

## บทที่ 5

### การทดสอบโปรแกรม และผลการทดสอบ

บทนี้ จะกล่าวถึงการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของโปรแกรมที่พัฒนา และแสดงผลของการทดสอบ การทดสอบดังกล่าวจะทดสอบกับกระบวนการ 4 แบบ คือ โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง และกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ

#### ข้อกำหนดสมรรถนะ (Performance Specification)

ในการทดสอบผลของการควบคุมโดยการเปลี่ยนจุดปรับตั้งเป็นแบบขั้น สิ่งที่เราสนใจหรือที่เรียกว่า ข้อกำหนดสมรรถนะ มีดังนี้ คือ [18]

- Integral of Time Weighted Absolute Error (ITAE)

$$ITAE = \int |t|e| dt$$

- Integral of Absolute Error (IAE)

$$IAE = \int |e| dt$$

- Integral of Square Error (ISE)

$$ISE = \int e^2 dt$$

- Maximum Overshoot ( $M_p$ )

หรือ ค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด เป็นค่าสูงสุดของตัวแปรกระบวนการในส่วนที่มีค่าเกินจุดปรับตั้ง โดยคิดเป็นร้อยละของขนาดขั้นของจุดปรับตั้ง

- Rise Time ( $t_r$ )

หรือ ค่าเวลาขาขึ้น คือเวลาที่ไชนับตั้งแต่เริ่มใส่ค่าจุดปรับตั้งจนสัญญาณผิดพลาดมีค่าเป็นศูนย์เป็นครั้งแรก

- Settling Time ( $t_s$ )

หรือ ค่าเวลาอยู่ตัว คือเวลาที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มใส่ค่าปรับตั้งจนกระทั่งสัญญาณผิดพลาดมีค่าอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดขั้นของค่าปรับตั้ง

การทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ PID กับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการ

1. การทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลา  
ประวิง

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของกระบวนการจำลองที่ใช้คือ

$$T(s) = \frac{2.5e^{-2s}}{(2s+1)(3s+1)}$$

ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบ กับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลา  
ประวิง

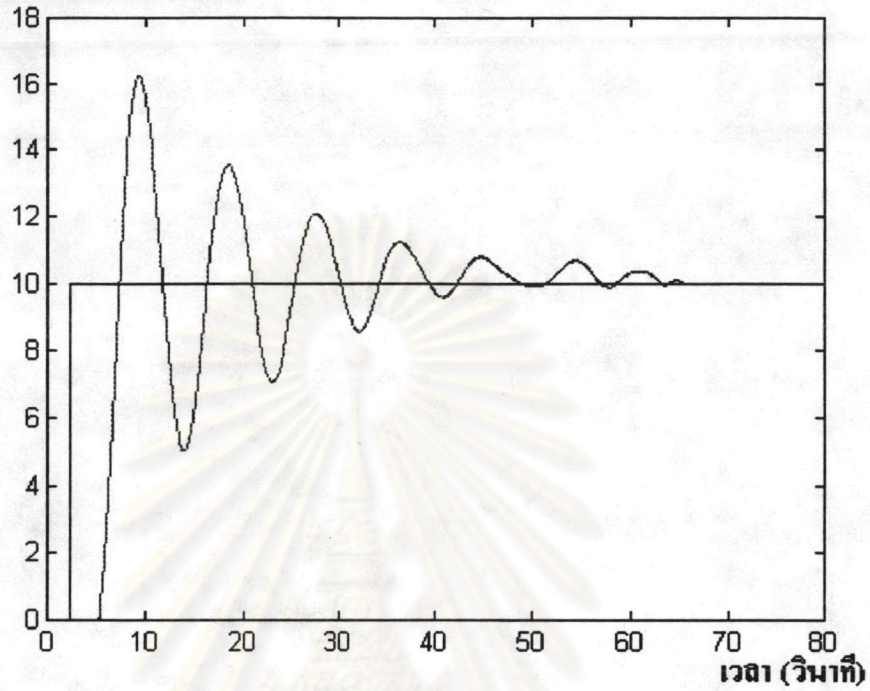
ข้อกำหนดสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบ

|   | ITAE | IAE | ISE | $M_p$ | $t_r$ | $t_s$ |
|---|------|-----|-----|-------|-------|-------|
| ZN (closed loop)<br>PB=57.5, Ti=3, Td=1 | 1471 | 101 | 442 | 62.6  | 3.7   | 52    |
| ZN (open loop)<br>PB=181, Ti=8, Td=2    | 602  | 74  | 459 | 3.3   | 18.7  | 20.8  |
| Cohen-Coon<br>PB=211, Ti=8, Td=2        | 679  | 79  | 455 | 3.4   | 19.6  | 23.2  |
| OS 5 %<br>PB=220, Ti=3, Td=2            | 374  | 58  | 409 | 6.5   | 7.5   | 20.4  |
| OS 10 %<br>PB=210, Ti=3, Td=2           | 519  | 63  | 374 | 11.3  | 6.6   | 19    |
| OS 15 %<br>PB=190, Ti=3, Td=2           | 532  | 65  | 414 | 16.5  | 6.2   | 20.6  |
| QDR<br>PB=138, Ti=4, Td=1               | 627  | 76  | 456 | 34.3  | 6.1   | 26.5  |

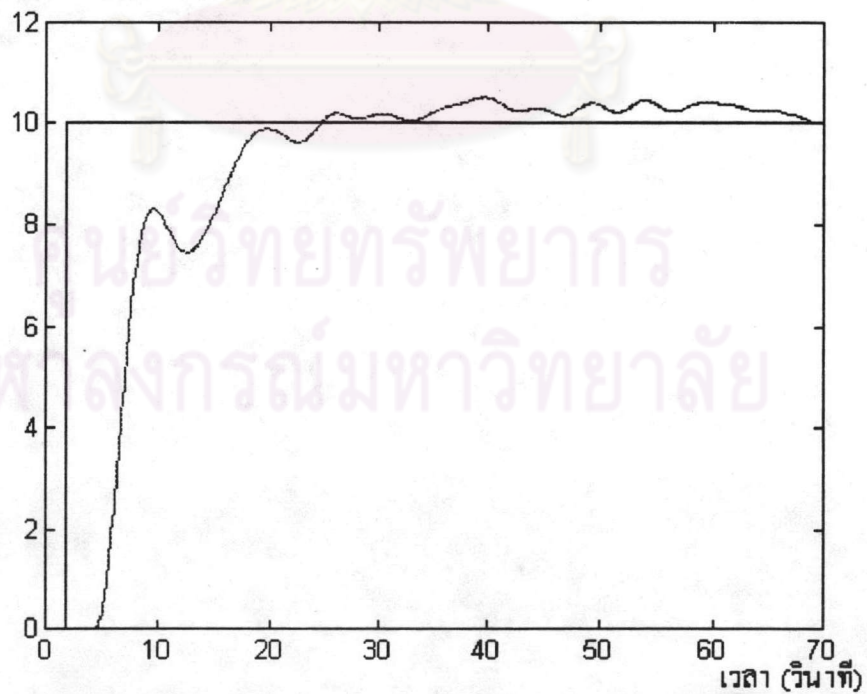
วิธีที่ใช้ในการ  
ปรับค่า PID  
ของตัวควบคุม



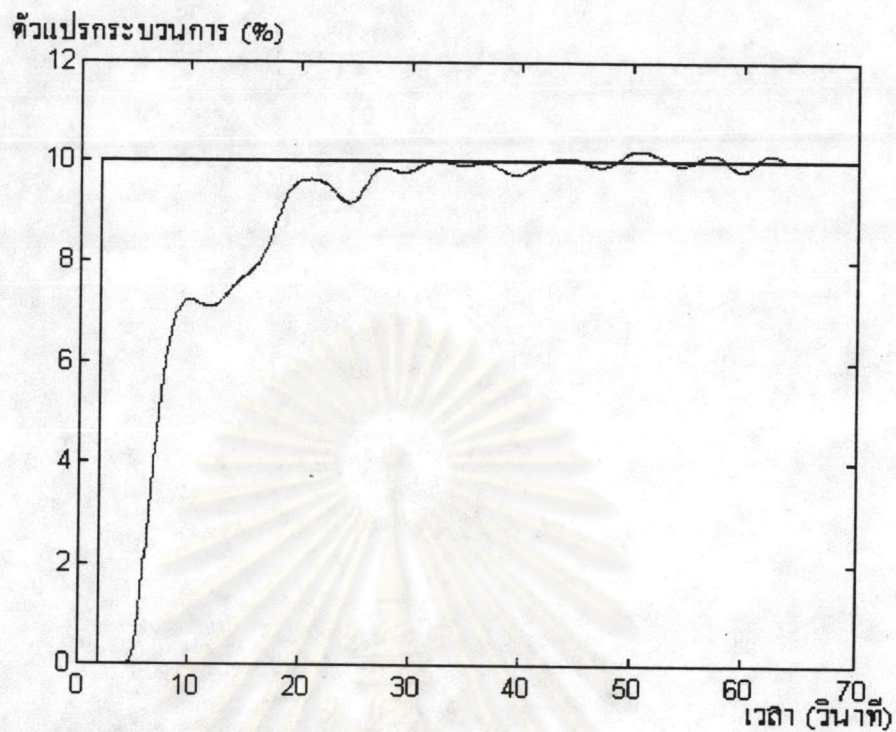
ส่วนผลตอบสนองแสดงได้ดังรูปที่ 5.1-5.7  
ตัวแปรกระบวนการ (%)



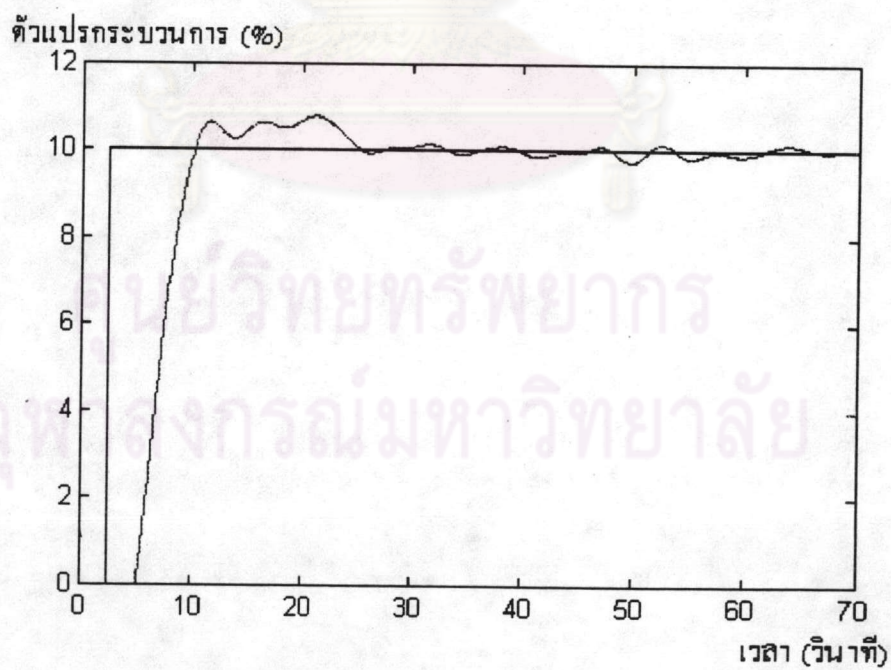
รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบปิดของ Ziegler-Nichols  
ตัวแปรกระบวนการ (%)



รูปที่ 5.2 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Ziegler-Nichols

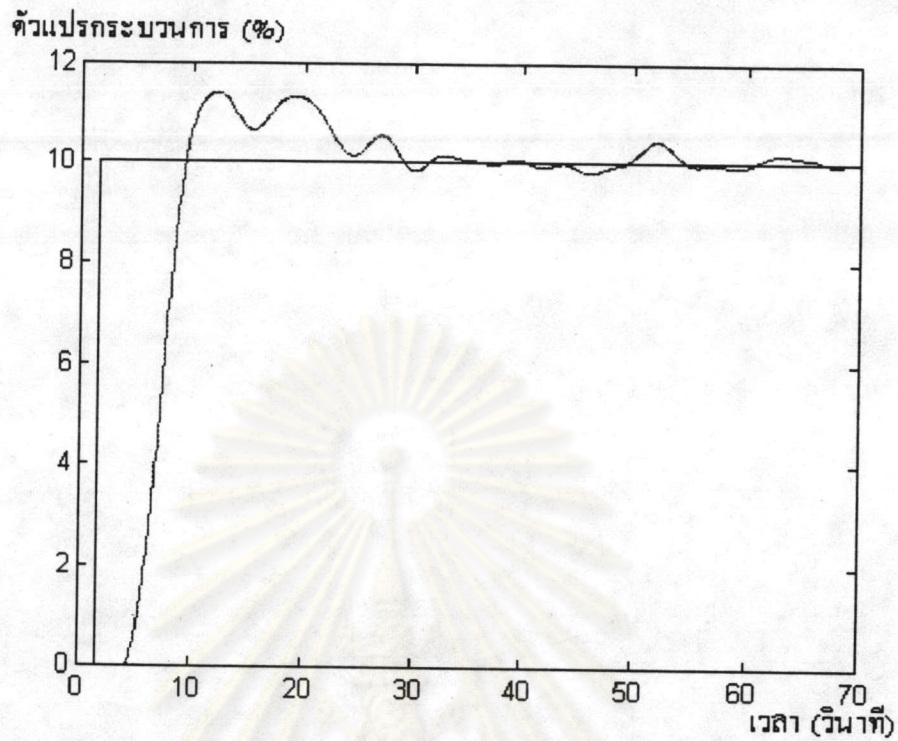


รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Cohen-Coon

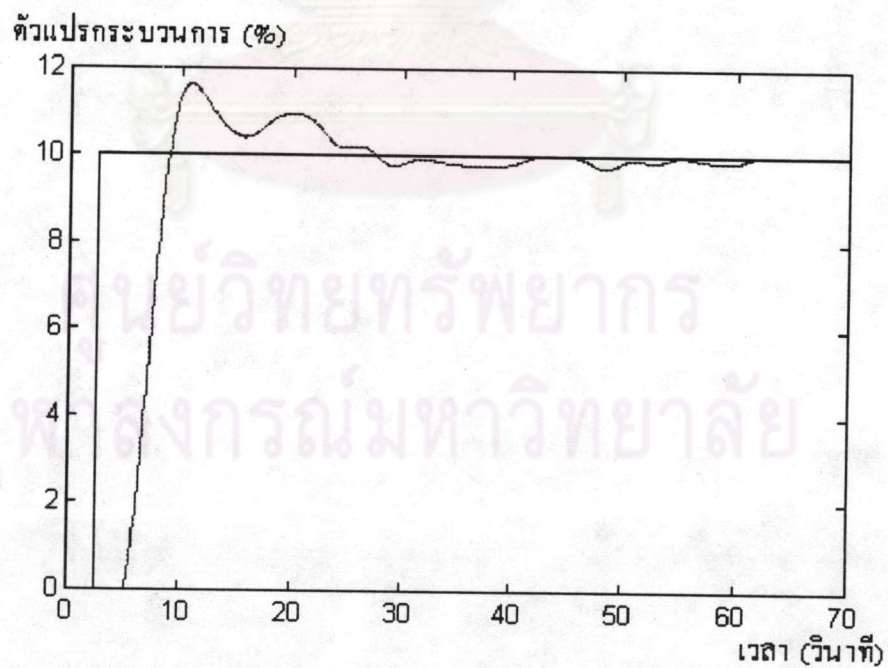


รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยฟัซซีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 %

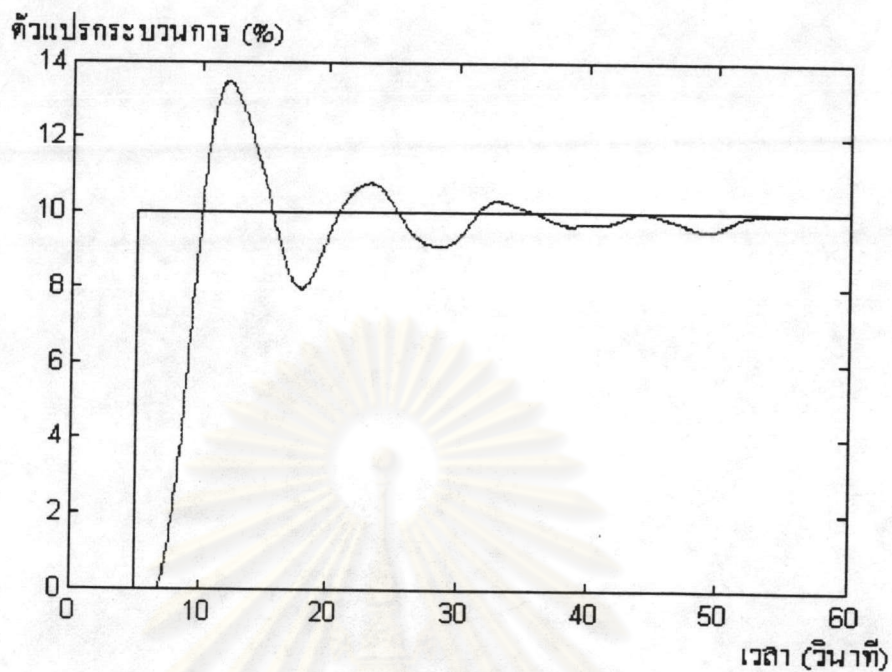




รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 %



รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 %



รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบ Quarter Decay Ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2. การทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลา  
ประวิง

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของกระบวนการจำลองที่ใช้คือ

$$T(s) = \frac{2.5e^{-2s}}{(2s+1)(3s+1)(4s+1)}$$

ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบ กับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลา  
ประวิง

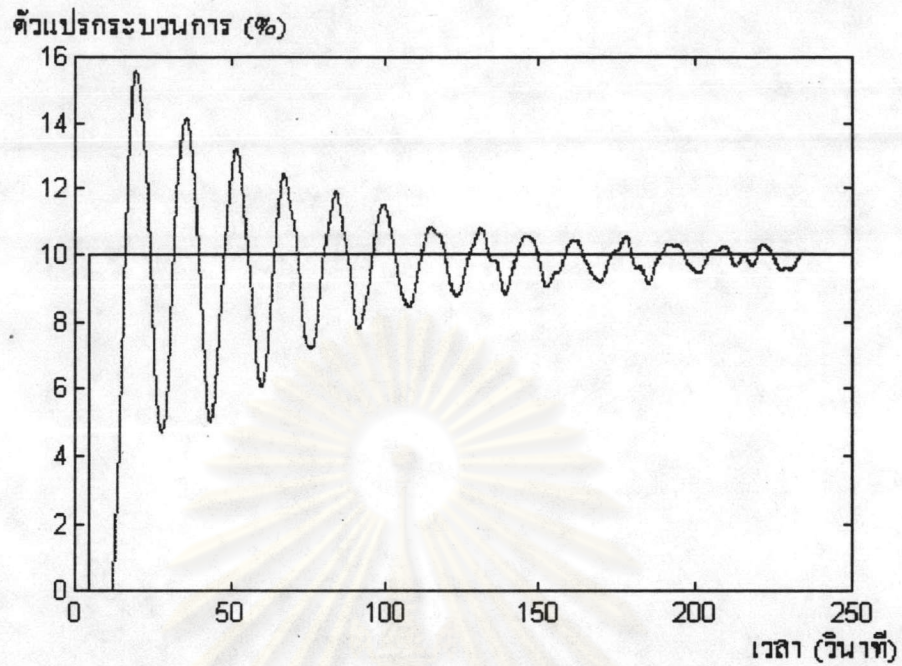
ข้อกำหนดสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบ

วิธีที่ใช้ในการ  
ปรับค่า PID  
ของตัวควบคุม

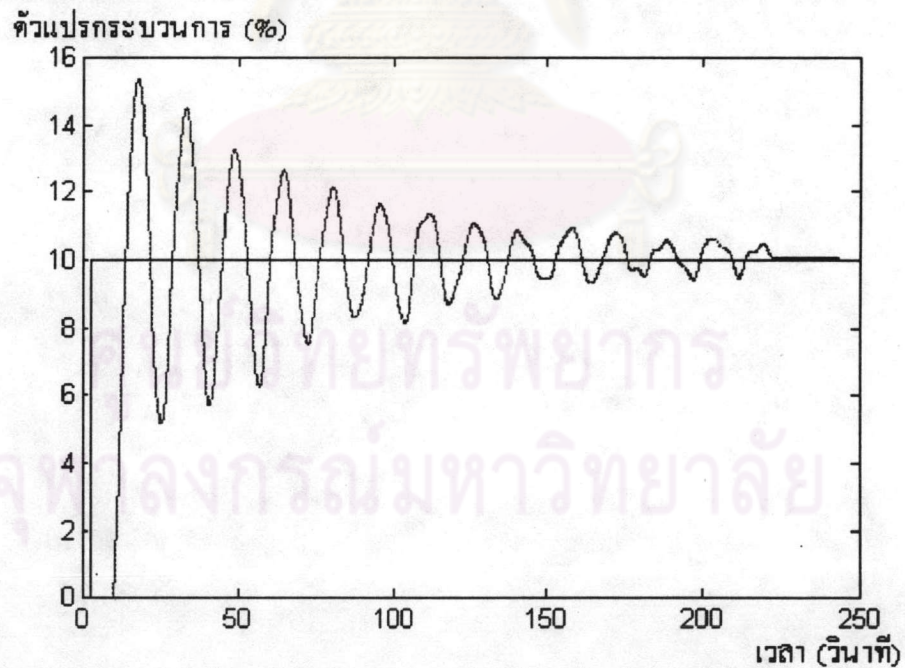
|  | ITAE | IAE | ISE  | $M_p$ | $t_r$ | $t_s$ |
|--|------|-----|------|-------|-------|-------|
| ZN (closed loop)<br>PB=102, Ti=7, Td=2 | 1680 | 317 | 1260 | 56    | 9     | 179   |
| ZN (open loop)<br>PB=95, Ti=8, Td=2    | 1765 | 325 | 1337 | 50.2  | 9.4   | 200   |
| Cohen-Coon<br>PB=120, Ti=7, Td=2       | 3663 | 173 | 952  | 42    | 9.6   | 65    |
| OS 5 %<br>PB=210, Ti=6, Td=4           | 786  | 94  | 662  | 6.2   | 12.7  | 35.1  |
| OS 10 %<br>PB=206, Ti=5, Td=4          | 853  | 95  | 643  | 9.8   | 12.3  | 23.1  |
| OS 15 %<br>PB=201, Ti=5, Td=3          | 1231 | 115 | 774  | 15.7  | 11.7  | 33.3  |
| QDR<br>PB=137, Ti=7, Td=1              | 976  | 98  | 617  | 27.9  | 9.1   | 31.2  |

ส่วนผลตอบแทนแสดงได้ดังรูปที่ 5.8-5.14



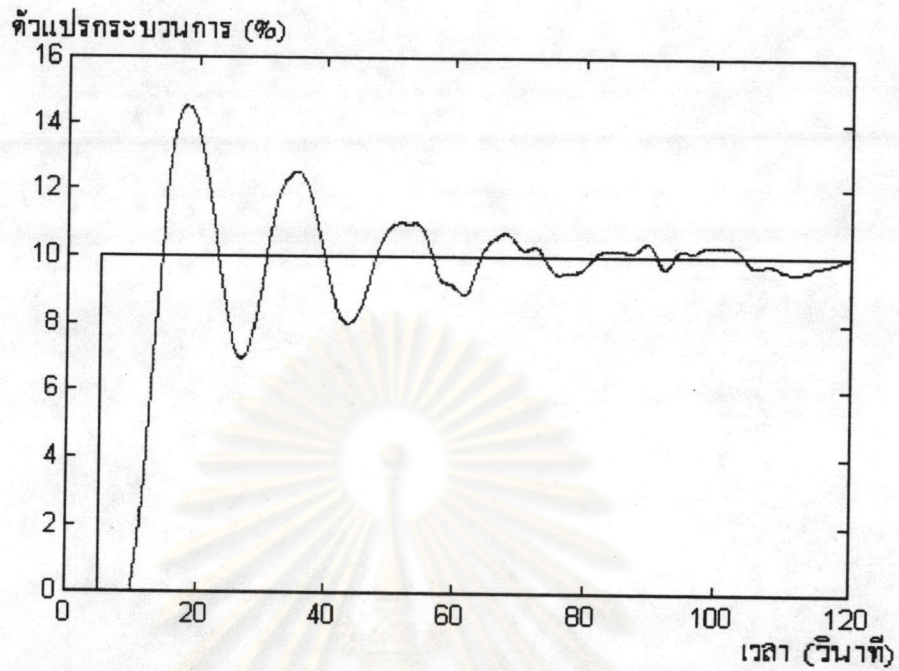


รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบปิดของ Ziegler-Nichols

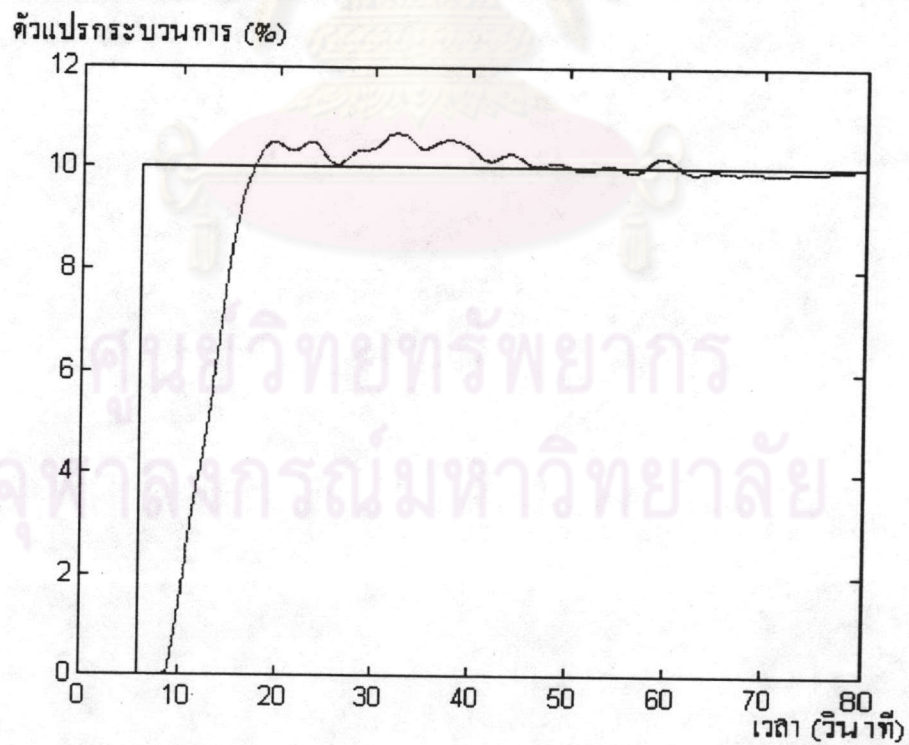


รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Ziegler-Nichols

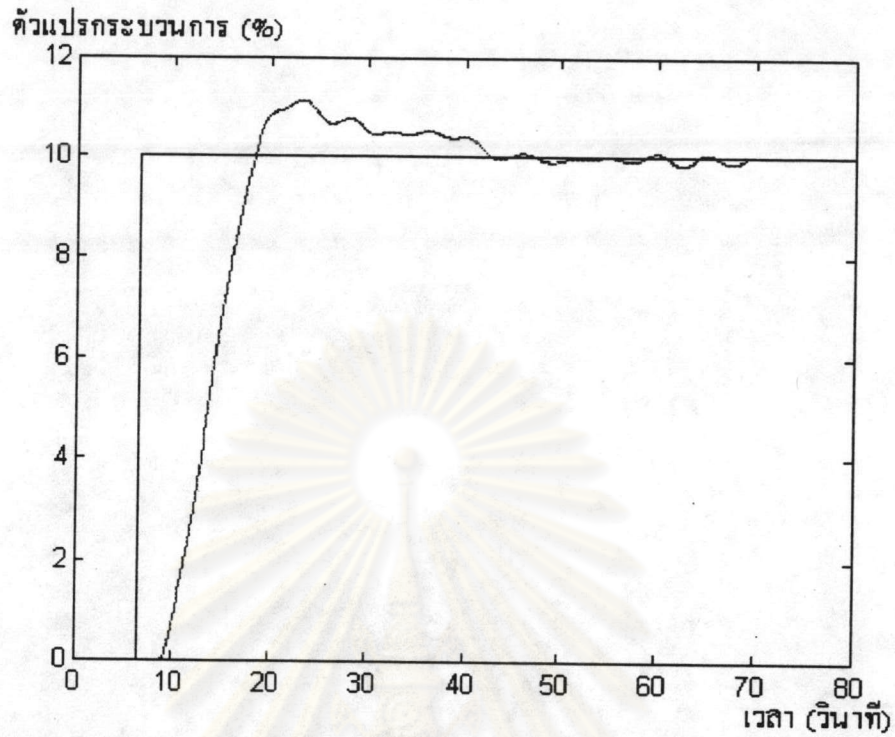




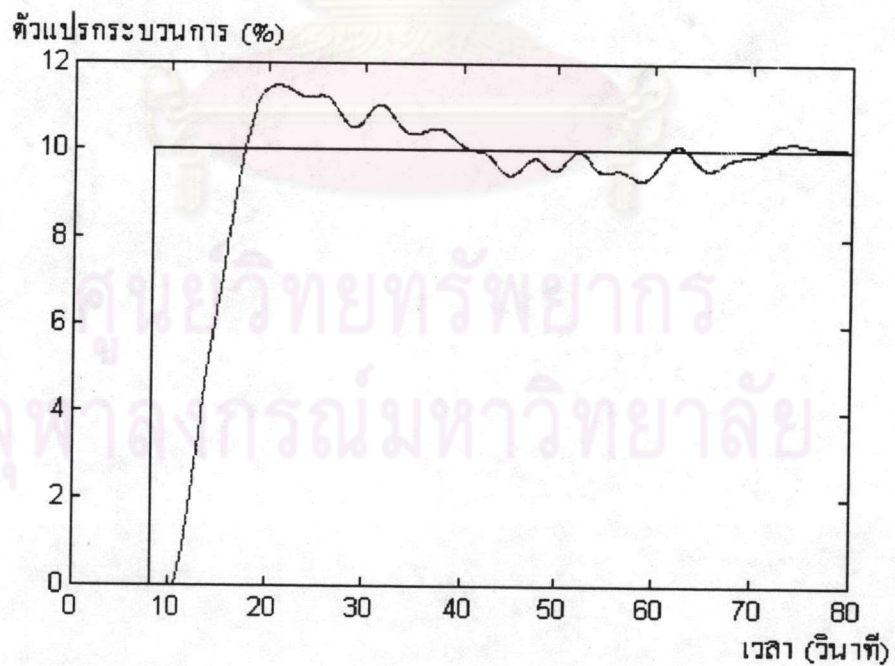
รูปที่ 5.10 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Cohen-Coon



รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 %

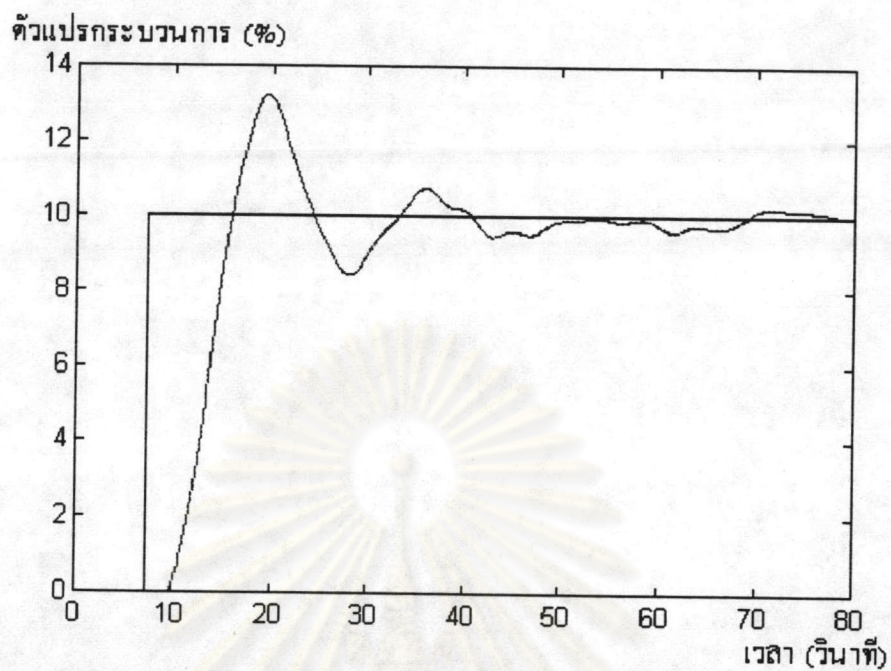


รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 %



รูปที่ 5.13 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 %





รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบ Quarter Decay Ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การทดสอบกับโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลา  
ประวิง

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของกระบวนการจำลองที่ใช้คือ

$$T(s) = \frac{2.5e^{-2s}}{(s+1)(2s+1)(3s+1)(4s+1)}$$

ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบ กับ โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลา  
ประวิง

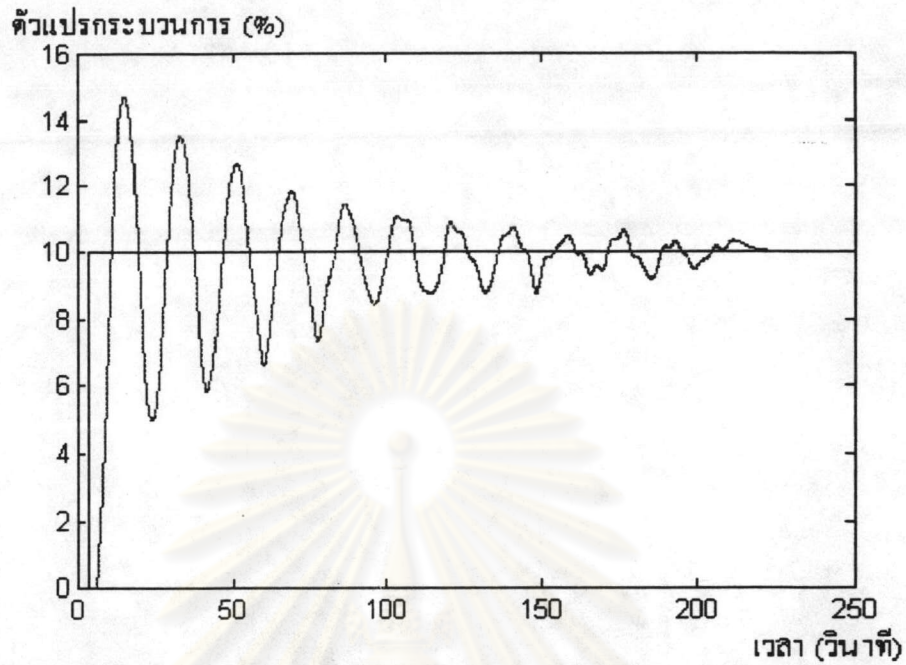
ข้อกำหนดสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบ

วิธีที่ใช้ในการ  
ปรับค่า PID  
ของตัวควบคุม

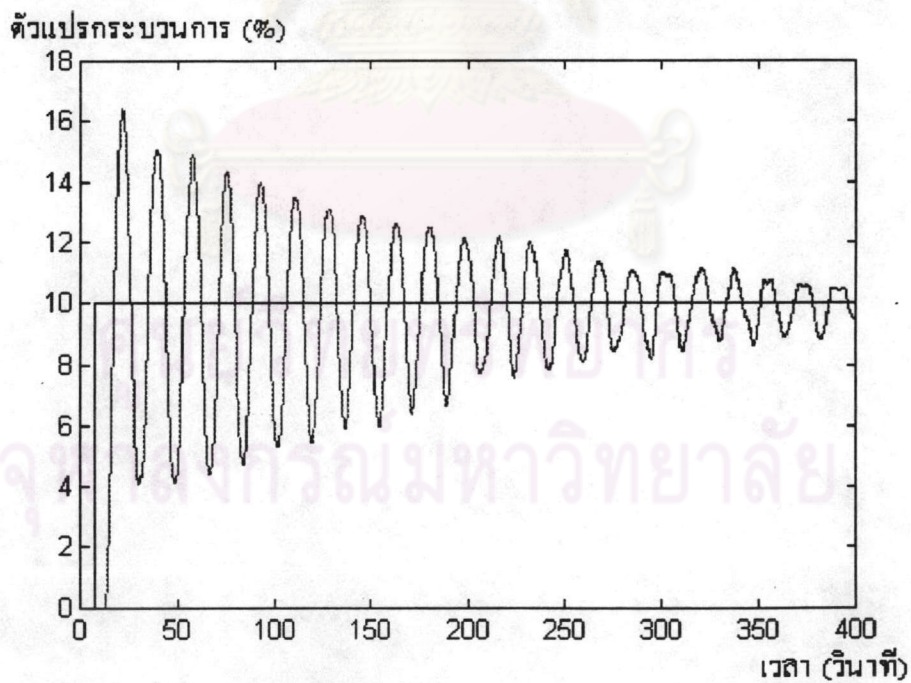
|  | ITAE | IAE | ISE  | $M_p$ | $t_r$ | $t_s$ |
|--|------|-----|------|-------|-------|-------|
| ZN (closed loop)<br>PB=117, Ti=8, Td=2 | 1552 | 302 | 1240 | 43    | 10.8  | 186   |
| ZN (open loop)<br>PB=105, Ti=9, Td=2   | 9357 | 766 | 2800 | 62    | 9.5   | 376   |
| Cohen-Coon<br>PB=150, Ti=7, Td=1       | 1784 | 136 | 829  | 46    | 10.1  | 56.5  |
| OS 5 %<br>PB=190, Ti=7, Td=4           | 679  | 92  | 688  | 5.9   | 12.7  | 35.8  |
| OS 10 %<br>PB=170, Ti=9, Td=4          | 891  | 97  | 678  | 10.2  | 11.2  | 25.8  |
| OS 15 %<br>PB=160, Ti=9, Td=4          | 875  | 95  | 637  | 16.5  | 11    | 34.8  |
| QDR<br>PB=158, Ti=8, Td=1              | 1617 | 131 | 823  | 37.9  | 10.5  | 44    |

ส่วนผลตอบแทนแสดงได้ดังรูปที่ 5.15-5.21

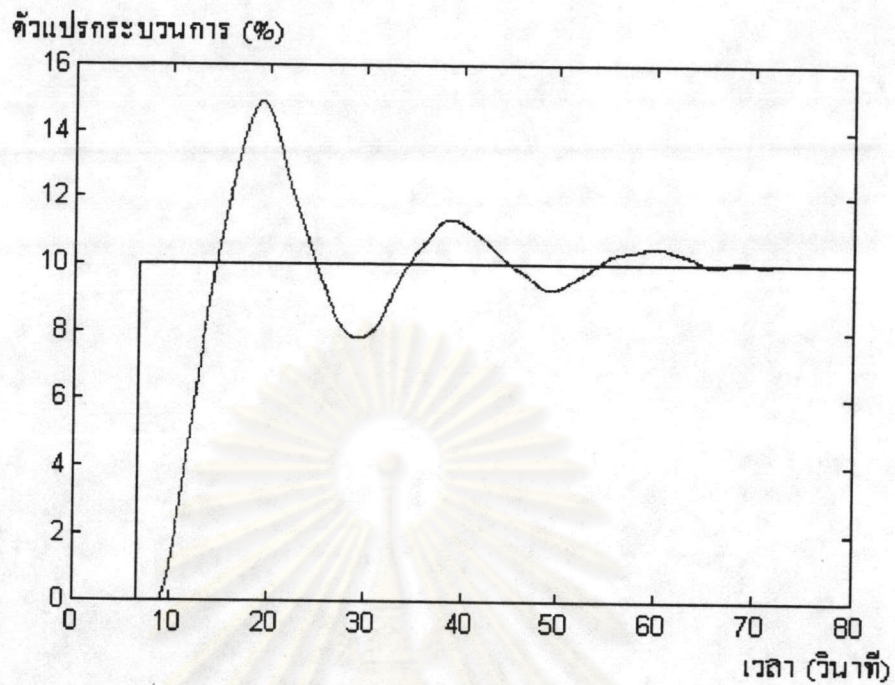




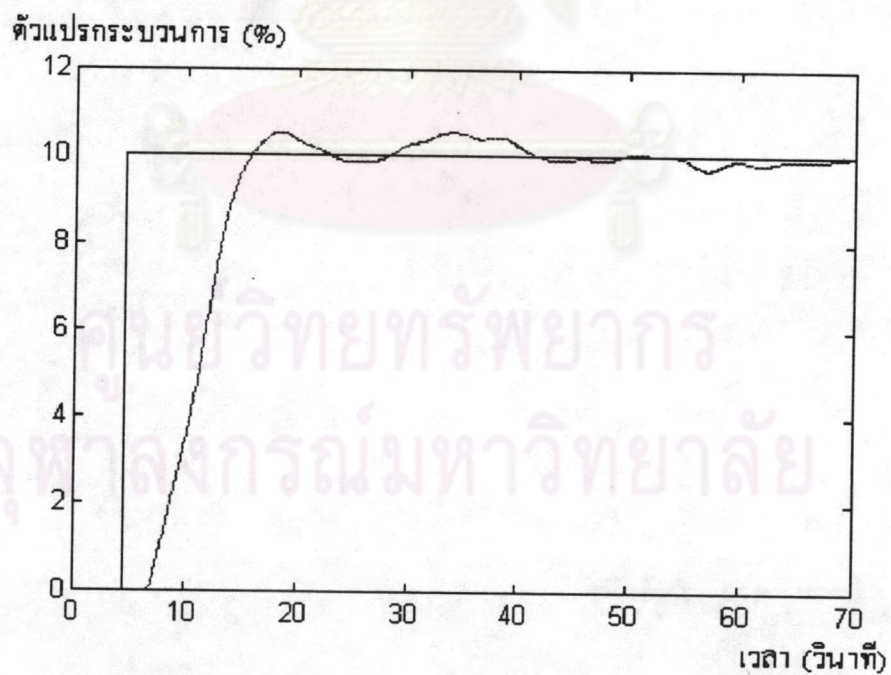
รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบปิดของ Ziegler-Nichols



รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Ziegler-Nichols

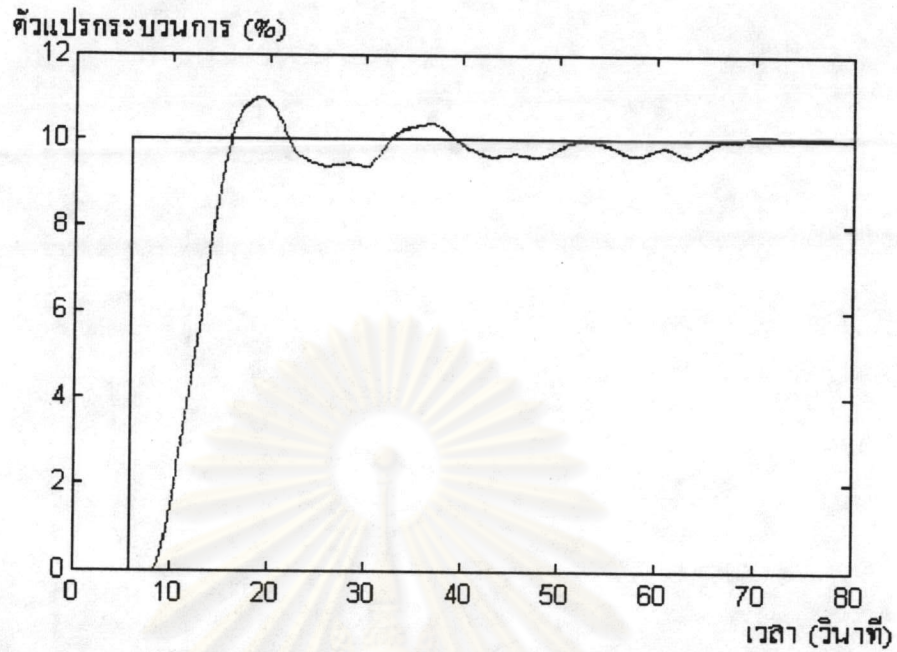


รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Cohen-Coon

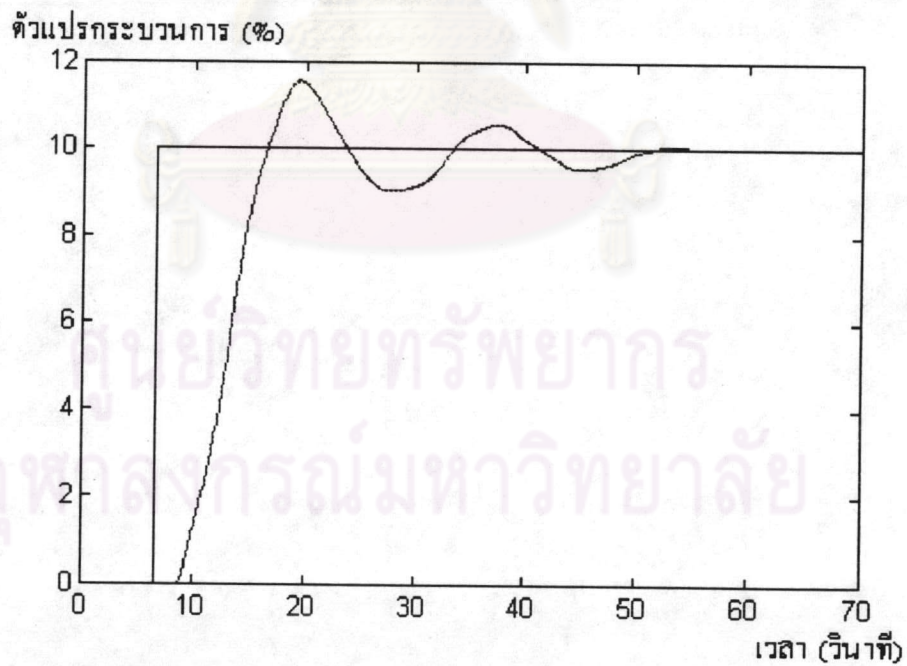


รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 %

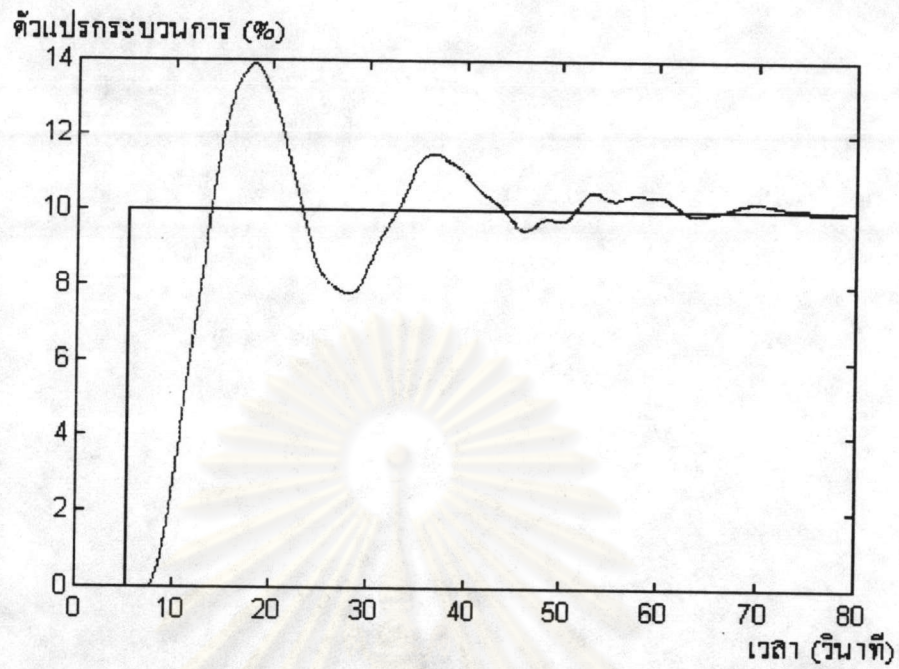




รูปที่ 5.19 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 %



รูปที่ 5.20 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 %



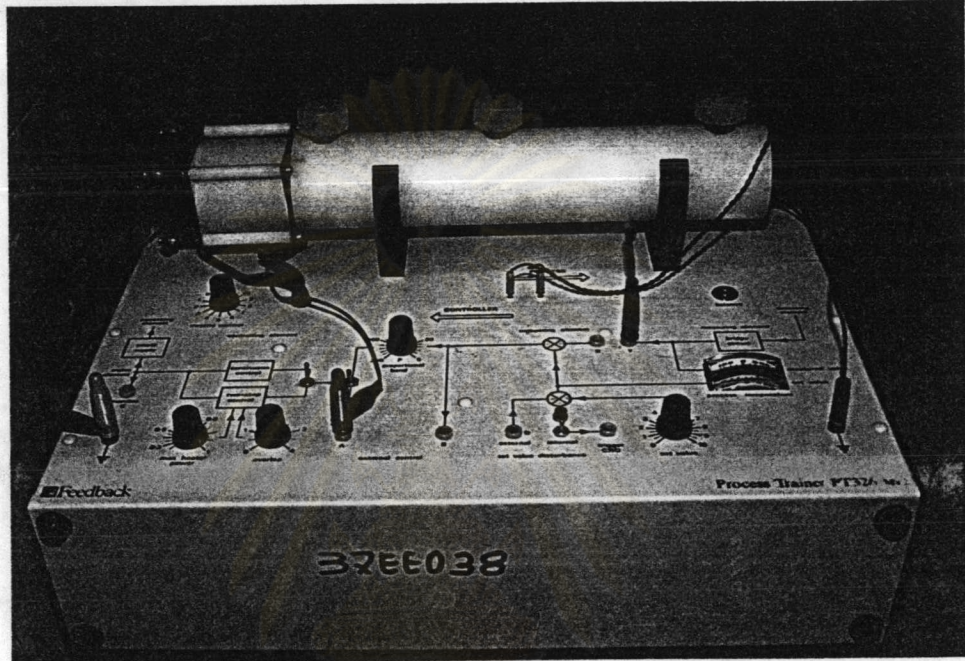
รูปที่ 5.21 ผลตอบสนองของโปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง  
ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิกแบบ Quarter Decay Ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

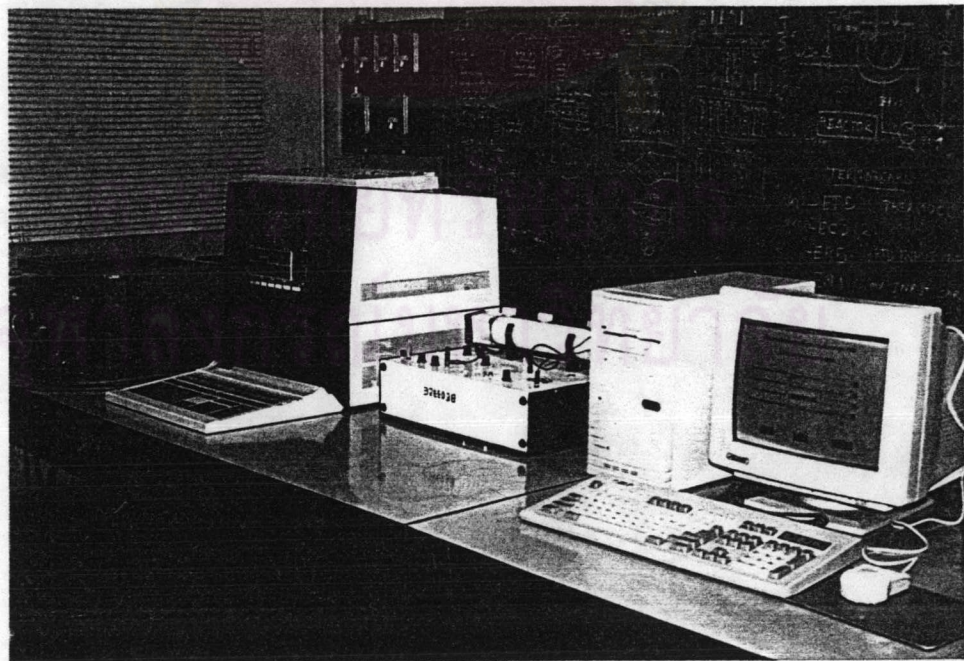


การทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ PID กับกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ

กระบวนการที่ใช้ในการทดสอบเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 5.23 ระบบควบคุมอุณหภูมิ



## ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบ กับกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ

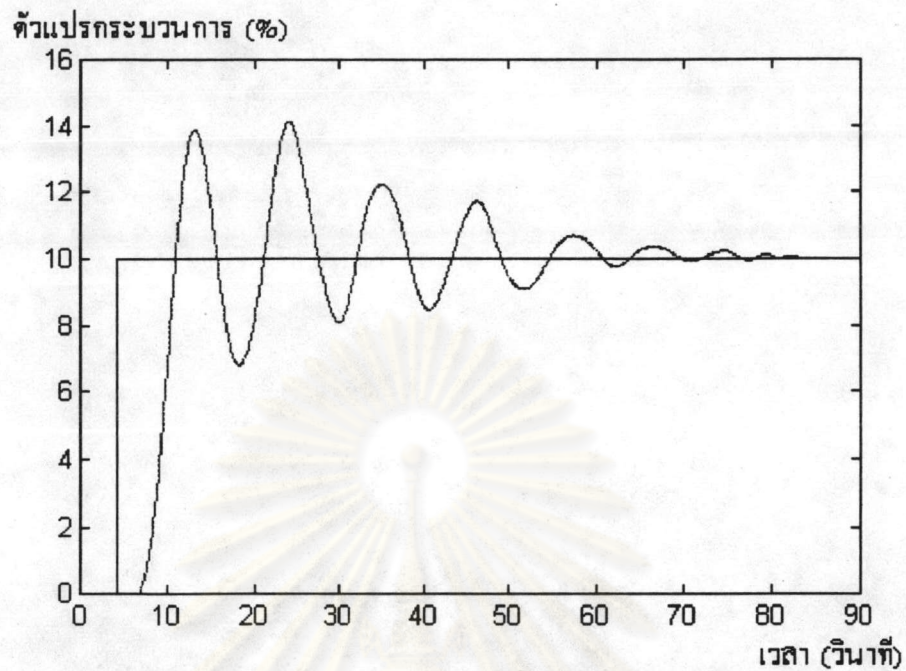
ข้อกำหนดสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบ

วิธีที่ใช้ในการ  
ปรับค่า PID  
ของตัวควบคุม

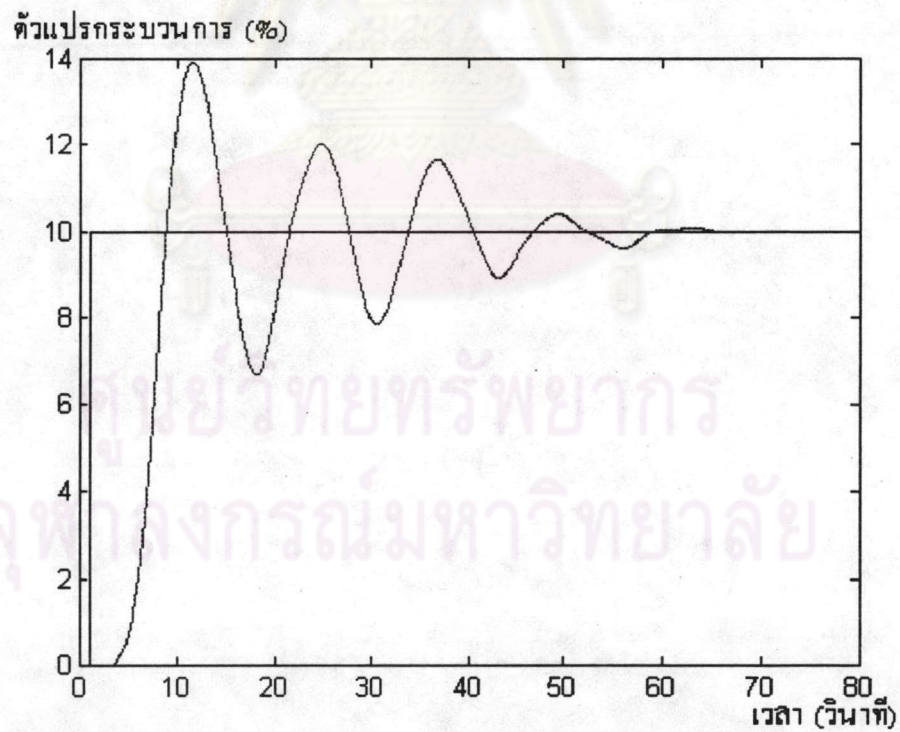
|                                       | ITAE | IAE | ISE | $M_p$ | $t_r$ | $t_s$ |
|---------------------------------------|------|-----|-----|-------|-------|-------|
| ZN (closed loop)<br>PB=40, Ti=6, Td=2 | 2210 | 128 | 637 | 39    | 6.8   | 55    |
| ZN (open loop)<br>PB=45, Ti=6, Td=1   | 1473 | 109 | 550 | 40    | 7     | 44    |
| Cohen-Coon<br>PB=59, Ti=4, Td=1       | 1205 | 100 | 583 | 43    | 7.7   | 61    |
| OS 5 %<br>PB=72, Ti=6, Td=1           | 602  | 73  | 514 | 5.9   | 9.7   | 36    |
| OS 10 %<br>PB=65, Ti=6, Td=1          | 626  | 76  | 510 | 11.2  | 9.4   | 32    |
| OS 15 %<br>PB=60, Ti=6, Td=1          | 659  | 84  | 532 | 15.8  | 9.1   | 37    |
| QDR<br>PB=56, Ti=5, Td=1              | 753  | 87  | 539 | 25.9  | 8.4   | 30    |

ส่วนผลตอบแทนแสดงได้ดังรูปที่ 5.22-5.28

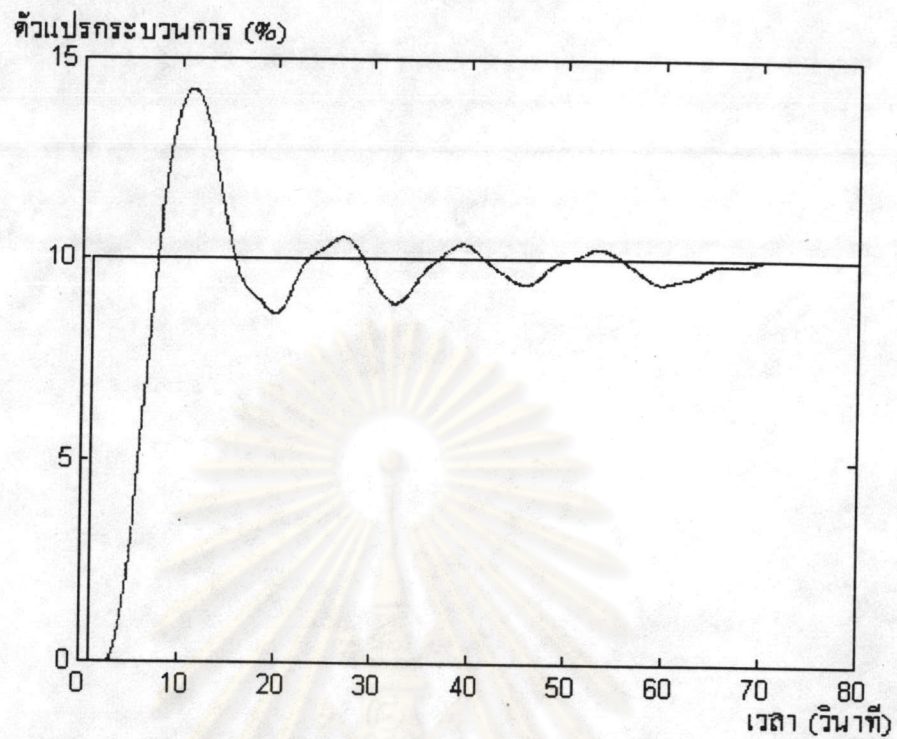




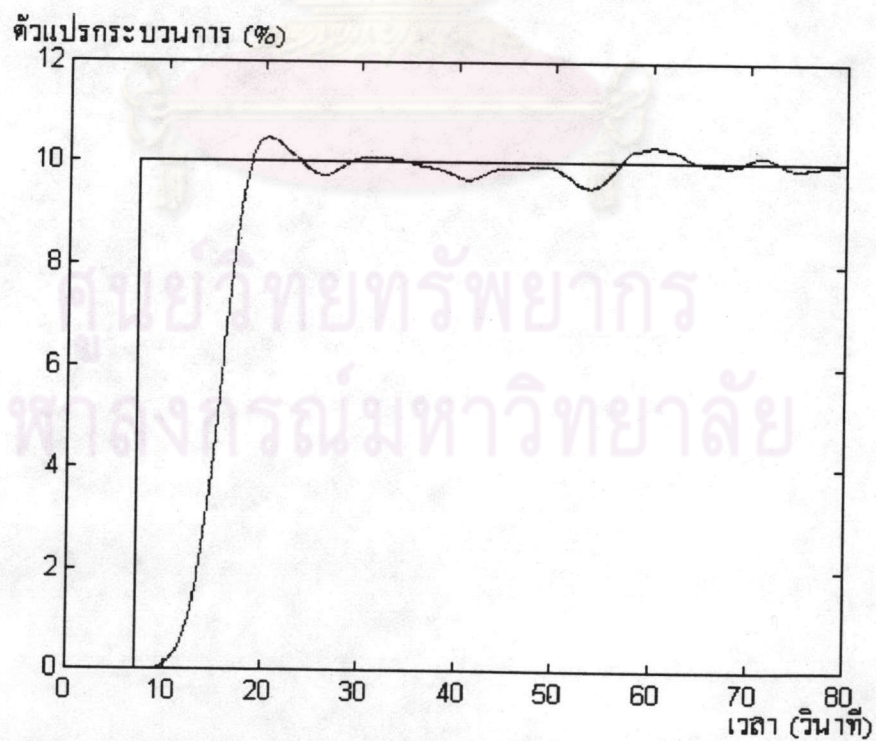
รูปที่ 5.24 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบปิดของ Ziegler-Nichols



รูปที่ 5.25 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Ziegler-Nichols

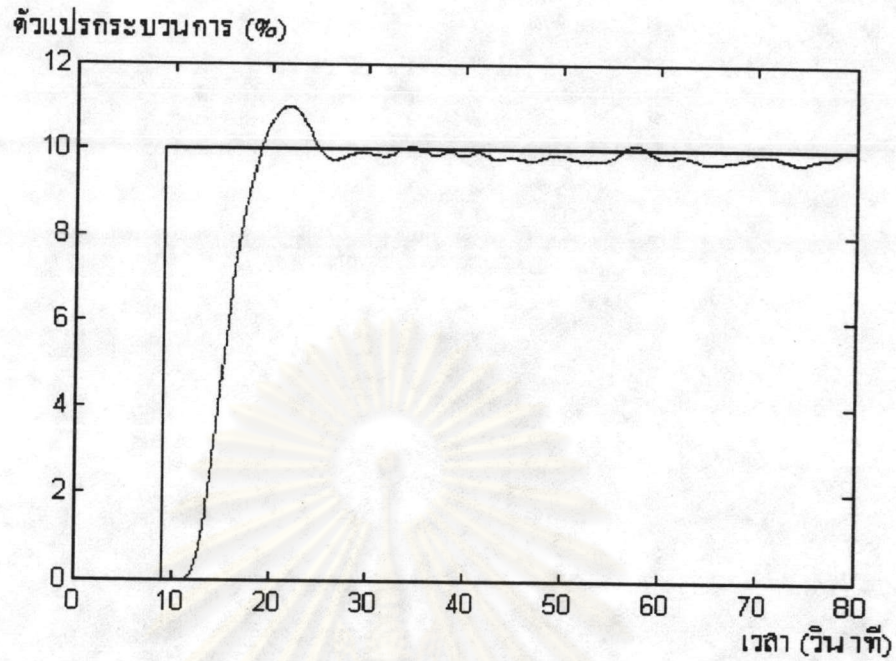


รูปที่ 5.26 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Cohen-Coon

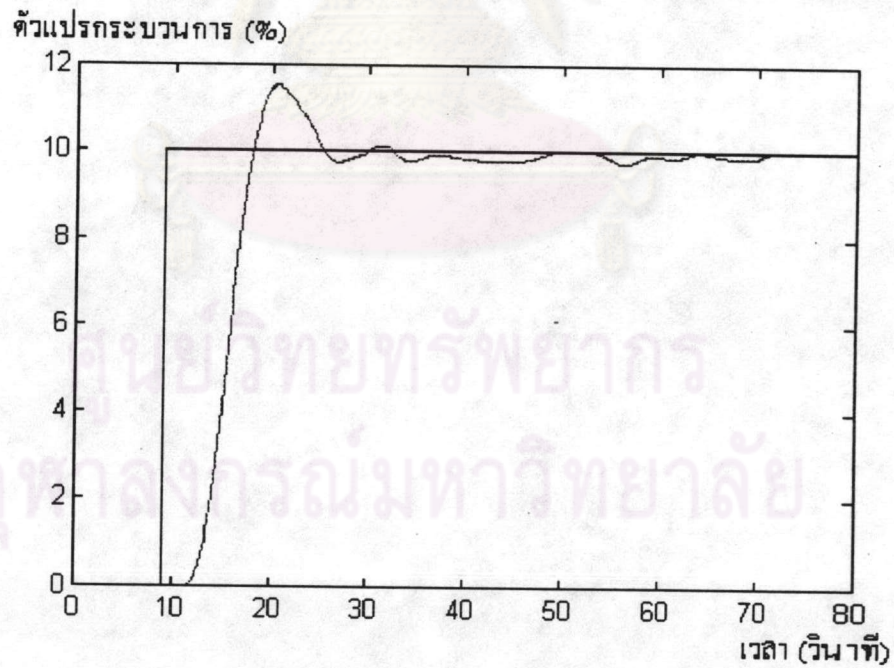


รูปที่ 5.27 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีซีแอลจิกแบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 %

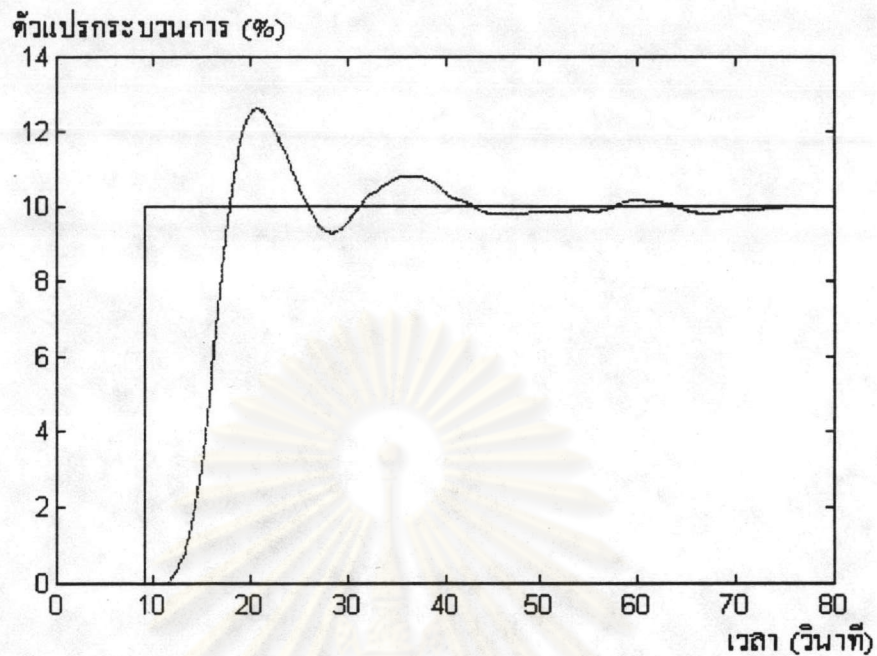




รูปที่ 5.28 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิก แบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 %



รูปที่ 5.29 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีชชีลอจิก แบบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 %



รูปที่ 5.30 ผลตอบสนองของกระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ปรับค่าด้วยพีซีลอจิก  
แบบ Quarter Decay Ratio

#### สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบกับกระบวนการทั้ง 4 แบบ นำมาเรียงลำดับข้อดีของแต่ละวิธีในแต่ละข้อกำหนดสมรรถนะดังแสดงในตารางที่ 5.5-5.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับค่าด้วยโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้พีซีลอจิกในงานวิจัยครั้งนี้ ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ข้อกำหนดสมรรถนะเกือบทั้งหมดดีกว่าการปรับค่าด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols และ Cohen-Coon

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.5 การเรียงลำดับข้อดีของแต่ละวิธีในแต่ละข้อกำหนดสมรรถนะของผลการทดสอบกับ  
โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสองที่มีเวลาประวิง

|   | ITAE           | IAE           | ISE           | $M_p$          | $t_r$          | $t_s$          |
|---|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | OS5<br>(374)   | OS5<br>(58)   | OS10<br>(374) | ZNO*<br>(3.3)  | ZNC*<br>(3.7)  | OS10<br>(19)   |
| 2 | OS10<br>(519)  | OS10<br>(63)  | OS5<br>(409)  | CC*<br>(3.4)   | QDR<br>(6.1)   | OS5<br>(20.4)  |
| 3 | OS15<br>(532)  | OS15<br>(65)  | OS15<br>(414) | OS5<br>(6.5)   | OS15<br>(6.2)  | OS15<br>(20.6) |
| 4 | ZNO*<br>(602)  | ZNO*<br>(74)  | ZNC*<br>(442) | OS10<br>(11.3) | OS10<br>(6.6)  | ZNO*<br>(20.8) |
| 5 | QDR<br>(627)   | QDR<br>(76)   | CC*<br>(455)  | OS15<br>(16.5) | OS5<br>(7.5)   | CC*<br>(23.2)  |
| 6 | CC*<br>(679)   | CC*<br>(79)   | QDR<br>(456)  | QDR<br>(34.3)  | ZNO*<br>(18.7) | QDR<br>(26.5)  |
| 7 | ZNC*<br>(1471) | ZNC*<br>(101) | ZNO*<br>(459) | ZNC*<br>(62.6) | CC*<br>(19.6)  | ZNC*<br>(52)   |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 การเรียงลำดับข้อดีของแต่ละวิธีในแต่ละข้อกำหนดสมรรถนะของผลการทดสอบกับ  
โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสามที่มีเวลาประวิง

|   | ITAE           | IAE           | ISE            | $M_p$          | $t_r$          | $t_s$          |
|---|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | OS5<br>(786)   | OS5<br>(94)   | QDR<br>(617)   | OS5<br>(6.2)   | ZNC*<br>(9)    | OS10<br>(23.1) |
| 2 | OS10<br>(853)  | OS10<br>(95)  | OS10<br>(643)  | OS10<br>(9.8)  | QDR<br>(9.1)   | QDR<br>(31.2)  |
| 3 | QDR<br>(976)   | QDR<br>(98)   | OS5<br>(662)   | OS15<br>(15.7) | ZNO*<br>(9.4)  | OS15<br>(33.3) |
| 4 | OS15<br>(1231) | OS15<br>(115) | OS15<br>(774)  | QDR<br>(27.9)  | CC*<br>(9.6)   | OS5<br>(35.1)  |
| 5 | ZNC*<br>(1680) | CC*<br>(173)  | CC*<br>(952)   | CC*<br>(42)    | OS15<br>(11.7) | CC*<br>(64.7)  |
| 6 | ZNO*<br>(1765) | ZNC*<br>(317) | ZNC*<br>(1260) | ZNO*<br>(50.2) | OS10<br>(12.3) | ZNC*<br>(179)  |
| 7 | CC*<br>(3663)  | ZNO*<br>(325) | ZNO*<br>(1337) | ZNC*<br>(56)   | OS5<br>(12.7)  | ZNO*<br>(200)  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.7 การเรียงลำดับข้อดีของแต่ละวิธีในแต่ละข้อกำหนดสมรรถนะของผลการทดสอบกับ  
โปรแกรมจำลองการทำงานของกระบวนการกำลังสี่ที่มีเวลาประวิง

|   | ITAE           | IAE           | ISE            | $M_p$          | $t_r$          | $t_s$          |
|---|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | OS5<br>(679)   | OS5<br>(92)   | OS15<br>(637)  | OS5<br>(5.9)   | ZNO*<br>(9.5)  | OS10<br>(25.8) |
| 2 | OS15<br>(875)  | OS15<br>(95)  | OS10<br>(678)  | OS10<br>(10.2) | CC*<br>(10.1)  | OS15<br>(34.8) |
| 3 | OS10<br>(891)  | OS10<br>(97)  | OS5<br>(688)   | OS15<br>(16.5) | QDR<br>(10.5)  | OS5<br>(35.8)  |
| 4 | ZNC*<br>(1552) | QDR<br>(131)  | QDR<br>(823)   | QDR<br>(37.9)  | ZNC*<br>(10.8) | QDR<br>(44)    |
| 5 | QDR<br>(1671)  | CC*<br>(136)  | CC*<br>(829)   | ZNC*<br>(43)   | OS15<br>(11)   | CC*<br>(56.5)  |
| 6 | CC*<br>(1784)  | ZNC*<br>(302) | ZNC*<br>(1240) | CC*<br>(46)    | OS10<br>(11.2) | ZNC*<br>(186)  |
| 7 | ZNO*<br>(9357) | ZNO*<br>(766) | ZNO*<br>(2800) | ZNO*<br>(62)   | OS5<br>(12.7)  | ZNO*<br>(376)  |

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.8 การเรียงลำดับข้อดีของแต่ละวิธีในแต่ละข้อกำหนดสมรรถนะของผลการทดสอบกับ  
กระบวนการจริงในห้องปฏิบัติการ

|   | ITAE           | IAE           | ISE           | $M_p$          | $t_r$         | $t_s$        |
|---|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| 1 | OS5<br>(602)   | OS5<br>(73)   | OS10<br>(510) | OS5<br>(5.9)   | ZNC*<br>(6.8) | QDR<br>(30)  |
| 2 | OS10<br>(626)  | OS10<br>(76)  | OS5<br>(514)  | OS10<br>(11.2) | ZNO*<br>(7)   | OS10<br>(32) |
| 3 | OS15<br>(659)  | OS15<br>(84)  | OS15<br>(532) | OS15<br>(15.8) | CC*<br>(7.7)  | OS5<br>(36)  |
| 4 | QDR<br>(753)   | QDR<br>(87)   | QDR<br>(539)  | QDR<br>(25.9)  | QDR<br>(8.4)  | OS15<br>(37) |
| 5 | CC*<br>(1205)  | CC*<br>(100)  | ZNO*<br>(550) | ZNC*<br>(39)   | OS15<br>(9.1) | ZNO*<br>(44) |
| 6 | ZNO*<br>(1473) | ZNO*<br>(109) | CC*<br>(583)  | ZNO*<br>(40)   | OS10<br>(9.4) | ZNC*<br>(55) |
| 7 | ZNC*<br>(2210) | ZNC*<br>(128) | ZNC*<br>(637) | CC*<br>(43)    | OS5<br>(9.7)  | CC*<br>(61)  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย