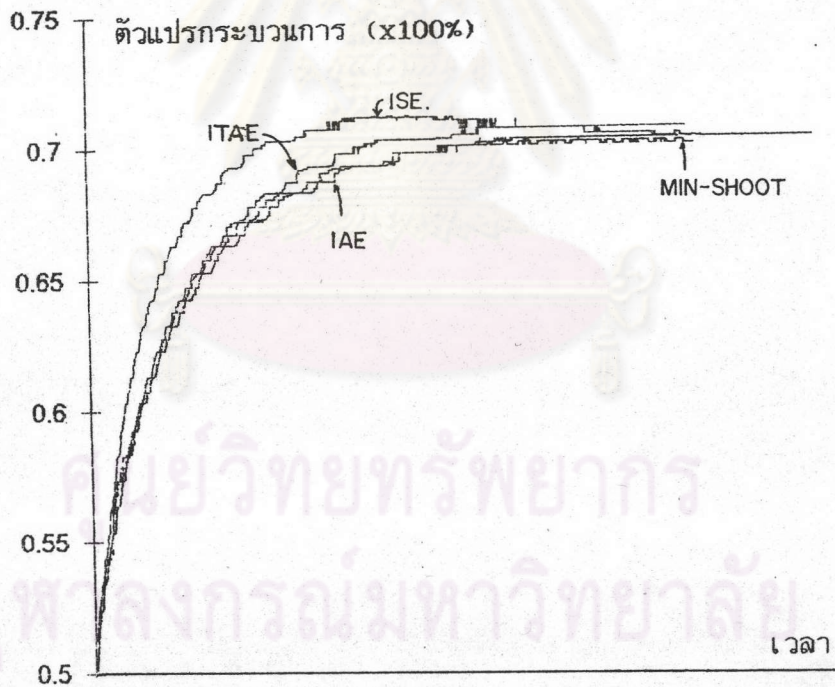


ก. Setpoint-Change Disturbance



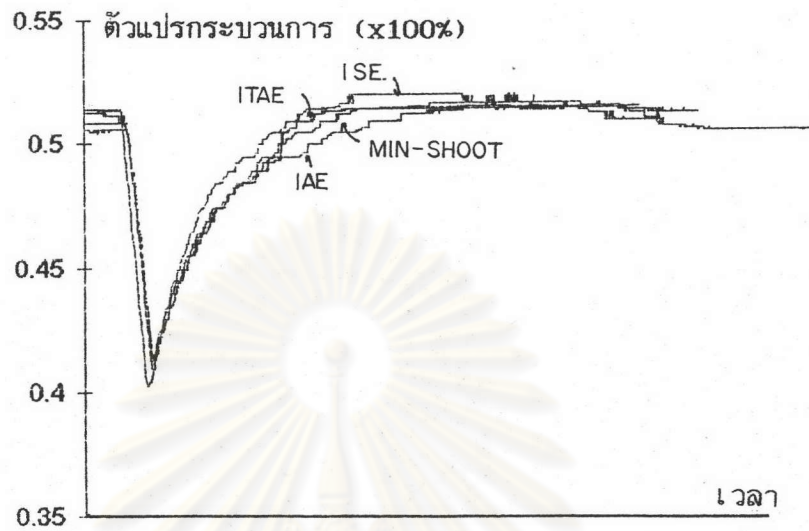
ข. Load-Change Disturbance

รูปที่ 7.14 ผลตอบที่จุดทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดตามครรชนิสมรรถนะที่ค่าพุ่งเกินน้อยที่สุด



รูปที่ 7.15 เปรียบเทียบผลตอบของ Step-Setpoint-Change Disturbance ที่ครรชนิสมรรถนะต่าง ๆ





รูปที่ 7.15 เปรียบเทียบผลตอบของ Load-Change Disturbance  
ที่ตรรกะนี้สมรรถนะต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย