

## บทที่ 5

### การเก็บข้อมูลการทดลอง และการระบุกระบวนการ

#### 5.1 วิธีการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลจากการทดลองจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่สนใจให้คงที่ แต่ในบ่อยครั้งเราก็ไม่อาจคาดเดาได้ว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นและอาจจะรบกวนการทดลอง ซึ่งจะส่งผลให้การเก็บข้อมูลในครั้งนั้นๆ เกิดความผิดพลาด หรือ ข้อมูลที่ได้ไม่อาจนำไปใช้วิเคราะห์ได้ ดังนั้นในการเตรียมการทดลองจะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ และวิธีการให้พร้อม

##### 5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ก. วิธีการเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ

- Dephlegmator
- Thermal oil plant
- Reactor, Condensor and Receiver
- Cooling system
- Scale

ข. การจำลองและการเขียนแบบกระบวนการ

**-Hard ware**

COMPUTER INTEL 486 DX2-33 (CACHE 256 KB)

8 MB. MEMORY ONBOARD

VGA CARD 1 MB

AT BUS CONTROLLER WITH I/O

HARDDISK 247 MB

**-Soft ware**

1. MATLAB for Windows

Copyright @ 1984-1994 The MathWorks,Inc.

All Rights Reserved

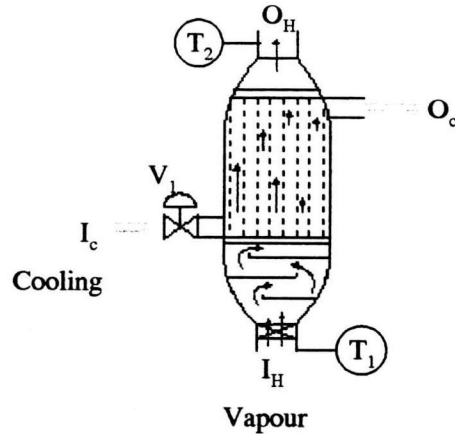
Version 4.2b May 26, 1994

Serial Number 907224

2. Simulink for Windows

Copyright @ 1984-1994 The MathWorks,Inc.

### 5.1.2 ขั้นตอนการทำงานเก็บข้อมูลและการทดลอง



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะแบบแผนและตำแหน่งต่างๆ ในการเก็บตัวอย่าง

#### ก. วิธีการเส้นโค้งปฏิริยาของกระบวนการ

1. ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์คล้ายดังรูปที่ 2.30
2. ใส่สาร B ลงไปในถังปฏิกรณ์และปิดระบบให้เรียบร้อย
3. ให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์จนมีอุณหภูมิได้ประมาณ  $140-150^{\circ}\text{C}$
4. ใส่สาร A ลงไปในถังปฏิกรณ์ด้วยอัตราเร็วคงที่
5. รอจนสารเคมีดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาเคมีได้สาร C ระเหยผ่านขึ้นไปบนเครื่องแยก

สาร (ดีเฟลกมาเตอร์) จากตำแหน่ง  $I_H$  ผ่านไปยัง  $O_H$

6. ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านดีเฟลกมาเตอร์ ที่ตำแหน่ง  $V_1$  เพื่อควบคุมอุณหภูมิการกลั่นตัวของสาร C ที่ตำแหน่ง  $T_2$  ให้คงที่ที่ประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$

(อุณหภูมียอดคอกของดีเฟลกมาเตอร์)

7. รอจนกระทั่งอุณหภูมียอดคอกของดีเฟลกมาเตอร์ที่ตำแหน่ง  $T_2$  คงที่
8. ทำการเปิดน้ำเย็นที่ตำแหน่ง  $V_1$  ให้ไหลผ่านดีเฟลกมาเตอร์อย่างทันทีทันใด

ให้การเปลี่ยนแปลงเป็นแบบสเค็พ

9. จับเวลาและบันทึกอุณหภูมิยอดหอที่ตำแหน่ง  $T_2$  ของดีเฟลกมาเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

10. ตรวจวัดปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านดีเฟลกมาเตอร์ โดยเก็บวัดตรงจุดที่ออกจากดีเฟลกมาเตอร์ และใช้เครื่องชั่งเป็นต้ววัด คำนวณอัตราการไหลเป็น กก.ต่อนาที

11. เมื่อค่าอุณหภูมิยอดหอที่ตำแหน่ง  $T_2$  เข้าสู่สถานะคงตัวอันใหม่แล้วจึงหยุดการทดลอง

ข. การระบุกระบวนการ โดยวิธีทางสถิติ

1. ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์คล้ายดังรูปที่ 2.30
2. ใส่น้ำ B ลงไปในถังปฏิกรณ์และปิดระบบให้เรียบร้อย
3. ให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์จนมีอุณหภูมิได้ประมาณ  $140-150^\circ\text{C}$
4. ใส่น้ำ A ลงไปในถังปฏิกรณ์ด้วยอัตราเร็วคงที่
5. รอจนสารเคมีดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาเคมีได้สาร C ระเหยผ่านขึ้นไปบนเครื่องแยกสาร (ดีเฟลกมาเตอร์) จากตำแหน่ง  $I_H$  ผ่านไปยัง  $O_H$
6. ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นผ่านดีเฟลกมาเตอร์ ที่ตำแหน่ง  $V_1$  เพื่อควบคุมอุณหภูมิการกลั่นตัวของสาร C ที่ตำแหน่ง  $T_2$  ให้คงที่ที่ประมาณ  $80-90^\circ\text{C}$  (อุณหภูมิยอดหอของดีเฟลกมาเตอร์)
7. รอจนกระทั่งอุณหภูมิยอดหอของดีเฟลกมาเตอร์ที่ตำแหน่ง  $T_2$  คงที่

8. ให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์จนมีอุณหภูมิของความดันไอขาเข้าของดีเพลลามา  
เตอร์ที่ตำแหน่ง  $I_H$  เพิ่มขึ้นจากข้อ 3. ประมาณ  $5-10^\circ\text{C}$

9. จดบันทึกข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $T_1$  และ  $T_2$  เทียบกับเวลา

ค. การจำลองและการเลียนแบบกระบวนการ

1. นำแบบจำลองกระบวนการที่ได้มาประกอบบล็อกตามวิธีการใช้เมทแล็บดังที่  
อธิบายไว้ในบทที่ 3

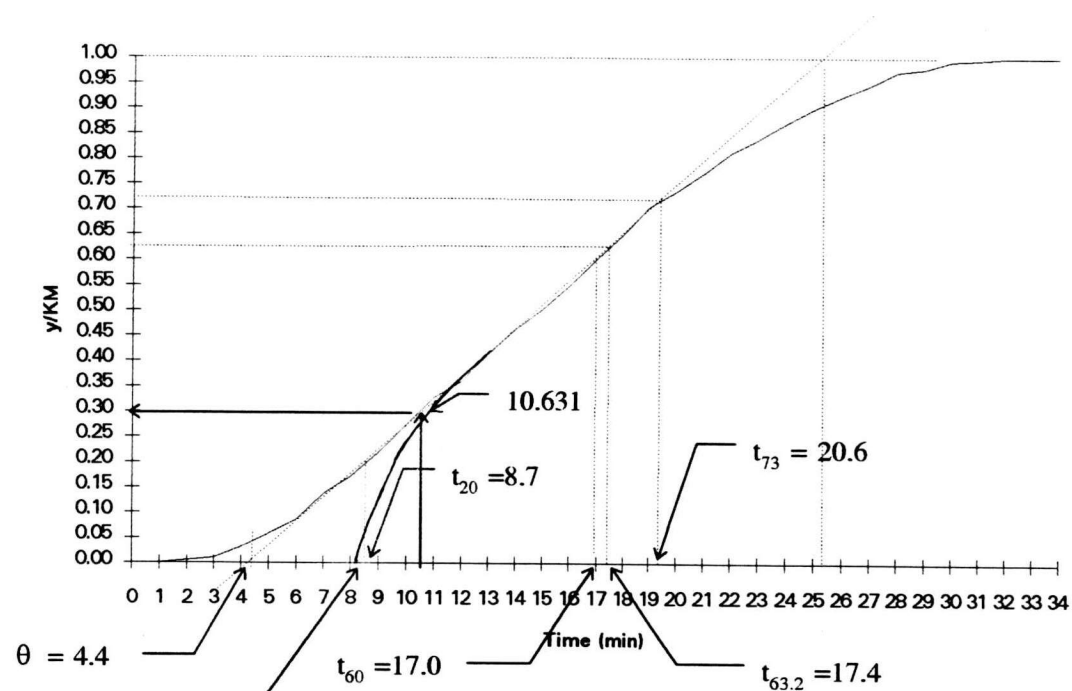
2. ทดลองดำเนินการควบคุมในการบวนการตามลักษณะชนิดการควบคุมต่างๆ ใน  
ในแต่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ โหลด และ เซ็ทพอยท์

3. บันทึกลักษณะของการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่ได้

4. วิเคราะห์ผลที่ได้

### 5.1.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ก. วิธีหาแบบจำลองโดยเส้นโค้งปฏิบัติการของกระบวนการ



รูปที่ 5.2 แสดงการหาค่าเวลาจากเส้นโค้งปฏิบัติการ

จากรูปที่ 5.2

$$\Delta PV = 38.3 \text{ \%}$$

$$\Delta MV = 25.32 \text{ Kgs/min}$$

$$\theta = 4.4 \text{ min (2}^{\text{nd}} \text{ order)} ; \quad \theta = 8.2 \text{ min (1}^{\text{st}} \text{ order)}$$

$$t_{20} = 8.7 - 4.4 \text{ min} = 4.3 \text{ min}$$

$$t_{60} = 17 - 4.4 \text{ min} = 12.6 \text{ min}$$

$$t_{63.2} = 17.4 - 4.4 \text{ min} = 13 \text{ min}$$

$$t_{73} = 20.6 - 4.4 \text{ min} = 16.2 \text{ min}$$

- หาแบบจำลองกระบวนการอันดับหนึ่ง

$$K_p = \frac{\Delta PV}{\Delta MV} = \frac{38.3}{25.32} = 1.513 \quad \text{°C.min/Kgs.}$$

$$\theta = 8.2 \quad \text{min}$$

$$\tau = 13 \quad \text{min}$$

นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 2.27 ก็จะได้แบบจำลองของกระบวนการอันดับหนึ่ง

$$\frac{Ke^{-\theta S}}{(\tau S + 1)} = \frac{1.513e^{-8.2S}}{(13S + 1)} \quad (5.1)$$

- หาแบบจำลองกระบวนการอันดับสอง

● Harriott Method

$$t_{73} = 16.2 \quad \text{min}$$

$$\text{จาก } \tau_1 + \tau_2 = \frac{t_{73}}{1.3}$$

$$\text{จะได้ } \tau_1 + \tau_2 = \frac{16.2}{1.3} = 12.461 \quad \text{min}$$

$$\text{จาก } \frac{t}{(\tau_1 + \tau_2)} = 0.5$$

$$\text{จะได้ } t = 0.5 \times 12.461 = 6.231 \quad \text{min}$$

นำค่า  $t$  ที่ได้ไปอ่านค่า จากกราฟ 5.2 โดยจะต้องรวมเทอม  $\theta$  ก่อน

จากกราฟ ที่  $t = 6.231 + 4.4 = 10.631$  จะได้ค่า  $y/KM = 0.3$

$$\text{นำค่า } 0.3 \text{ ไปอ่านค่าที่กราฟ 2.24 จะได้ } \frac{\tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)} = 0.765$$

$$\text{จาก } \tau_1 + \tau_2 = 12.461 \quad \text{min}$$

$$\text{และ } \frac{\tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)} = 0.765 \quad \text{min}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \tau_1 &= 9.53 \text{ min} \\ \tau_2 &= 2.93 \text{ min} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 2.28 ก็จะได้แบบจำลองของกระบวนการอันดับสองโดยวิธีการของเซอร์วอท

$$\frac{Ke^{-\theta S}}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} = \frac{1.513e^{-4.4S}}{(9.53S + 1)(2.93S + 1)} = \frac{1.513e^{-4.4S}}{(27.92S^2 + 12.46S + 1)} \quad (5.2)$$

● Smith 's Method

$$\begin{aligned} t_{20} &= 4.3 \text{ min} \\ t_{60} &= 12.6 \text{ min} \\ t_{20}/t_{60} &= \frac{4.3}{12.6} \text{ min} = 0.34 \text{ min} \end{aligned}$$

นำค่า 0.34 ไปอ่านค่าจากกราฟจากรูป 2.25

$$\text{จะได้} \quad \frac{t_{60}}{\tau} = 2.5$$

$$\zeta = 1.37$$

$$\text{จะได้} \quad \tau = \frac{12.6}{2.5} = 5.04 \text{ min}$$

$$\text{จาก} \quad \tau_1 = \tau\zeta + \tau\sqrt{\zeta^2 - 1}$$

$$\text{และ} \quad \tau_2 = \tau\zeta - \tau\sqrt{\zeta^2 - 1}$$

$$\text{จะได้} \quad \tau_1 = 11.624 \text{ min}$$

$$\tau_2 = 2.185 \text{ min}$$



นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 2.28 ก็จะได้แบบจำลองของกระบวนการอันดับสองโดยวิธีการ

ของสมิท

$$\frac{Ke^{-\theta S}}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} = \frac{1.513e^{-4.4S}}{(11.624S + 1)(2.185S + 1)} = \frac{1.513e^{-4.4S}}{(25.40S^2 + 13.809S + 1)} \quad (5.3)$$

ข. วิธีการหาแบบจำลองโดยวิธีทางสถิติ

$$\Gamma = \theta / \Delta t = 3/1 = 3$$

$$i = \Gamma + 1 = 3 + 1 = 4$$

$$X' = X - X_s \text{ ซึ่ง } X_s = 148$$

$$Y' = Y - Y_s \text{ ซึ่ง } Y_s = 87$$

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณการระบุแบบจำลองการะบวนการ

โดยวิธีทางสถิติ

Time t [min]	Input X °C	Out put Y °C	sample no. i	Out put Y' <sub>i+1</sub>	Out put Y' <sub>i</sub>	Delayed Input X' <sub>i-3</sub>
0	148.0	87.0	1			
1	148.4	87.0	2			
2	148.9	87.0	3	0		
3	149.5	87.0	4	0.1	0	0.0
4	150.0	86.9	5	0.3	0.1	0.4
5	150.4	87.3	6	0.2	0.3	0.9
6	150.6	87.2	7	0.3	0.2	1.5
7	151.0	87.3	8	0.6	0.3	2.0
8	151.5	87.6	9	1.0	0.6	2.4
9	151.7	88.0	10	1.3	1.0	2.6
10	151.8	88.3	11	2.1	1.3	3.0

11	152.1	89.1	12	2.7	2.1	3.5
12	152.3	89.7	13	3.3	2.7	3.7
13	152.3	90.3	14	4.3	3.3	3.8
14	152.6	91.3	15	4.7	4.3	4.1
15	152.4	91.7	16	5.7	4.7	4.3
16	152.7	92.7	17	6.7	5.7	4.3
17	152.5	93.7	18	7.4	6.7	4.6
18	152.8	94.4	19	8.6	7.4	4.4
19	152.8	95.6	20	9.6	8.6	4.7
20	152.8	96.6	21	10.6	9.6	4.5
21	152.9	97.6	22	11.7	10.6	4.8
22	152.9	98.7	23	12.4	11.7	4.8
23	152.8	99.4	24	13.3	12.4	4.8
24	152.8	100.3	25	14.4	13.3	4.9
25	152.9	101.4	26	14.8	14.4	4.9
26	152.9	101.8	27	15.9	14.8	4.8
27	152.9	102.9	28	16.6	15.9	4.8
28	152.9	103.6	29	17.0	16.6	4.9
29	152.9	104.0	30	17.7	17.0	4.9
30	152.9	104.7	31	17.8	17.7	4.9
31	152.9	104.8	32	18.8	17.8	4.9
32	152.9	105.8	33	18.9	18.8	4.9
33	152.9	105.9	34	19.3	18.9	4.9
34	152.9	106.3	35	19.7	19.3	4.9
35	152.9	106.7	36	19.8	19.7	4.9
36	152.9	106.8	37	20.1	19.8	4.9
37	152.9	107.1	38	20.3	20.1	4.9
38	152.9	107.3	39	20.5	20.3	4.9
39	152.9	107.5	21	20.5	20.5	4.9

ใช้โปรแกรมเมทแเล็บหาคำตอบของแมทริกซ์

U =

0.1000	0.4000
0.3000	0.9000
0.2000	1.5000
0.3000	2.0000
0.6000	2.4000
1.0000	2.6000
1.3000	3.0000
2.1000	3.5000
2.7000	3.7000
3.3000	3.8000
4.3000	4.1000
4.7000	4.3000
5.7000	4.3000
6.7000	4.6000
7.4000	4.4000
8.6000	4.7000
9.6000	4.5000
10.6000	4.8000

11.7000	4.8000
12.4000	4.8000
13.3000	4.9000
14.4000	4.9000
14.8000	4.8000
15.9000	4.8000
16.6000	4.9000
17.0000	4.9000
17.7000	4.9000
17.8000	4.9000
18.8000	4.9000
18.9000	4.9000
19.3000	4.9000
19.7000	4.9000
19.8000	4.9000
20.1000	4.9000
20.3000	4.9000
20.5000	4.9000

$Z =$ 

0.3000
0.2000
0.3000
0.6000
1.0000
1.3000
2.1000
2.7000
3.3000
4.3000
4.7000
5.7000
6.7000
7.4000
8.6000
9.6000
10.6000
11.7000
12.4000

13.3000
14.4000
14.8000
15.9000
16.6000
17.0000
17.7000
17.8000
18.8000
18.9000
19.3000
19.7000
19.8000
20.1000
20.3000
20.5000
20.5000

```
>> C = inv(U'*U)*U'*Z
```

$$C =$$

$$0.9544$$

$$0.2609$$

จากการหาคำตอบของการกระทำการแมทริกซ์โดยใช้โปรแกรมเมทแล็บเราจะได้

$$a = 0.9544$$

$$b = 0.2609$$

เปรียบเทียบความผิดพลาดที่ได้โดยใช้สมการ 4.5

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าต่างที่ได้จากการคำนวณในสมการ 4.5

$a(Y'_i)_m$	$b(X'_{i-1})_m$	$(Y'_{i+1})_p$	$(Y'_{i+1})_m$
			0.1
0.095	0.103	0.199	0.3
0.269	0.233	0.502	0.2
0.170	0.400	0.570	0.3
0.318	0.532	0.849	0.6
0.603	0.623	1.226	1.0
0.968	0.680	1.647	1.3
1.285	0.777	2.061	2.1
2.025	0.917	2.942	2.7
2.597	0.971	3.567	3.3
3.147	0.989	4.136	4.3
4.058	1.076	5.134	4.7
4.523	1.116	5.639	5.7
5.442	1.124	6.566	6.7
6.348	1.192	7.540	7.4
7.046	1.157	8.203	8.6
8.188	1.222	9.410	9.6

$a(Y'_i)_m$	$b(X'_{i-\Gamma})_m$	$(Y'_{i+1})_p$	$(Y'_{i+1})_m$
9.202	1.174	10.376	10.6
10.139	1.261	11.400	11.7
11.146	1.252	12.397	12.4
11.840	1.251	13.091	13.3
12.664	1.271	13.936	14.4
13.698	1.284	14.982	14.8
14.101	1.255	15.356	15.9
15.190	1.253	16.443	16.6
15.848	1.267	17.115	17.0
16.227	1.267	17.493	17.7
16.933	1.267	18.200	17.8
17.000	1.267	18.267	18.8
17.904	1.267	19.170	18.9
18.020	1.267	19.287	19.3
18.412	1.267	19.678	19.7
18.802	1.267	20.069	19.8
18.891	1.267	20.158	20.1
19.208	1.267	20.475	20.3
19.323	1.267	20.590	20.5
19.580	1.267	20.847	20.5

จากตารางที่ 5.2 นำมาคำนวณค่า  $E^2$  ได้ = 2.4

$$\tau = -\Delta t / (\ln a) = -1 / (\ln 0.954) = 21.24$$

$$K_p = b/(1-a) = 0.261 / (1-0.954) = 5.645$$



## 5.2 ข้อมูลและผลการทดลอง

### 5.2.1 ข้อมูลจากการหาแบบจำลองโดยเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำเย็นก่อนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ

% วาล์ว	ครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8
30 % V	อัตราการไหล (ก.ก ต่อ นาที.)	10.3	10.6	10.1	10.4	10.2	10.5	10.2	10.3

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำเย็นหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ

% วาล์ว	ครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8
80 % V	อัตราการไหล (ก.ก ต่อ นาที.)	35.62	35.2	35.8	35.5	34.9	35.6	35.3	35.4

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของดีเฟลกมาเตอร์ต่อ

เวลาหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพซึ่งได้จากการหาโดยวิธีเส้นโค้ง

ปฏิกิริยาของกระบวนการ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของดีเฟลกมาเตอร์ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง(°ซ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	87.2	88.5	87.8	89.5	89.0	89.5	89.0	87.3
1	87.0	88.2	87.6	89.2	88.9	89.2	89.0	87.0
2	86.8	87.5	87.3	88.9	88.5	88.6	88.5	86.7
3	86.0	87.4	86.7	88.3	88.0	88.2	88.5	86.0
4	85.0	86.0	85.6	87.1	87.1	87.6	87.5	85.2
5	84.0	85.3	84.6	86.3	86.1	86.3	86.5	84.4
6	82.1	83.3	82.7	84.1	85.0	85.2	85.5	83.4

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของดีเฟลกมาเตอร์ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง(°ซ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
7	80.8	81.7	81.5	82.9	83.0	83.1	83.1	81.4
8	79.0	80.1	79.5	81.2	81.1	81.1	81.2	79.3
9	77.0	78.4	77.7	79.2	79.5	79.9	79.9	78.0
10	75.0	76.6	75.6	77.0	77.8	78.0	78.0	76.2
11	73.8	74.8	74.3	76.0	75.8	75.8	76.2	73.9
12	71.8	73.0	72.5	73.8	74.0	74.1	74.2	72.2
13	70.0	71.0	70.5	72.1	72.0	72.5	72.4	70.2
14	68.5	69.5	69.0	70.5	70.3	70.6	70.7	68.5
15	66.8	67.9	67.4	68.9	68.6	68.6	68.7	66.9
16	64.8	65.9	65.4	67.0	66.9	67.1	67.3	65.0
17	63.0	64.3	63.8	65.2	65.2	65.5	65.4	63.6
18	61.0	62.1	61.6	63.1	64.0	64.4	64.3	62.4
19	59.8	60.8	60.3	62.0	62.3	62.6	62.4	60.4
20	58.5	59.6	58.6	60.6	61.0	61.4	61.0	59.5
21	57.0	58.0	57.0	59.1	59.8	59.8	59.8	57.9
22	56.0	57.0	56.0	58.3	58.2	58.2	58.4	56.5
23	54.8	55.8	54.8	56.8	57.0	57.2	57.2	55.1
24	53.7	55.0	54.0	56.0	56.0	56.4	56.3	54.3
25	52.8	53.9	52.9	55.0	54.9	55.2	55.0	53.2
26	52.0	53.0	52.0	54.3	53.8	54.0	54.3	51.9
27	51.0	52.2	51.2	53.3	52.9	53.1	52.9	51.2
28	50.8	52.0	51.0	53.0	52.0	52.1	52.2	50.4
29	50.2	51.3	50.3	52.3	51.2	51.6	51.5	49.4
30	50.1	51.4	50.3	52.2	51.0	51.2	51.4	49.1
31	50.0	50.6	50.1	52.2	50.5	50.7	50.9	48.6
32	50.0	50.3	50.0	52.0	50.2	50.7	50.5	48.5
33	50.0	50.2	50.0	52.0	50.0	50.2	50.1	48.5

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูล  $y/KM$  ต่อเวลาซึ่งคำนวณมาจากตารางที่ 5.5

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของดีเพลมาเตอร์ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง(°ซ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
2	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03
4	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06
5	0.09	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08	0.06	0.07
6	0.14	0.14	0.14	0.14	0.10	0.11	0.09	0.10
7	0.17	0.18	0.17	0.18	0.15	0.16	0.15	0.15
8	0.22	0.22	0.22	0.22	0.20	0.21	0.20	0.21
9	0.27	0.26	0.27	0.27	0.24	0.24	0.23	0.24
10	0.33	0.31	0.32	0.33	0.29	0.29	0.28	0.29
11	0.36	0.36	0.36	0.36	0.34	0.35	0.33	0.35
12	0.41	0.41	0.41	0.42	0.38	0.39	0.38	0.39
13	0.46	0.46	0.46	0.46	0.44	0.43	0.43	0.44
14	0.50	0.49	0.50	0.51	0.48	0.48	0.47	0.48
15	0.55	0.54	0.54	0.55	0.52	0.53	0.52	0.53
16	0.60	0.59	0.59	0.60	0.57	0.57	0.56	0.57
17	0.65	0.63	0.64	0.65	0.61	0.61	0.61	0.61
18	0.70	0.69	0.69	0.70	0.64	0.64	0.64	0.64
19	0.74	0.72	0.73	0.73	0.68	0.68	0.68	0.69
20	0.77	0.75	0.77	0.77	0.72	0.72	0.72	0.72
21	0.81	0.80	0.81	0.81	0.75	0.75	0.75	0.76
22	0.84	0.82	0.84	0.83	0.79	0.80	0.79	0.79
23	0.87	0.85	0.87	0.87	0.82	0.82	0.82	0.83

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของซีเมนต์มาเตอร์ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง(°ซ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
24	0.90	0.88	0.90	0.89	0.85	0.84	0.84	0.85
25	0.92	0.90	0.92	0.92	0.87	0.87	0.87	0.88
26	0.95	0.93	0.95	0.94	0.90	0.90	0.89	0.91
27	0.97	0.95	0.97	0.97	0.93	0.93	0.93	0.93
28	0.98	0.95	0.97	0.97	0.95	0.95	0.95	0.95
29	0.99	0.97	0.99	0.99	0.97	0.97	0.96	0.98
30	1.00	0.97	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.98
31	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00
32	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 5.7 แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากการเขียนกราฟในตารางที่ 5.6

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ทำการทดลอง							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PV (°C)	38.3	37.2	38.3	37.8	37.5	39.0	39.2	38.9	38.8
MV (Kgs/min)	25.1	25.3	24.6	25.7	25.1	24.7	25.1	25.1	25.1
$\theta$ (min)	4.5	4.3	4.3	4.3	4.0	4.8	4.8	4.8	4.5
$t_{20}$ (min)	8.8	8.6	8.6	8.7	8.5	9.0	9.0	9.0	8.9
$t_{60}$ (min)	17.4	16.9	17.1	17.1	17.0	17.8	17.7	17.9	17.7
$t_{63.2}$ (min)	18.2	17.6	18.0	18.0	17.8	18.4	18.5	18.5	18.5
$t_{73}$ (min)	20.6	19.6	19.8	19.8	19.8	22.5	21.1	21.1	21.1

ตารางที่ 5.8 แสดงข้อมูลที่อ่านและคำนวณได้จากตารางที่ 5.6 สำหรับกระบวนการ  
อันดับหนึ่ง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ทำการทดลอง							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta$ (min)	8.3	8.2	8.2	8.2	8.0	8.5	8.5	8.5	8.2
$\tau$ (min)	13.7	13.3	13.7	13.7	13.8	13.6	13.7	13.7	14.0
$K_p$	1.528	1.469	1.557	1.471	1.494	1.579	1.562	1.550	1.546

ตารางที่ 5.9 แสดงข้อมูลที่อ่านและคำนวณได้จากตารางที่ 5.6 สำหรับกระบวนการ  
อันดับสองโดยวิธีการของแฮริออต

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ทำการทดลอง							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta$ (min)	4.48	4.3	4.3	4.3	4.0	4.8	4.8	4.8	4.5
$K_p$	1.53	1.469	1.557	1.471	1.494	1.579	1.562	1.550	1.546
$\tau_1$ (min)	8.33	8.00	7.27	8.12	7.41	10.35	9.15	8.53	7.79
$\tau_2$ (min)	4.08	3.77	4.65	3.81	4.74	3.27	3.38	4.01	4.98
$\tau$ (min)	5.78	5.49	5.81	5.56	5.93	5.82	5.56	5.85	6.23
$\zeta$	2.15	2.14	2.05	2.14	2.05	2.34	2.25	2.14	2.05
y/KM	0.28	0.28	0.27	0.28	0.27	0.3	0.29	0.28	0.27
$\tau_1 / (\tau_1 + \tau_2)$	0.67	0.68	0.61	0.68	0.61	0.76	0.73	0.68	0.61

ตารางที่ 5.10 แสดงข้อมูลที่อ่านและคำนวณได้จากตารางที่ 5.6 สำหรับกระบวนการ

อันดับสองโดยวิธีการของสมิท

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ทำการทดลอง							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta_{(min)}$	4.48	4.3	4.3	4.3	4.0	4.8	4.8	4.8	4.5
$K_p$	1.53	1.469	1.557	1.471	1.494	1.579	1.562	1.550	1.546
$\tau_{1(min)}$	11.22	10.53	10.70	10.70	10.09	12.42	11.26	12.52	11.52
$\tau_{2(min)}$	1.92	2.07	2.10	2.10	2.91	1.42	1.64	1.43	1.68
$\tau_{(min)}$	4.59	4.67	4.74	4.74	5.42	4.19	4.30	4.23	4.40
$\zeta$	1.44	1.35	1.35	1.35	1.2	1.65	1.5	1.65	1.5
$t_{60}/T$	2.84	2.7	2.7	2.7	2.4	3.1	3.0	3.1	3.0
$t_{20}/t_{60}$	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.32	0.33	0.32	0.33

### 5.2.2 ผลและข้อมูลการหาแบบจำลองโดยวิธีทางสถิติ

ตารางที่ 5.11 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกและอุณหภูมิขาเข้าของ

ดีเฟลกมาเตอร์ต่อเวลาหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าซึ่งได้จากการ

หาโดยวิธีทางสถิติ

Time	ครั้งที่ทำการทดลอง													
	1		2		3		4		5		6		7	
t	Input X	Output Y	Input X	Output Y	Input X	Output Y	Input X	Output Y	Input X	Output Y	Input X	Output Y	Input X	Output Y
0	148.0	87.0	146.8	85.0	147.3	85.5	147.6	85.5	147.5	86.0	147.4	88.0	147.5	87.5
1	148.4	87.0	147.2	85.0	147.5	85.5	147.9	85.5	147.9	86.0	147.9	88.0	147.8	87.5
2	148.9	87.0	147.9	85.0	148.0	85.5	148.7	85.5	148.5	86.0	148.4	88.0	148.4	87.5
3	149.5	87.1	148.3	85.1	148.7	85.5	149.0	85.7	148.9	86.0	148.8	88.0	148.9	87.6
4	150.0	87.3	149.0	85.3	149.2	85.8	149.6	85.7	149.4	86.1	149.4	88.1	149.4	87.6
5	150.4	87.2	149.7	85.3	149.5	85.7	149.9	86.0	149.8	86.1	149.6	88.2	149.8	87.8
6	150.6	87.3	149.8	85.3	149.7	85.8	150.5	86.0	150.4	86.2	150.1	88.3	150.4	87.9
7	151.0	87.6	150.2	85.5	150.2	86.1	150.9	86.6	150.8	86.3	150.7	88.6	150.5	88.1
8	151.5	88.0	150.5	85.9	150.4	86.6	151.2	86.8	151.1	86.6	150.8	89.2	151.0	88.5
9	151.7	88.3	150.7	86.7	150.9	87.0	151.4	87.1	151.3	87.0	151.0	89.5	151.2	88.7
10	151.8	89.1	150.9	87.1	151.0	87.3	151.7	87.7	151.6	87.8	151.5	90.0	151.3	89.5
11	152.1	89.7	151.3	87.6	151.2	88.3	151.8	88.5	151.7	88.1	151.6	90.6	151.6	90.1
12	152.3	90.3	151.2	88.1	151.2	88.5	151.9	88.7	151.7	89.0	151.6	91.1	151.7	90.7
13	152.3	91.3	151.4	89.3	151.4	89.8	152.0	89.9	151.7	90.1	151.7	91.9	151.8	91.8
14	152.6	91.7	151.6	89.9	151.5	90.3	152.2	90.3	151.9	90.4	151.9	92.7	151.8	92.5
15	152.4	92.7	151.6	90.5	151.7	91.2	152.3	91.6	151.8	91.3	151.9	93.8	152.0	93.4
16	152.7	93.7	151.5	91.8	151.6	92.4	152.2	92.5	151.9	92.3	152.0	94.7	152.0	94.1
17	152.5	94.4	151.7	92.5	151.7	92.8	152.5	93.0	152.3	93.2	152.1	95.5	152.1	94.8

ตารางที่ 5.11 (ต่อ)

	1		2		3		4		5		6		7	
Time	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output
t	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
18	152.8	95.6	151.7	93.6	151.7	94.2	152.4	94.5	152.2	94.1	152.1	96.5	152.3	96.0
19	152.8	96.6	151.8	94.5	151.7	95.0	152.5	94.9	152.1	95.2	152.1	97.5	152.2	96.8
20	152.8	97.6	151.8	95.6	151.9	96.3	152.7	96.4	152.2	96.5	152.2	98.7	152.3	98.3
21	152.9	98.7	152.1	96.5	151.8	97.0	152.4	97.3	152.1	97.5	152.2	99.6	152.3	98.9
22	152.9	99.4	152.1	97.4	152.1	97.9	152.6	98.2	152.2	97.8	152.3	100.5	152.3	99.7
23	152.8	100.3	152.0	98.4	152.0	98.6	152.7	99.0	152.4	98.8	152.4	101.0	152.3	100.7
24	152.8	101.4	152.1	99.3	152.0	99.9	152.7	100.0	152.4	100.0	152.4	102.5	152.3	101.8
25	152.9	101.8	151.9	99.9	152.0	100.8	152.5	100.8	152.4	100.6	152.4	103.3	152.4	102.3
26	152.9	102.9	152.0	100.7	152.0	101.2	152.7	101.5	152.4	101.4	152.4	103.9	152.4	103.4
27	152.9	103.6	152.0	101.6	152.0	102.1	152.7	102.3	152.4	102.1	152.4	104.3	152.4	103.9
28	152.9	104.0	152.0	102.1	152.0	102.5	152.7	102.8	152.4	102.8	152.4	105.2	152.4	104.3
29	152.9	104.7	152.0	102.7	152.0	103.1	152.7	103.0	152.4	103.2	152.4	105.4	152.4	105.3
30	152.9	104.8	152.0	103.1	152.0	103.3	152.7	103.6	152.4	103.8	152.4	106.1	152.4	105.3
31	152.9	105.8	152.0	103.9	152.0	104.5	152.7	104.5	152.4	104.6	152.4	106.7	152.4	106.4
32	152.9	105.9	152.0	103.9	152.0	104.6	152.7	104.7	152.4	104.9	152.4	106.9	152.4	106.3
33	152.9	106.3	152.0	104.5	152.0	104.9	152.7	105.1	152.4	105.2	152.4	107.4	152.4	106.9
34	152.9	106.7	152.0	104.6	152.0	105.4	152.7	105.4	152.4	105.3	152.4	107.8	152.4	107.3
35	152.9	106.8	152.0	104.9	152.0	105.4	152.7	105.5	152.4	105.5	152.4	107.9	152.4	107.7
36	152.9	107.1	152.0	105.2	152.0	105.6	152.7	105.7	152.4	106.0	152.4	108.0	152.4	107.7
37	152.9	107.3	152.0	105.5	152.0	105.8	152.7	106.1	152.4	105.9	152.4	108.0	152.4	107.5
38	152.9	107.5	152.0	105.3	152.0	106.0	152.7	106.0	152.4	106.0	152.4	108.4	152.4	107.9
39	152.9	107.6	152.0	105.5	152.0	106.0	152.7	106.2	152.4	106.0	152.4	108.6	152.4	108.1
40	152.9	107.5	152.0	105.5	152.0	106.0	152.7	106.1	152.4	106.1	152.4	108.4	152.4	107.8
41	152.9	107.4	152.0	105.3	152.0	106.1	152.7	105.9	152.4	106.2	152.4	108.7	152.4	107.9
42	152.9	107.4	152.0	105.4	152.0	106.3	152.7	106.3	152.4	106.4	152.4	108.5	152.4	108.3



ตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณ  $Y'$  และ  $X'$  โดยใช้ข้อมูลจากตาราง 5.11

		ครั้งที่ทำการทดลอง													
		1		2		3		4		5		6		7	
Time		Input	Out put	Input	Out put	Input	Out put	Input	Out put	Input	Out put	Input	Out put	Input	Out put
t		$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$	$X'$	$Y'$
0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1		0.4	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0
2		0.9	0.0	1.1	0.0	0.7	0.0	1.1	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.9	0.0
3		1.5	0.1	1.5	0.1	1.4	0.0	1.4	0.2	1.4	0.0	1.4	0.0	1.4	0.1
4		2.0	0.3	2.2	0.3	1.9	0.3	2.0	0.2	1.9	0.1	2.0	0.1	1.9	0.1
5		2.4	0.2	2.9	0.3	2.2	0.2	2.3	0.5	2.3	0.1	2.2	0.2	2.3	0.3
6		2.6	0.3	3.0	0.3	2.4	0.3	2.9	0.5	2.9	0.2	2.7	0.3	2.9	0.4
7		3.0	0.6	3.4	0.5	2.9	0.6	3.3	1.1	3.3	0.3	3.3	0.6	3.0	0.6
8		3.5	1.0	3.7	0.9	3.1	1.1	3.6	1.3	3.6	0.6	3.4	1.2	3.5	1.0
9		3.7	1.3	3.9	1.7	3.6	1.5	3.8	1.6	3.8	1.0	3.6	1.5	3.7	1.2
10		3.8	2.1	4.1	2.1	3.7	1.8	4.1	2.2	4.1	1.8	4.1	2.0	3.8	2.0
11		4.1	2.7	4.5	2.6	3.9	2.8	4.2	3.0	4.2	2.1	4.2	2.6	4.1	2.6
12		4.3	3.3	4.4	3.1	3.9	3.0	4.3	3.2	4.2	3.0	4.2	3.1	4.2	3.2
13		4.3	4.3	4.6	4.3	4.1	4.3	4.4	4.4	4.2	4.1	4.3	3.9	4.3	4.3
14		4.6	4.7	4.8	4.9	4.2	4.8	4.6	4.8	4.4	4.4	4.5	4.7	4.3	5.0
15		4.4	5.7	4.8	5.5	4.4	5.7	4.7	6.1	4.3	5.3	4.5	5.8	4.5	5.9
16		4.7	6.7	4.7	6.8	4.3	6.9	4.6	7.0	4.4	6.3	4.6	6.7	4.5	6.6
17		4.5	7.4	4.9	7.5	4.4	7.3	4.9	7.5	4.8	7.2	4.7	7.5	4.6	7.3
18		4.8	8.6	4.9	8.6	4.4	8.7	4.8	9.0	4.7	8.1	4.7	8.5	4.8	8.5
19		4.8	9.6	5.0	9.5	4.4	9.5	4.9	9.4	4.6	9.2	4.7	9.5	4.7	9.3
20		4.8	10.6	5.0	10.6	4.6	10.8	5.1	10.9	4.7	10.5	4.8	10.7	4.8	10.8
21		4.9	11.7	5.3	11.5	4.5	11.5	4.8	11.8	4.6	11.5	4.8	11.6	4.8	11.4
22		4.9	12.4	5.3	12.4	4.8	12.4	5.0	12.7	4.7	11.8	4.9	12.5	4.8	12.2

ตารางที่ 5.12 (ต่อ)

Time	1		2		3		4		5		6		7	
	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output
t	X'	Y'	X'	Y'	X'	Y'	X'	Y'	X'	Y'	X'	Y'	X'	Y'
23	4.8	13.3	5.2	13.4	4.7	13.1	5.1	13.5	4.9	12.8	5.0	13.0	4.8	13.2
24	4.8	14.4	5.3	14.3	4.7	14.4	5.1	14.5	4.9	14.0	5.0	14.5	4.8	14.3
25	4.9	14.8	5.1	14.9	4.7	15.3	4.9	15.3	4.9	14.6	5.0	15.3	4.9	14.8
26	4.9	15.9	5.2	15.7	4.7	15.7	5.1	16.0	4.9	15.4	5.0	15.9	4.9	15.9
27	4.9	16.6	5.2	16.6	4.7	16.6	5.1	16.8	4.9	16.1	5.0	16.3	4.9	16.4
28	4.9	17.0	5.2	17.1	4.7	17.0	5.1	17.3	4.9	16.8	5.0	17.2	4.9	16.8
29	4.9	17.7	5.2	17.7	4.7	17.6	5.1	17.5	4.9	17.2	5.0	17.4	4.9	17.8
30	4.9	17.8	5.2	18.1	4.7	17.8	5.1	18.1	4.9	17.8	5.0	18.1	4.9	17.8
31	4.9	18.8	5.2	18.9	4.7	19.0	5.1	19.0	4.9	18.6	5.0	18.7	4.9	18.9
32	4.9	18.9	5.2	18.9	4.7	19.1	5.1	19.2	4.9	18.9	5.0	18.9	4.9	18.8
33	4.9	19.3	5.2	19.5	4.7	19.4	5.1	19.6	4.9	19.2	5.0	19.4	4.9	19.4
34	4.9	19.7	5.2	19.6	4.7	19.9	5.1	19.9	4.9	19.3	5.0	19.8	4.9	19.8
35	4.9	19.8	5.2	19.9	4.7	19.9	5.1	20.0	4.9	19.5	5.0	19.9	4.9	20.2
36	4.9	20.1	5.2	20.2	4.7	20.1	5.1	20.2	4.9	20.0	5.0	20.0	4.9	20.2
37	4.9	20.3	5.2	20.5	4.7	20.3	5.1	20.6	4.9	19.9	5.0	20.0	4.9	20.0
38	4.9	20.5	5.2	20.3	4.7	20.5	5.1	20.5	4.9	20.0	5.0	20.4	4.9	20.4
39	4.9	20.6	5.2	20.5	4.7	20.5	5.1	20.7	4.9	20.0	5.0	20.6	4.9	20.6
40	4.9	20.5	5.2	20.5	4.7	20.5	5.1	20.6	4.9	20.1	5.0	20.4	4.9	20.3
41	4.9	20.4	5.2	20.3	4.7	20.6	5.1	20.4	4.9	20.2	5.0	20.7	4.9	20.4
42	4.9	20.4	5.2	20.4	4.7	20.8	5.1	20.8	4.9	20.4	5.0	20.5	4.9	20.8

ตารางที่ 5.13 แสดงข้อมูลต่างๆ ที่อ่านและคำนวณได้จากตารางที่ 5.11

Item	1	2	3	4	5	6	7
	3.1	3.2	4.0	3.2	4.0	4.0	3.4
$\Delta t$	1	1	1	1	1	1	1
$\Gamma$	3	3	4	3	4	4	3
$X_s$	148	146.8	147	147.6	147.5	147.4	147.5
$Y_s$	87	85	85.5	85.5	86	88	87.5
$a$	0.954	0.9412	0.9377	0.9375	0.9361	0.9271	0.9393
$b$	0.261	0.2792	0.3268	0.3001	0.3165	0.3410	0.3054
$\tau$	21.24	16.5	15.54	15.49	15.14	13.21	15.96
$K_p$	5.674	4.75	5.24	4.8	4.95	4.68	5.03
$E^2$	2.4	2.5	3.8	3.6	3.6	2.5	4.0

จากหัวข้อ 5.2.1 เราได้แบบจำลองดังนี้

- ของกระบวนการ (วิธีเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ)

$$\text{กระบวนการอันดับหนึ่ง} \quad \frac{1.53e^{-8.25}}{(13.7s + 1)}$$

$$\text{กระบวนการอันดับสองวิธีแฮริออท} \quad \frac{1.53e^{-4.485}}{(33.4s^2 + 24.85s + 1)}$$

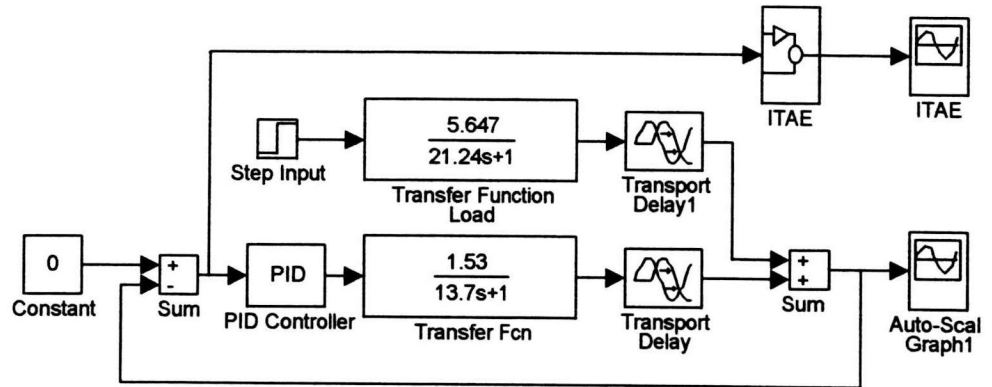
$$\text{กระบวนการอันดับสองวิธีสมิท} \quad \frac{1.53e^{-4.485}}{(21.06s^2 + 13.21s + 1)}$$

- ของโหลด (วิธีทางสถิติ)

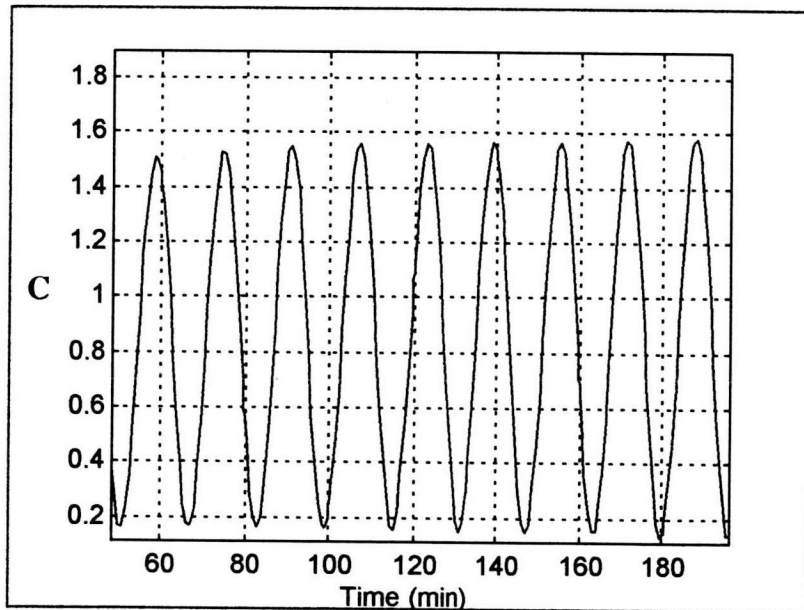
$$\text{กระบวนการอันดับหนึ่ง} \quad \frac{5.674e^{-35}}{(21.24s + 1)}$$

5.3 การจำลองและการเขียนแบบกระบวนการด้วยแมทแเล็บ

5.3.1 กระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบโหลดเปลี่ยน



รูปที่ 5.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง



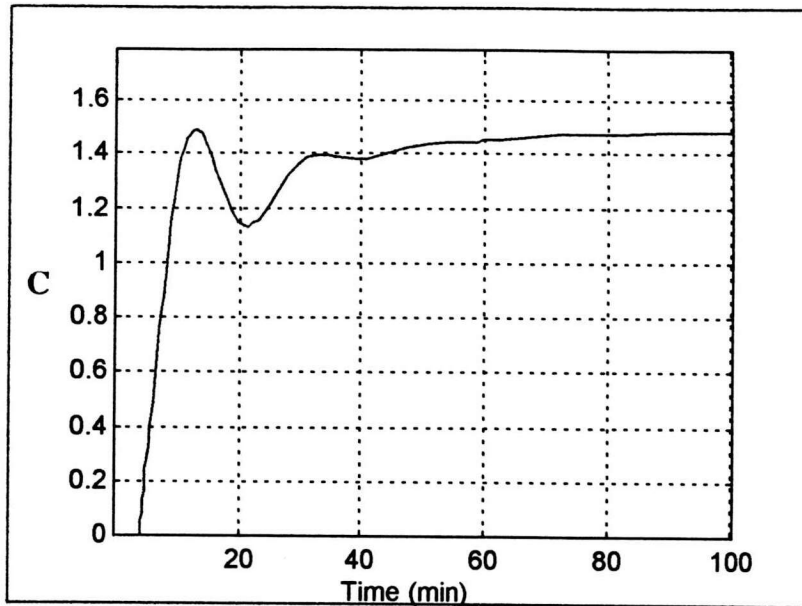
รูปที่ 5.4 แสดงการตอบสนองของที่ได้ไซเคิลแบบต่อเนื่องได้  $K_{cu} = 3.65$   $P_u = 17$

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าการควบคุมของตัวควบคุมต่างๆ ที่คำนวณไว้แล้ว

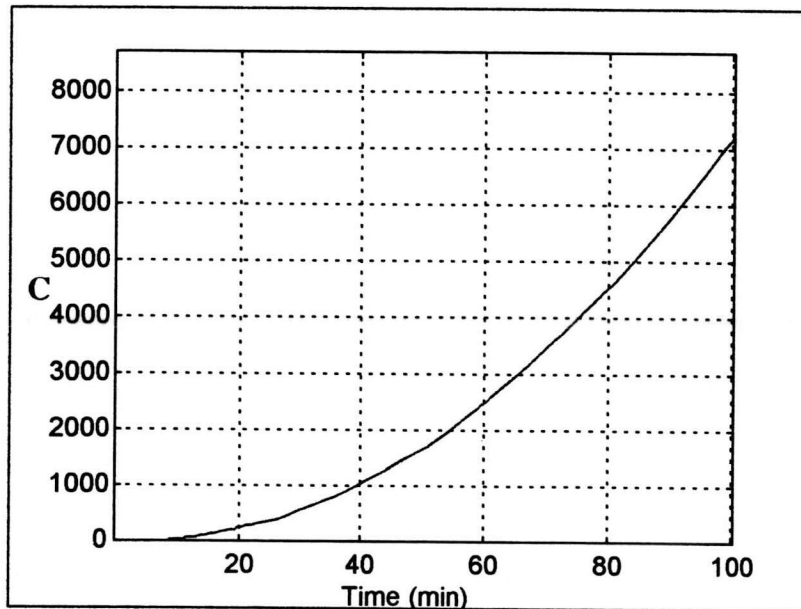
$$K_{cu} = 3.65$$

$$P_u = 17$$

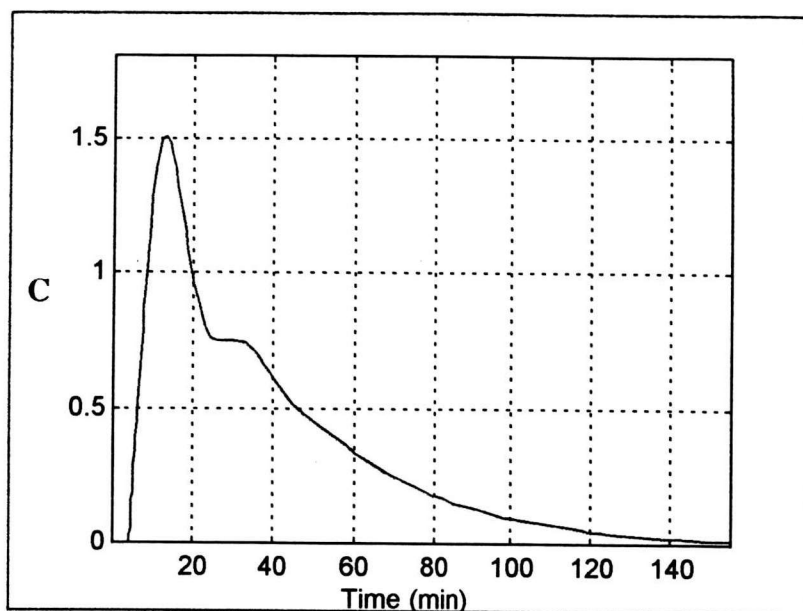
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี 1/4			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
P	1.825	-	-
PI	1.6425	14.08	-
PID	2.19	8.503	2.125
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด มีโอเวอร์ชูตบ้าง			
	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	1.2045	8.503	5.667
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด ไม่มีโอเวอร์ชูต			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	0.7300	8.503	5.667
ตัวควบคุมแบบ โคนเซน-กุน			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
P	2.211	-	-
PI	1.848	8.956	-
PID	2.820	9.782	1.544



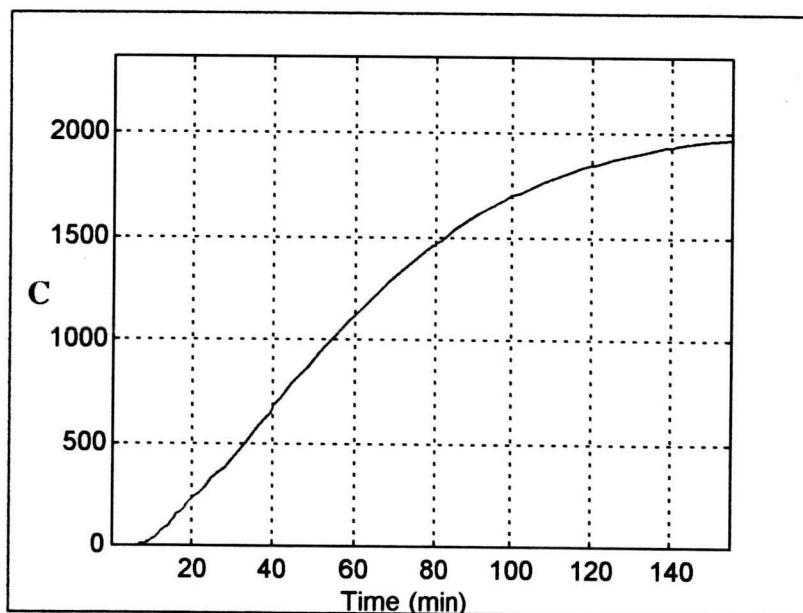
รูปที่ 5.5 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วิธีของ ซิกเลอร์-นิโคลส์



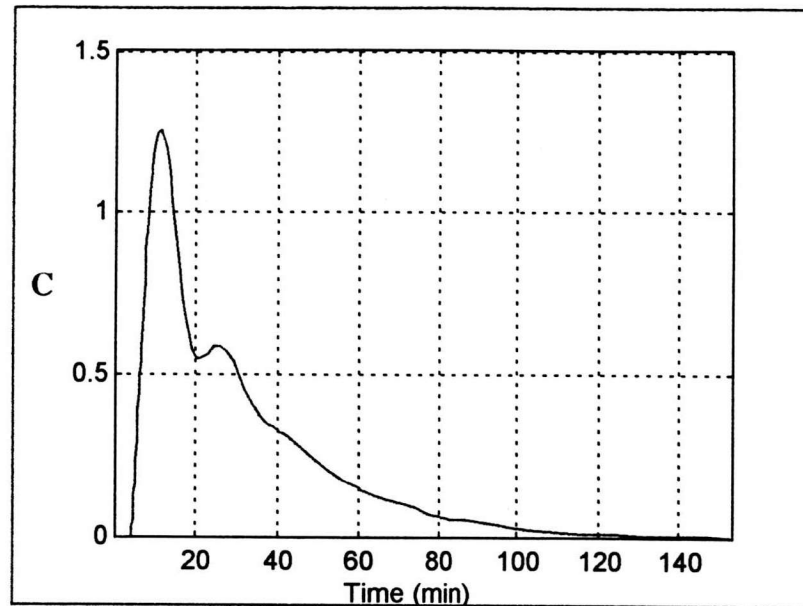
รูปที่ 5.6 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.5 โดยวิธี ITAE



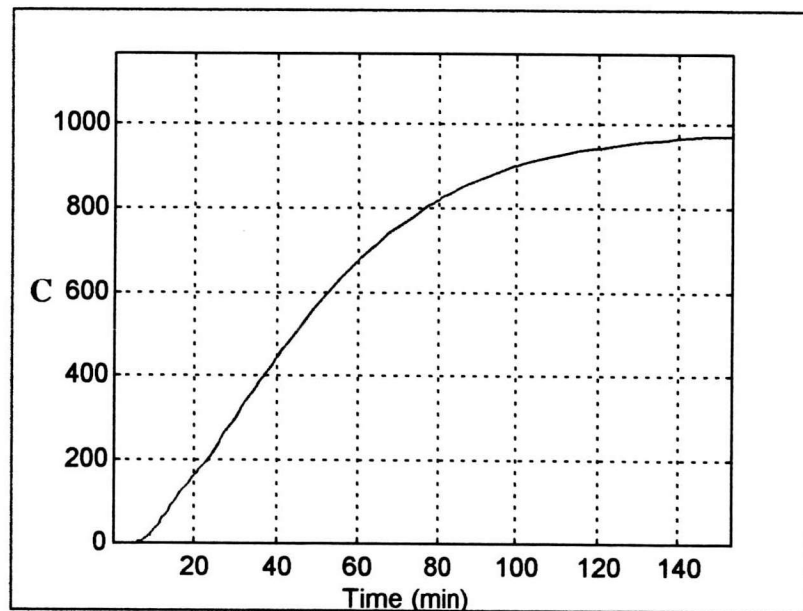
รูปที่ 5.7 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย วิธีของ ซิเกลอร์-นิโคลส์



รูปที่ 5.8 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.7 โดยวิธี ITAE

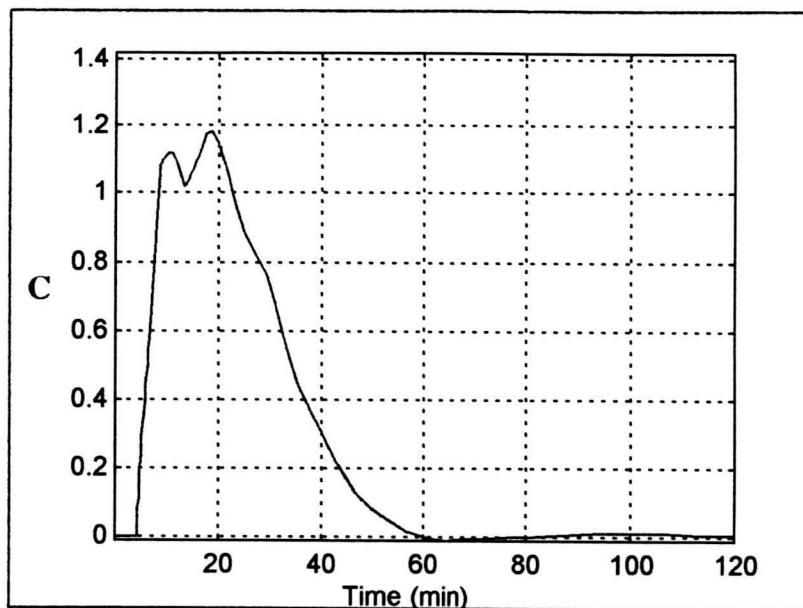


รูปที่ 5.9 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ ฟuzzy วิธีของซิกมอยด์-นิโคลส์



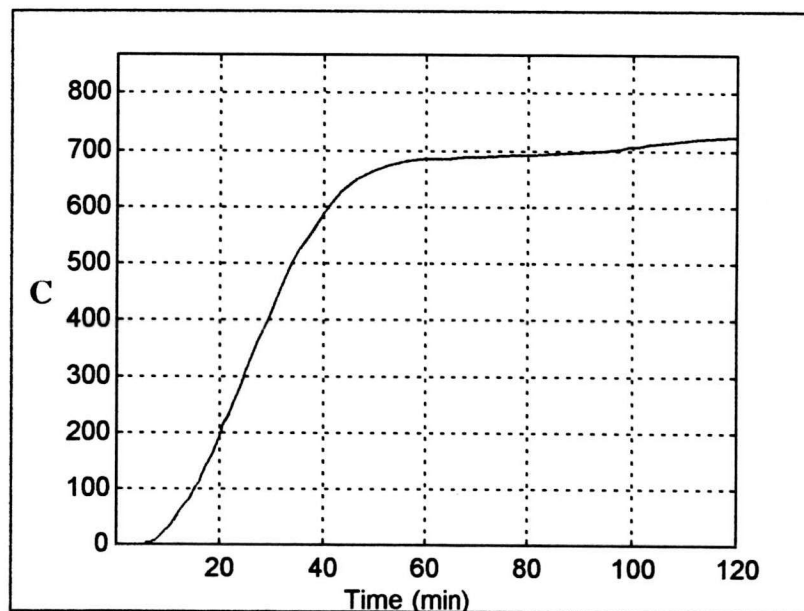
รูปที่ 5.10 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.9 โดยวิธี ITAE



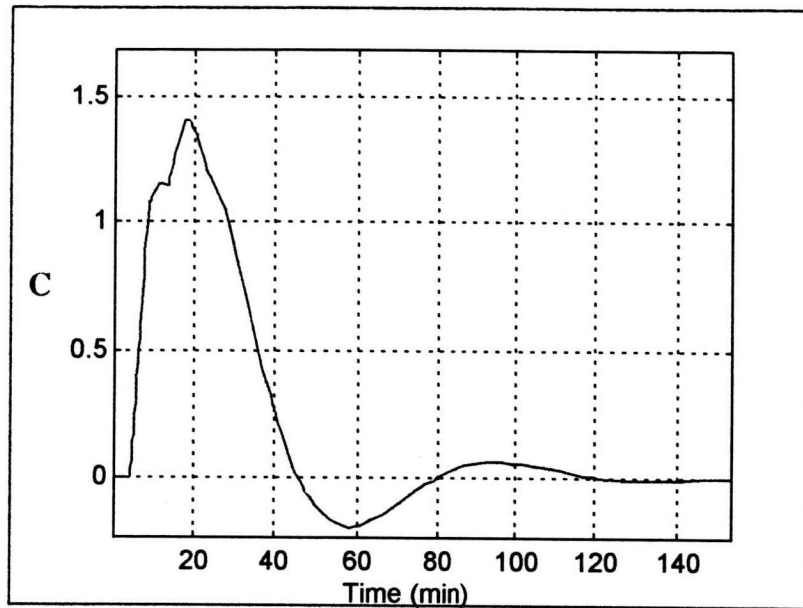


รูปที่ 5.11 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี วิธีของ ซิกมอร์ด-นิโคลส์

ชนิดมีโอเวอร์ชูตบ้าง

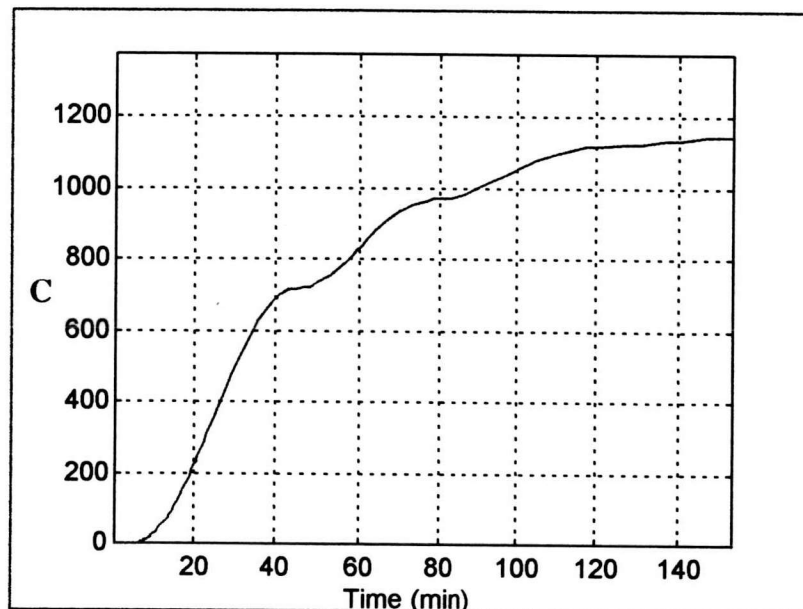


รูปที่ 5.12 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.11 โดยวิธี ITAE

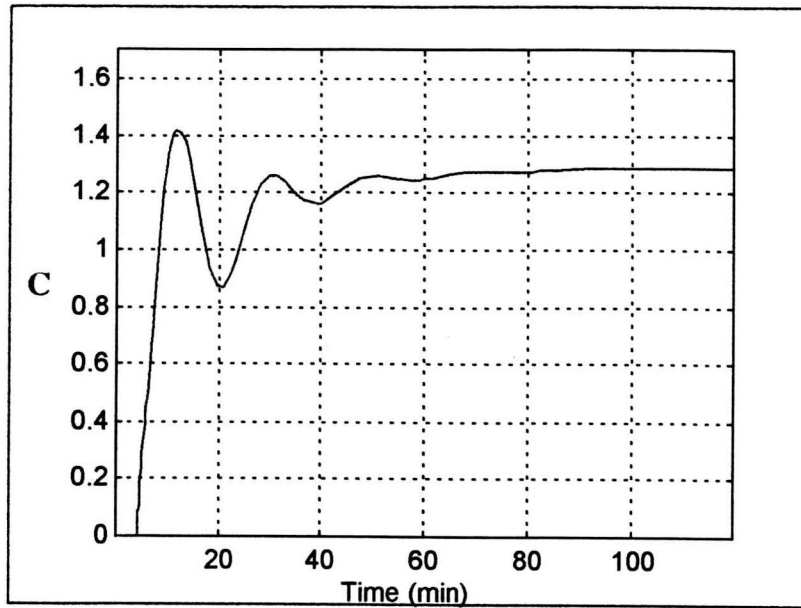


รูปที่ 5.13 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี วิธีของ

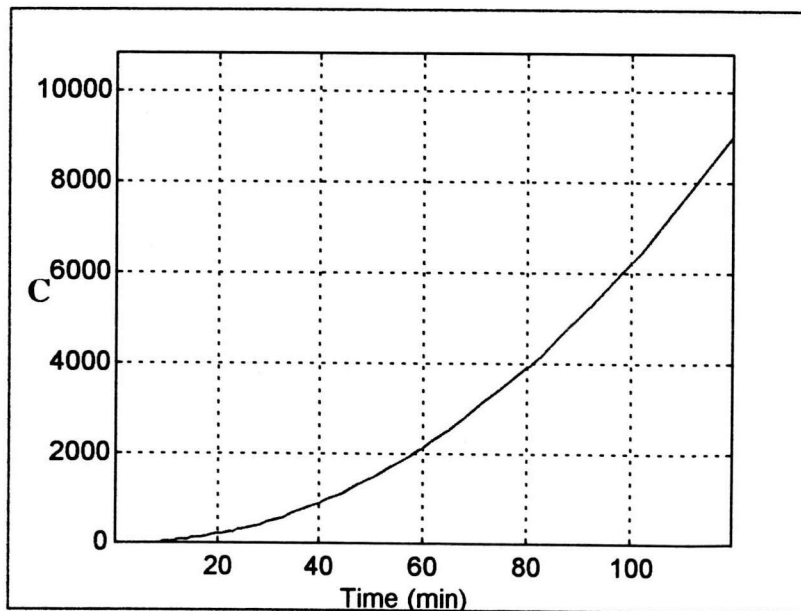
ซิกเลอร์-นิโคลส์ ชนิดไม่มีโอเวอร์ชูต



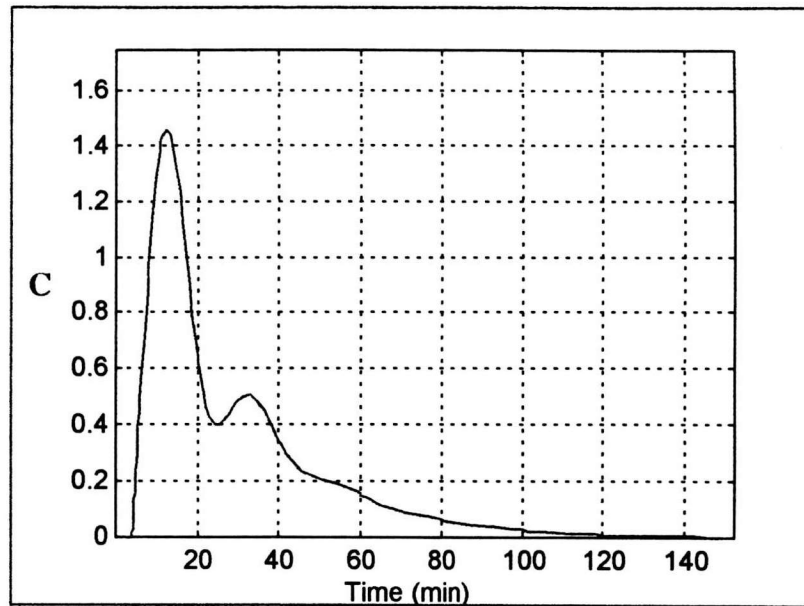
รูปที่ 5.14 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.13 โดยวิธี ITAE



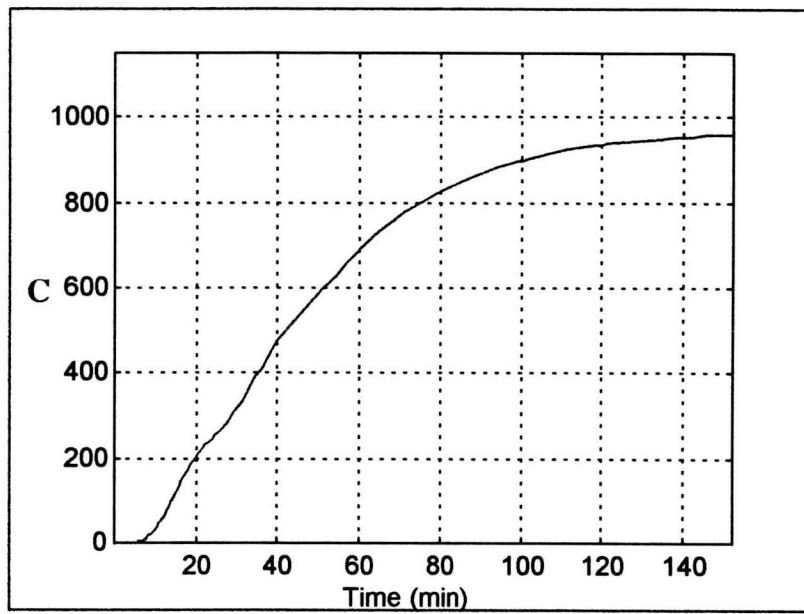
รูปที่ 5.15 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วีซีของ โคนเซน-กุน



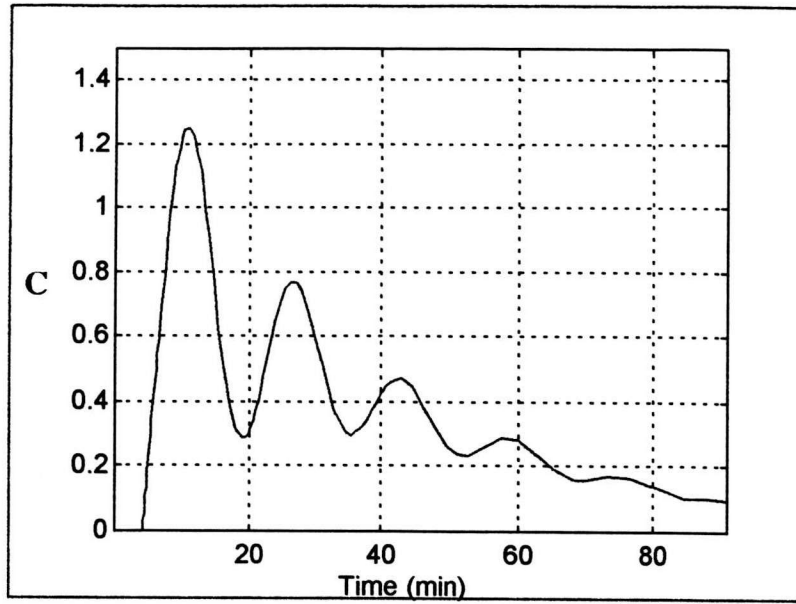
รูปที่ 5.16 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.15 โดยวิธี ITAE



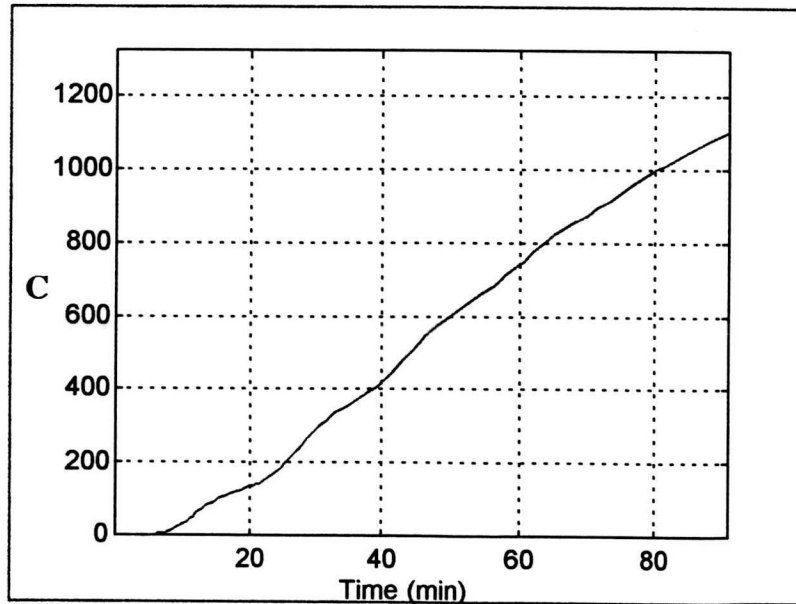
รูปที่ 5.17 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย วีธีของ โคเสน-กุน



รูปที่ 5.18 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.17 โดยวิธี ITAE

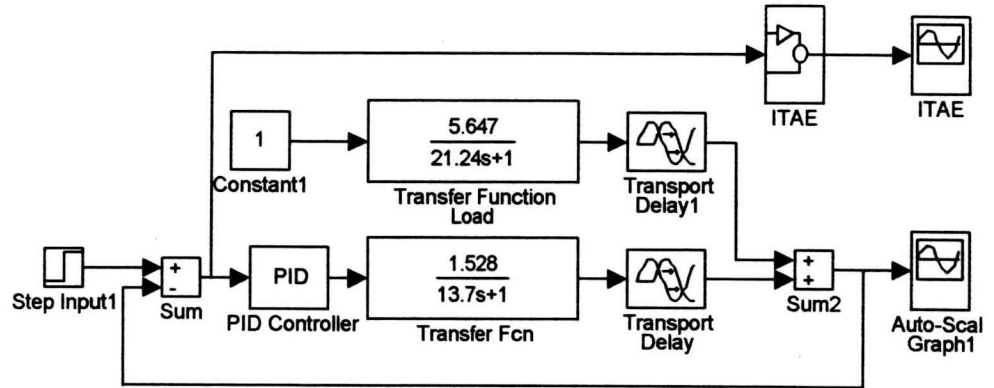


รูปที่ 5.19 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี าย ดี วิชของ โคน-กุน

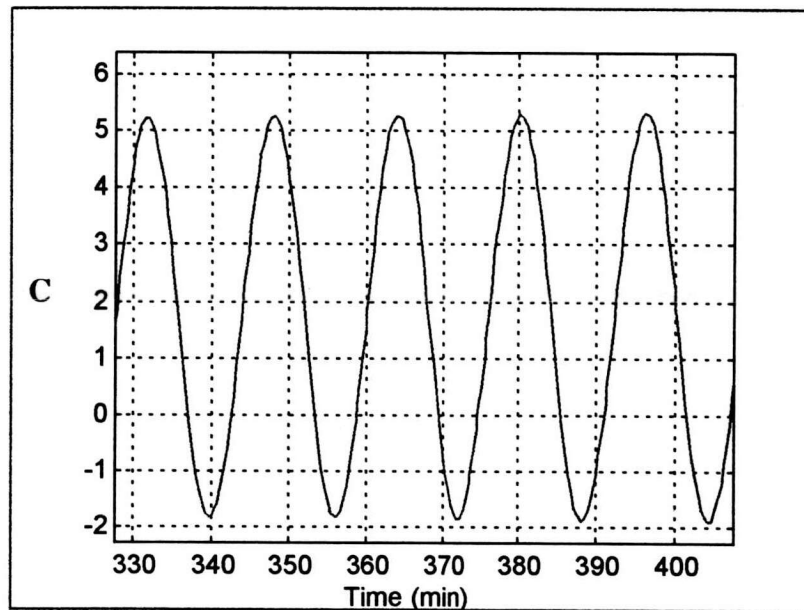


รูปที่ 5.20 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.19 โดยวิธี ITAE

5.3.2 กระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงพอยท์เปลี่ยน



รูปที่ 5.21 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่ง



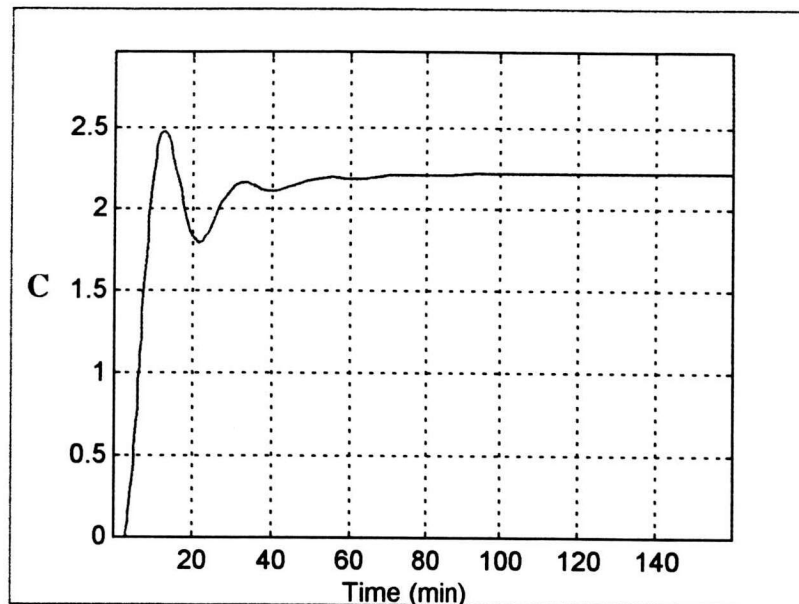
รูปที่ 5.22 แสดงการตอบสนองของที่ได้ไซเคิลแบบต่อเนื่องได้  $K_{cu} = 3.58$   $P_u = 17$

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าการควบคุมของตัวควบคุมต่างๆ ที่คำนวณไว้แล้ว

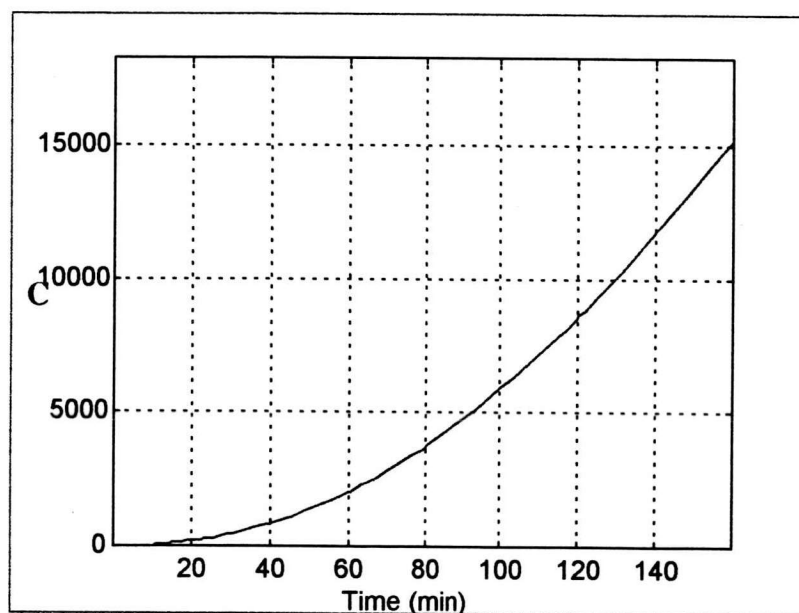
$$K_{cu} = 3.58$$

$$P_u = 17$$

ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี 1/4			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
P	1.79	-	-
PI	1.611	14.16	-
PID	2.148	8.503	2.125
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด มีโอเวอร์ชูตบ้าง			
	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	1.1814	8.503	5.667
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด ไม่มีโอเวอร์ชูต			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	0.716	8.503	5.667
ตัวควบคุมแบบ โคนเซน-กุน			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
P	2.211	-	-
PI	1.848	8.956	-
PID	2.820	9.782	1.544

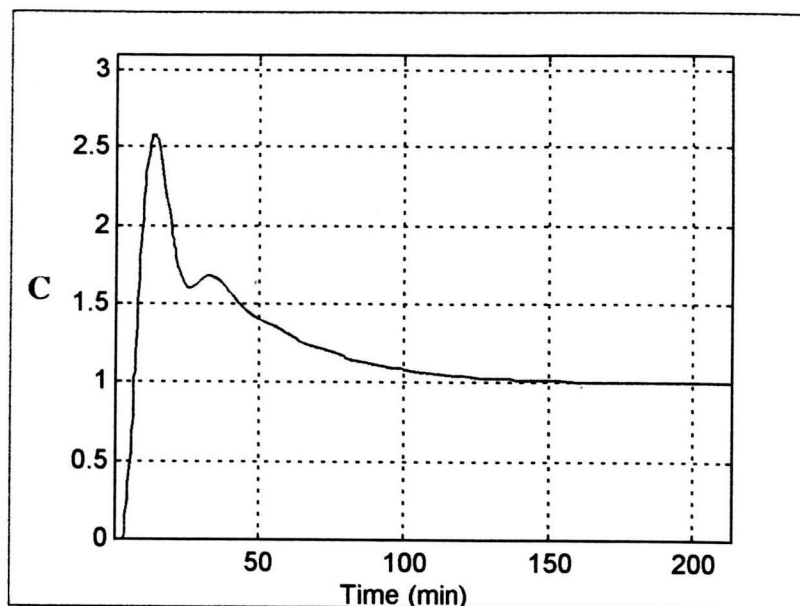


รูปที่ 5.23 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วีซีของ ซิกมอร์ด-นิโคลส์

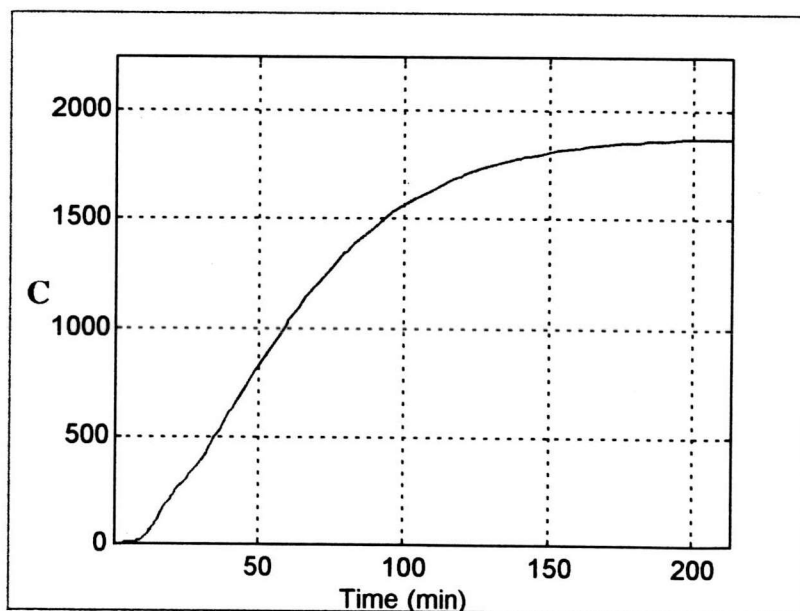


รูปที่ 5.24 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.23 โดยวิธี ITAE

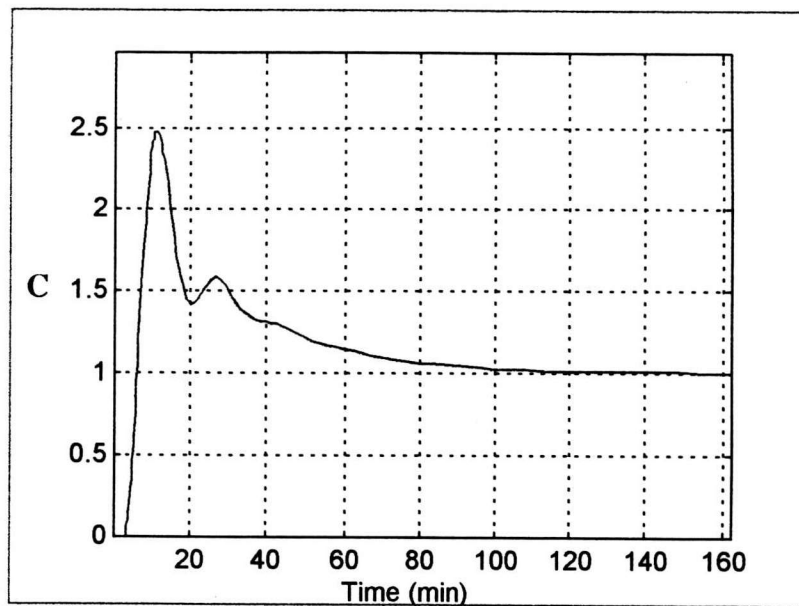




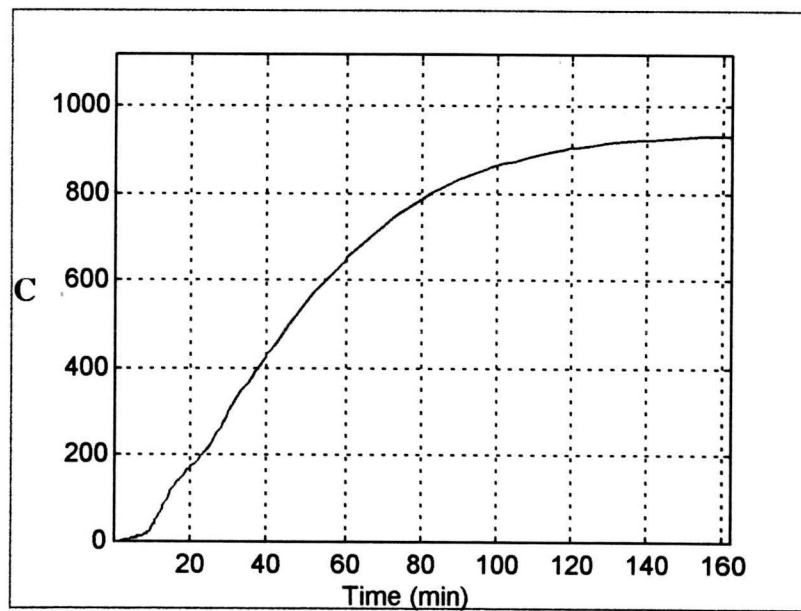
รูปที่ 5.25 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย วี ของ ซิเกลอร์นิโคลส์



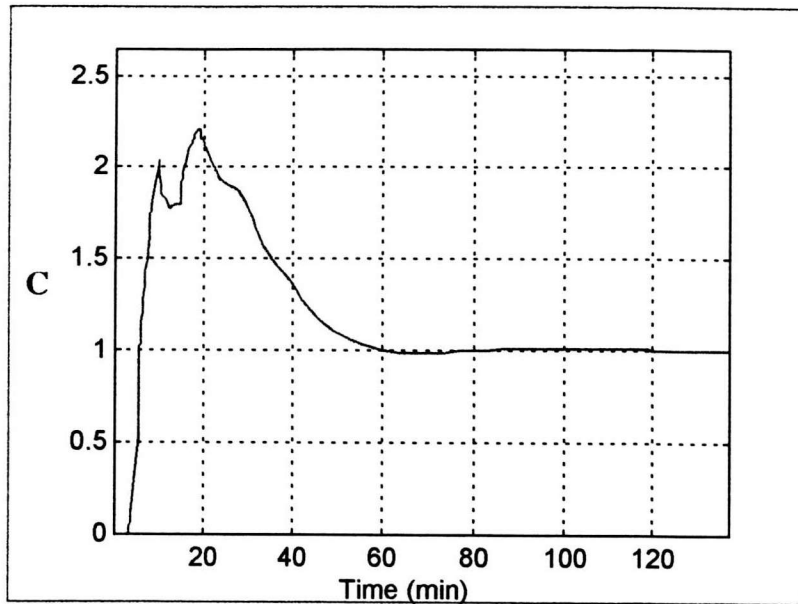
รูปที่ 5.26 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.25 โดยวิธี ITAE



รูปที่ 5.27 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี วิธีของซิกมอร์ด-นิโคลส์

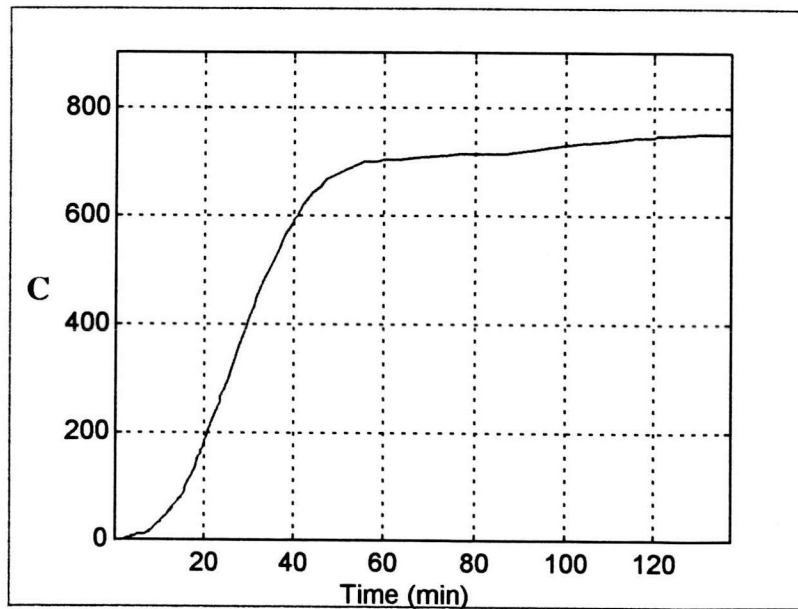


รูปที่ 5.28 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.27 โดยวิธี ITAE

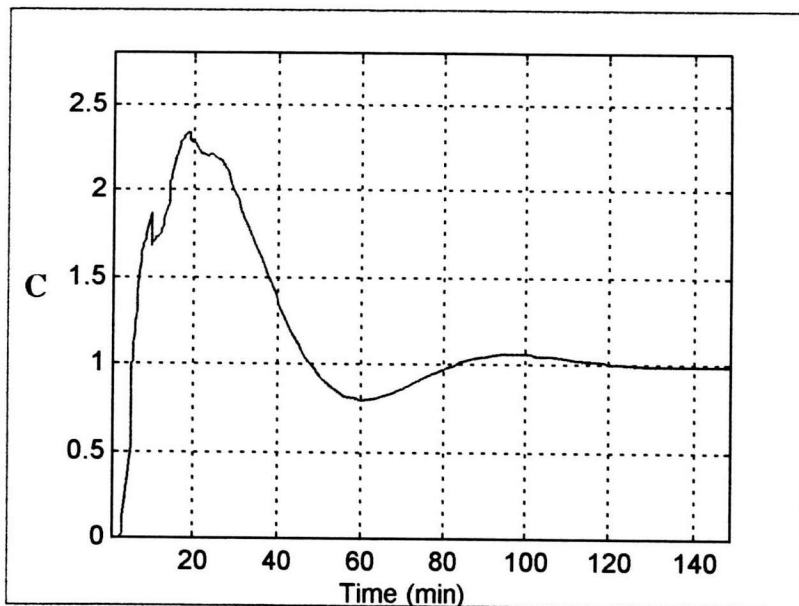


รูปที่ 5.29 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี วิธีของ

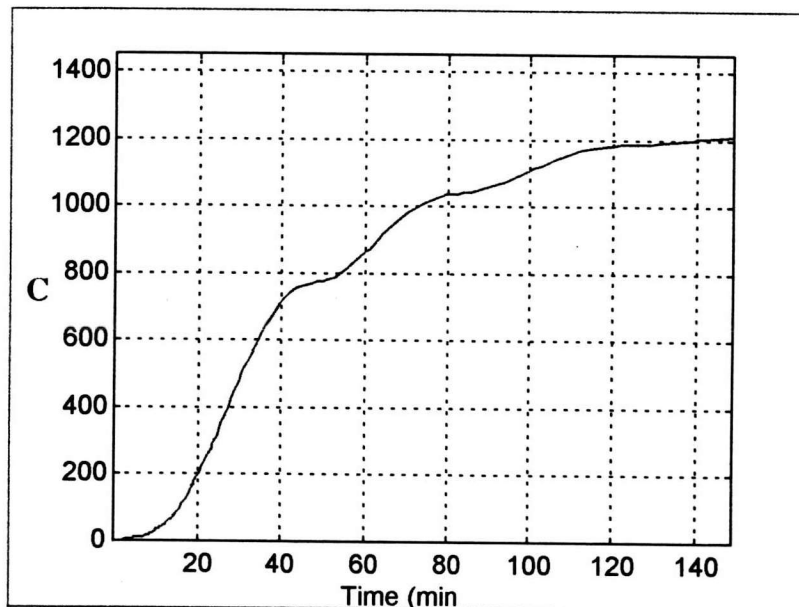
ซิกเลอร์-นิโคลส์ ชนิดมีโอเวอร์ชูตบ้าง



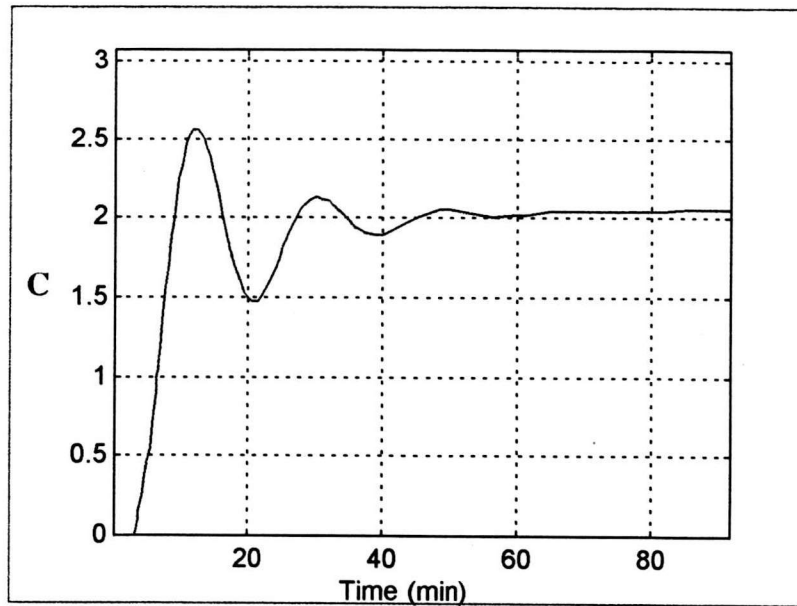
รูปที่ 5.30 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.29 โดยวิธี ITAE



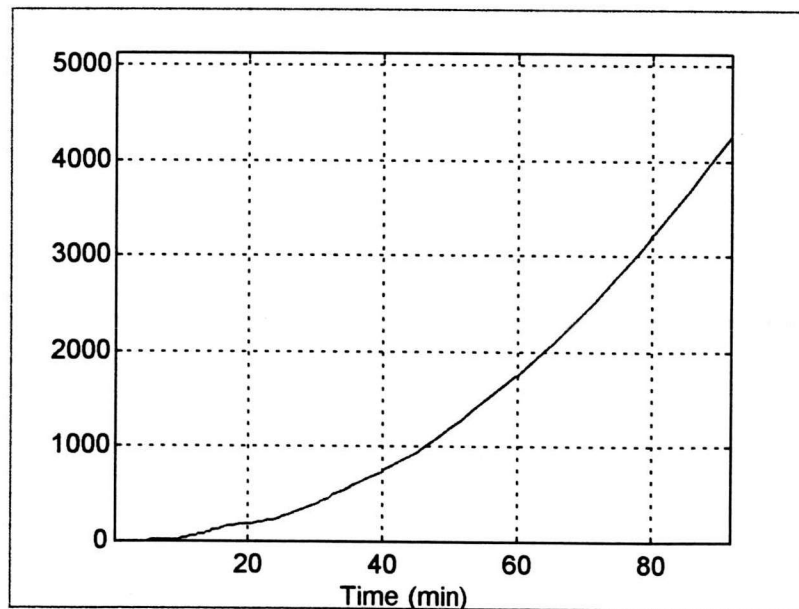
รูปที่ 5.31 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี าย คี วิธีของ ซิกมอร์ด-นิโคลส์ ชนิดไม่มีโอเวอร์ชูต



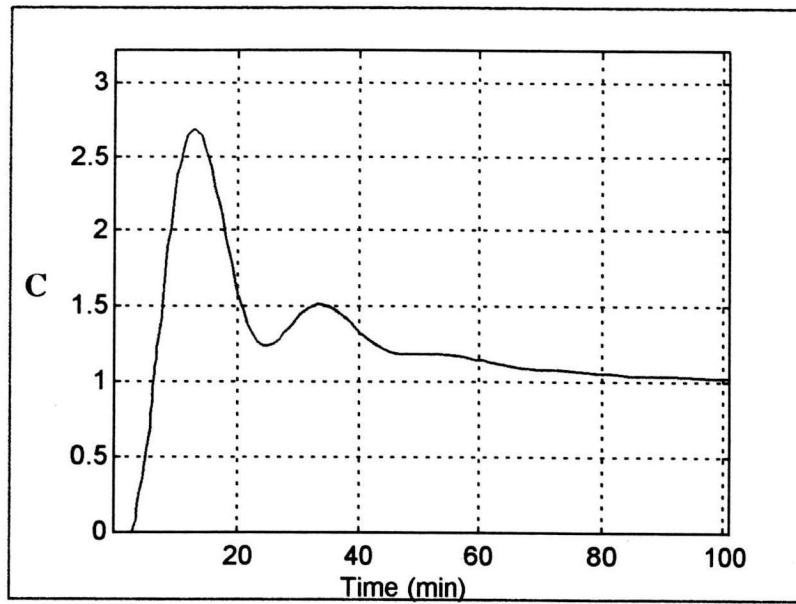
รูปที่ 5.32 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.30 โดยวิธี ITAE



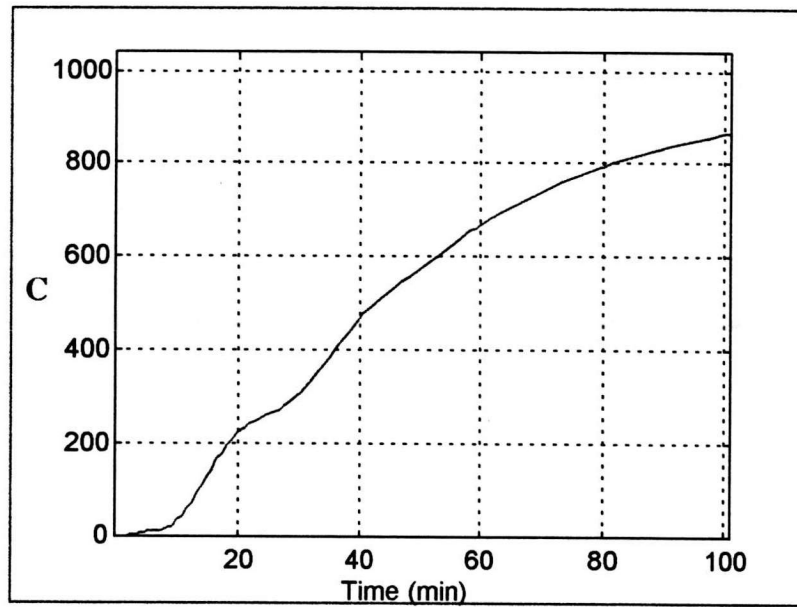
รูปที่ 5.33 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วีซีของ โคนเซน-กุน



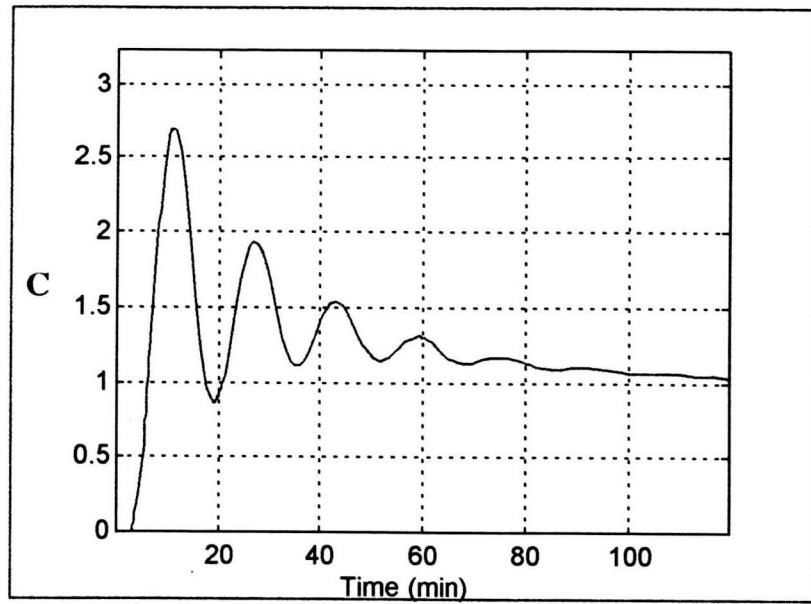
รูปที่ 5.34 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.33 โดยวิธี ITAE



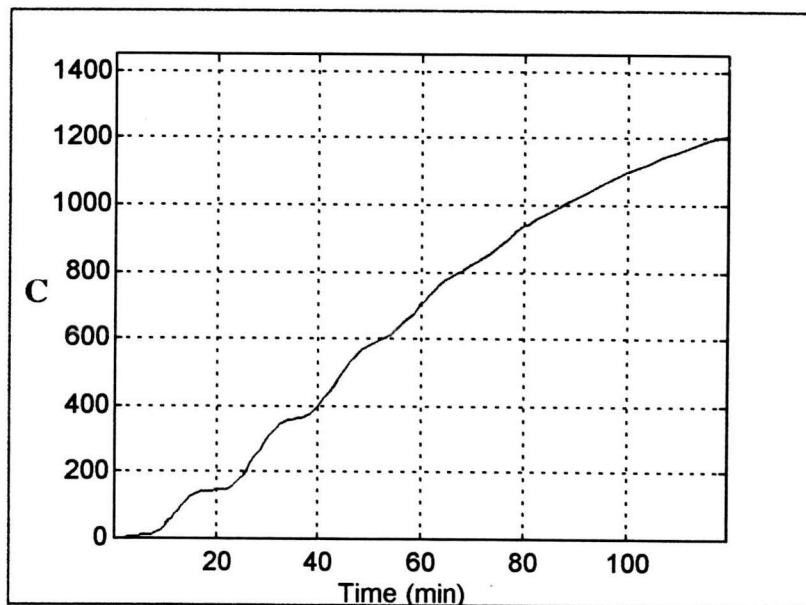
รูปที่ 5.35 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย วี ของ โคน-คูน



รูปที่ 5.36 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.35 โดยวิธี ITAE

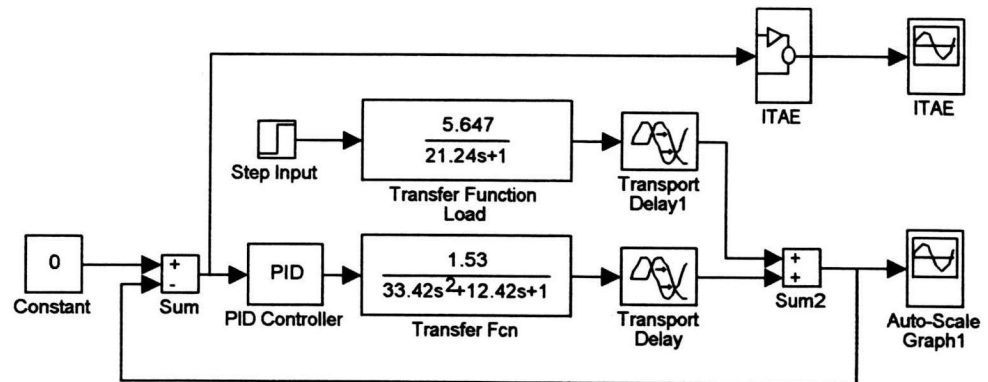


รูปที่ 5.37 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ ฟั าย ดี วิธีของ โคเซน-กุน



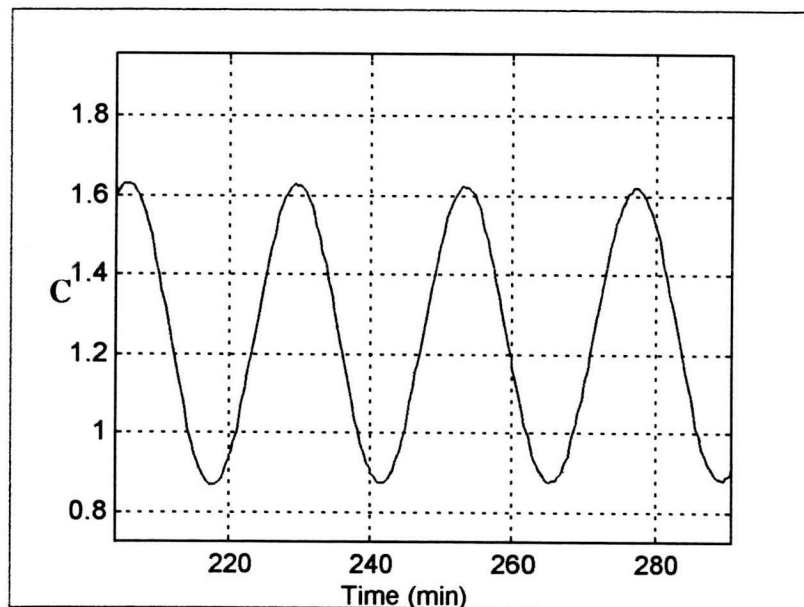
รูปที่ 5.38 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.37 โดยวิธี ITAE

### 5.3.3 กระบวนการอันดับสองที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบโหลดเปลี่ยน



รูปที่ 5.39 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมกระบวนการอันดับสอง

(แฮริอท)



รูปที่ 5.40 แสดงการตอบสนองของที่ได้ไซเคิลแบบต่อเนื่องได้

$K_{cu} = 2.3 \text{ Pu} = 25$  (แฮริอท)



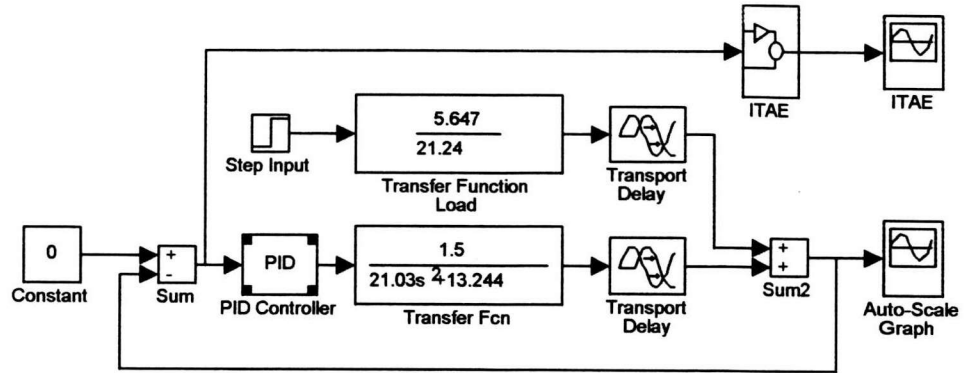
ตารางที่ 5.16 แสดงค่าการควบคุมของตัวควบคุมต่างๆ ที่คำนวณไว้แล้ว

(แฮร์ริอท)

$K_{cu} = 2.3$

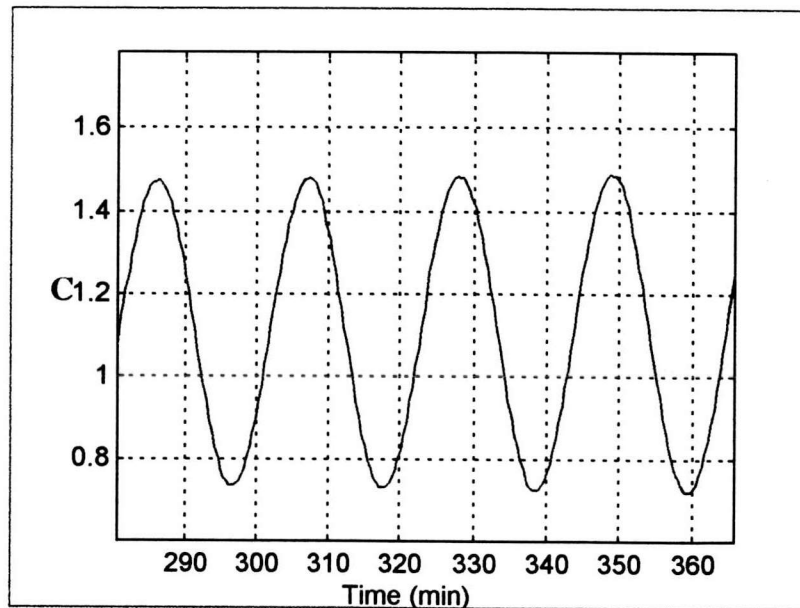
$P_u = 25$

ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี 1/4			
ชนิดการควบคุม	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$
P	1.15	-	-
PI	1.035	20.83	-
PID	1.38	12.5	3.125
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด มีโอเวอร์ชูตบ้าง			
	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	0.759	12.5	8.33
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด ไม่มีโอเวอร์ชูต			
ชนิดการควบคุม	$K_c$	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	0.46	12.5	8.33



รูปที่ 5.41 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมกระบวนการอันดับสอง

(สมิธ)



รูปที่ 5.42 แสดงการตอบสนองของที่ได้ไซเคิลแบบต่อเนื่องได้

$$K_{cu} = 2.68 \text{ Pu} = 22 \text{ (สมิธ)}$$

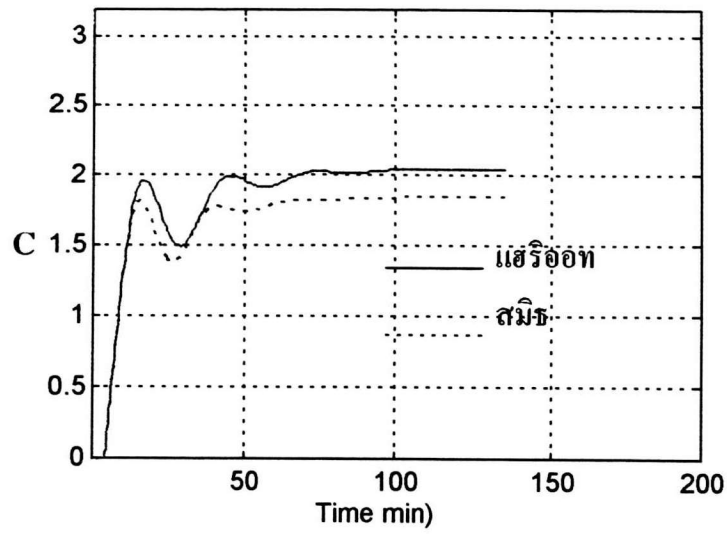
ตารางที่ 5.17 แสดงค่าการควบคุมของตัวควบคุมต่างๆ ที่คำนวณไว้แล้ว

(สมิธ)

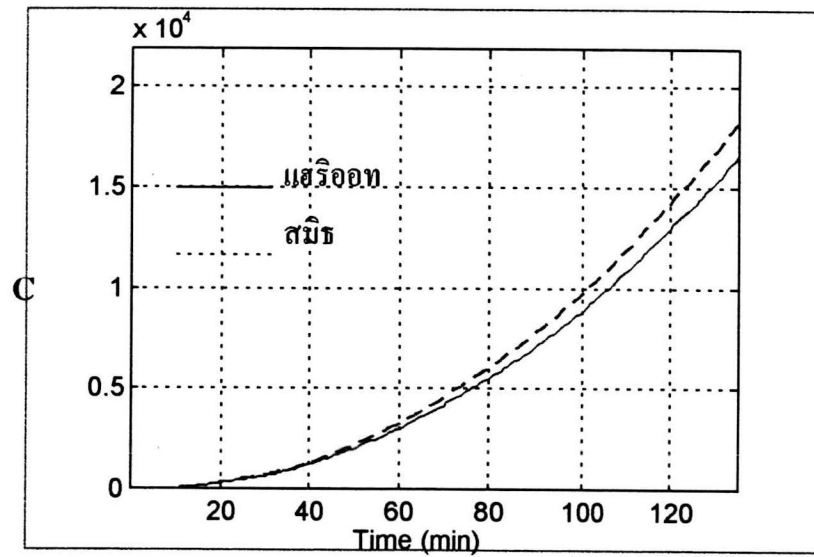
$$K_{cu} = 2.68$$

$$P_u = 22$$

ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี 1/4			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
P	1.34	-	-
PI	1.206	18.35	-
PID	1.608	11.0	2.756
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด มีโอเวอร์ชูตบ้าง			
	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	0.8844	11.0	7.333
ตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี ชนิด ไม่มีโอเวอร์ชูต			
ชนิดการควบคุม	Kc	$\tau_I$	$\tau_D$
PID	.5360	11.0	7.333

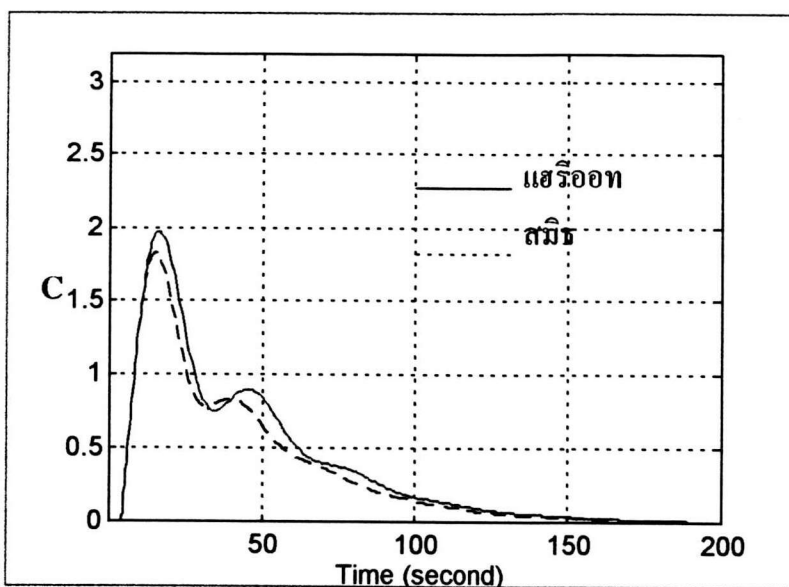


รูปที่ 5.43 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วีวี ของ ซิกเลอร์-นิโคลส์

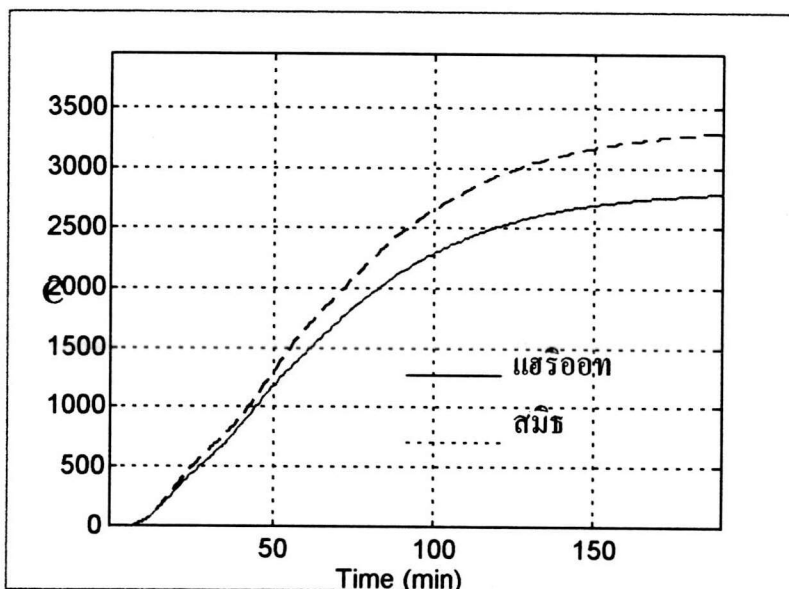


รูปที่ 5.44 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.43

โดยวิธี ITAE

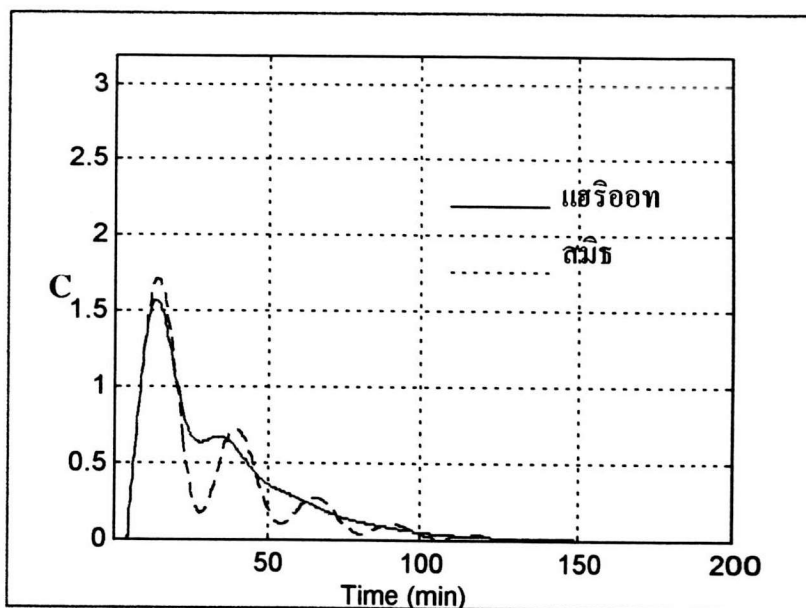


รูปที่ 5.45 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย วี ของ  
ซิกเลอร์-นิโคลส์

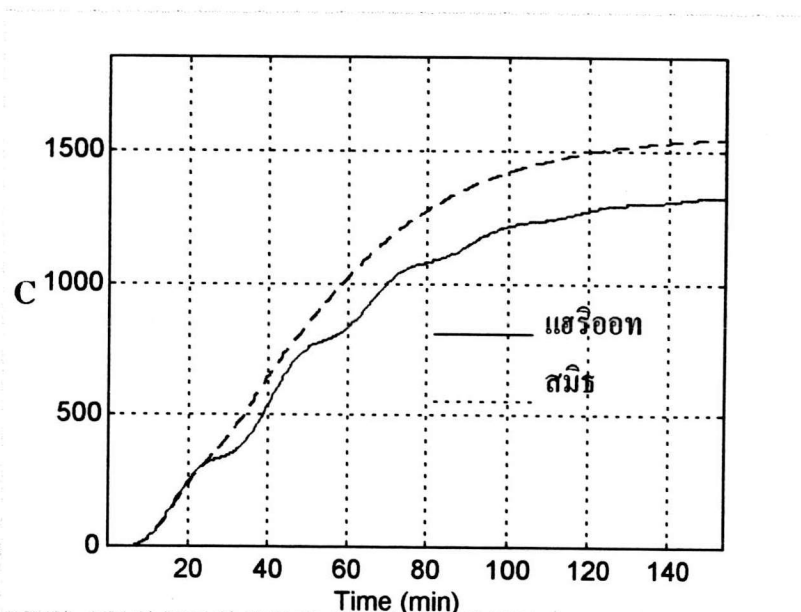


รูปที่ 5.46 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.45

โดยวิธี ITAE

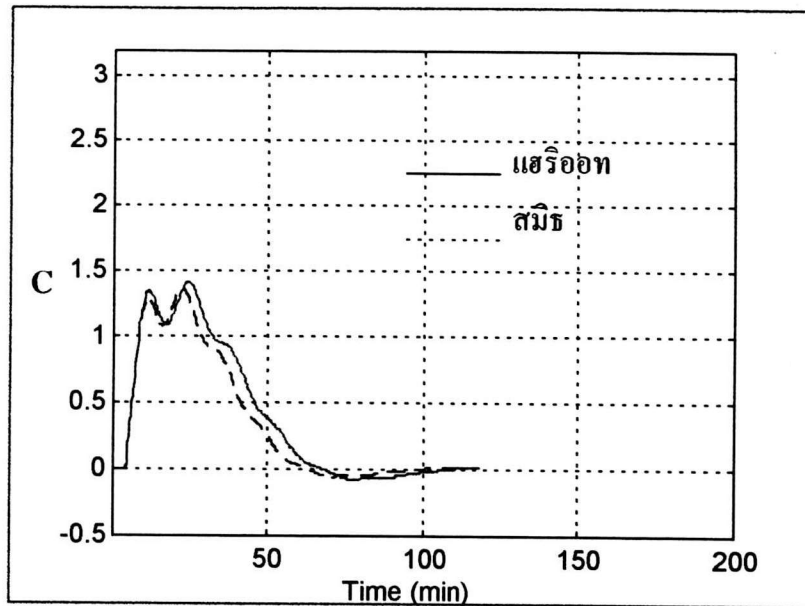


รูปที่ 5.47 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี าย ดี  
วิธีของซิกมอร์ด-นิโคลส์



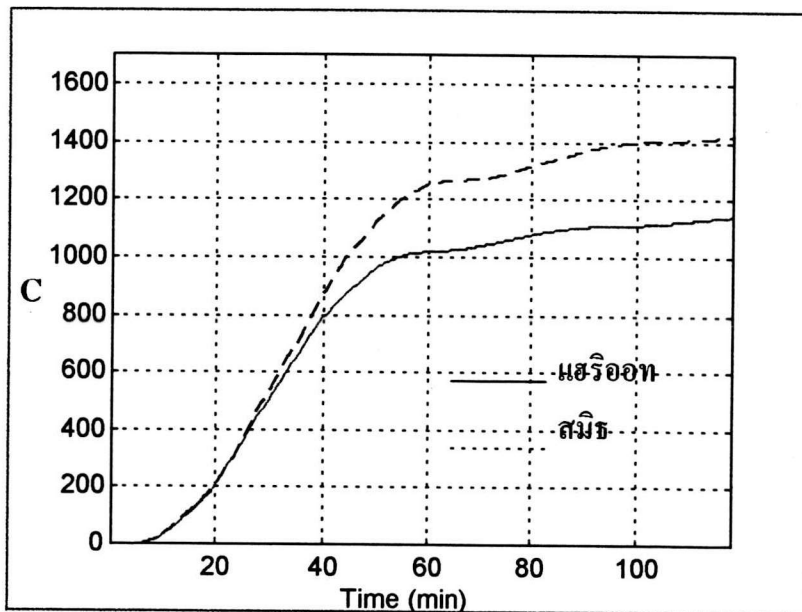
รูปที่ 5.48 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.47

โดยวิธี ITAE



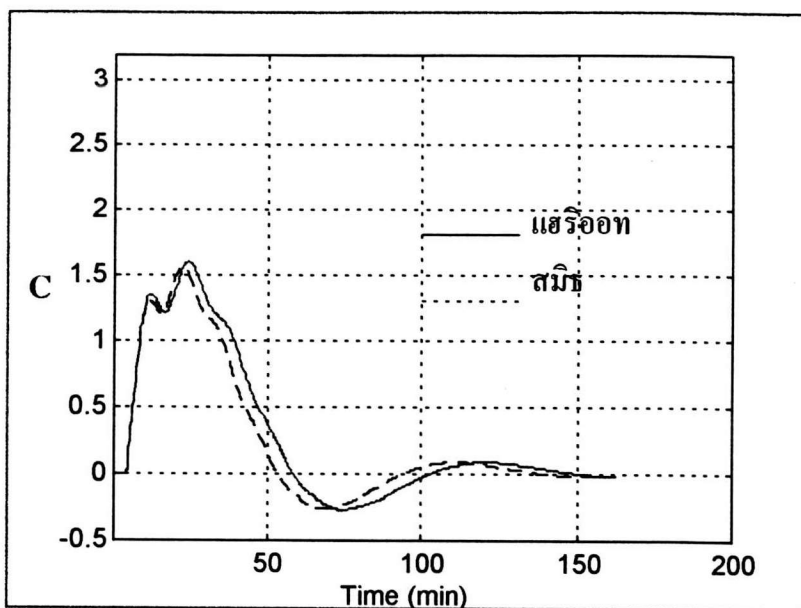
รูปที่ 5.49 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี

วิธีของ ซิเกลอร์-นิโคลส์ชนิดมีโอเวอร์ชูคบ้าง



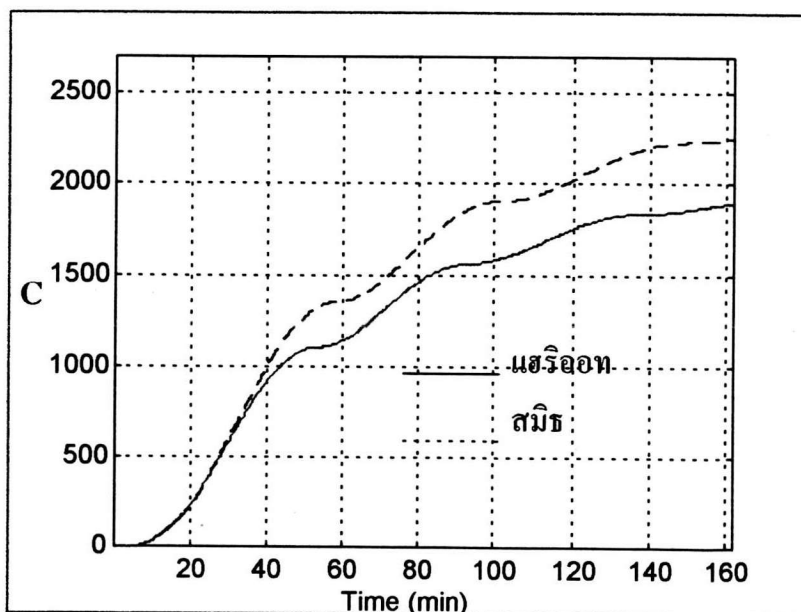
รูปที่ 5.50 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.49

โดยวิธี ITAE



รูปที่ 5.51 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี าย ดี

วิธีของซิกเลอร์-นิโคลส์ ชนิดไม่มีโอเวอร์ชูต

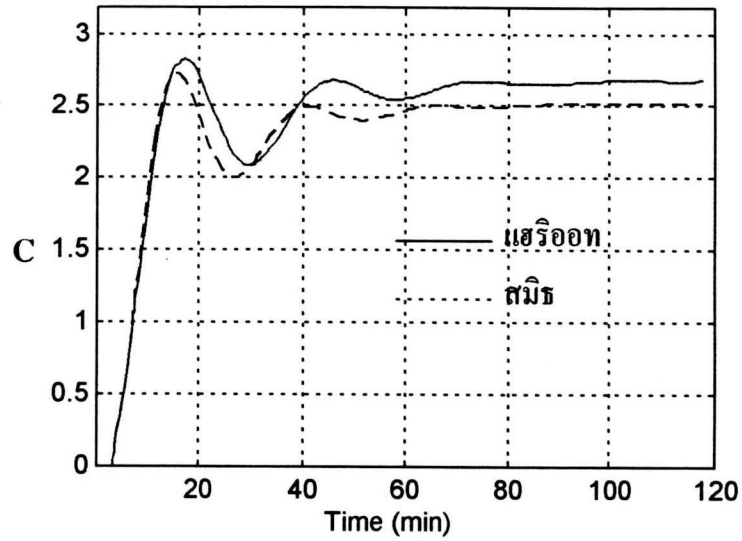


รูปที่ 5.52 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.51

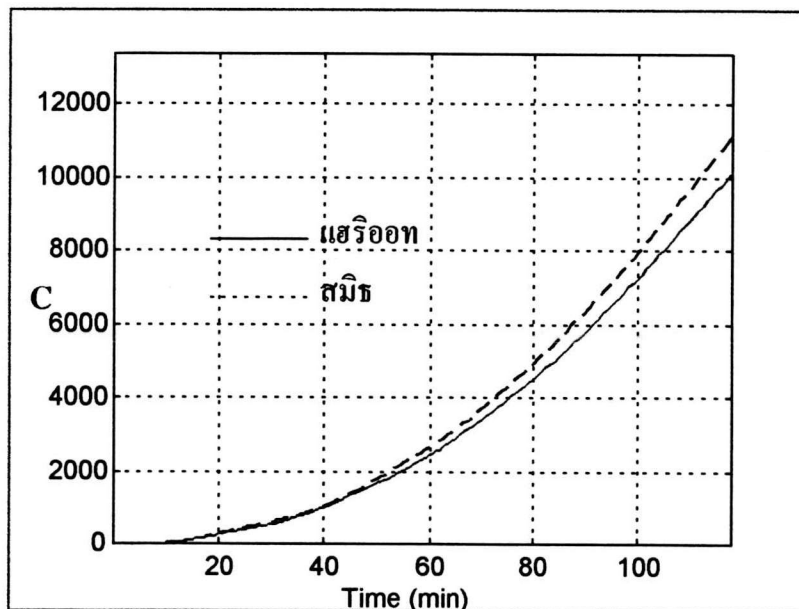
โดยวิธี ITAE



#### 5.3.4 กระบวนการอันดับสองที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเซฟพอยท์เปลี่ยน

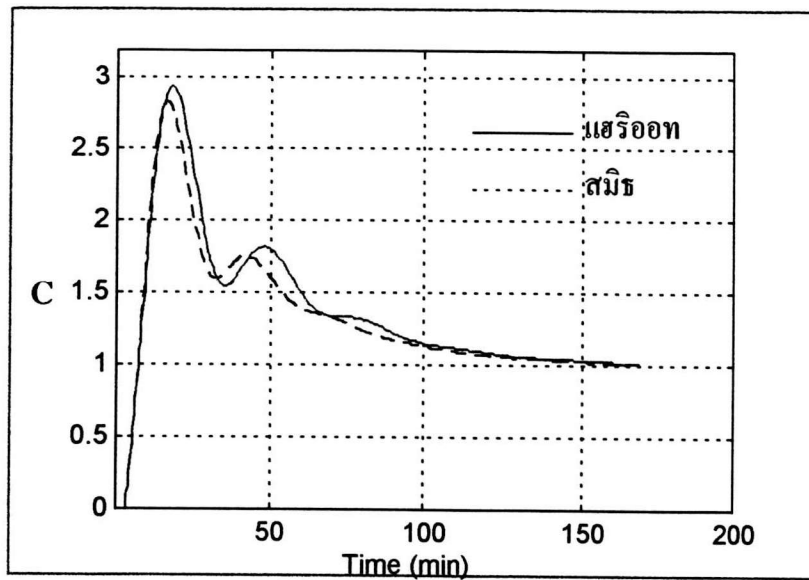


รูปที่ 5.53 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี วีวี ของ ซิเกลอร์-นิโคลส์



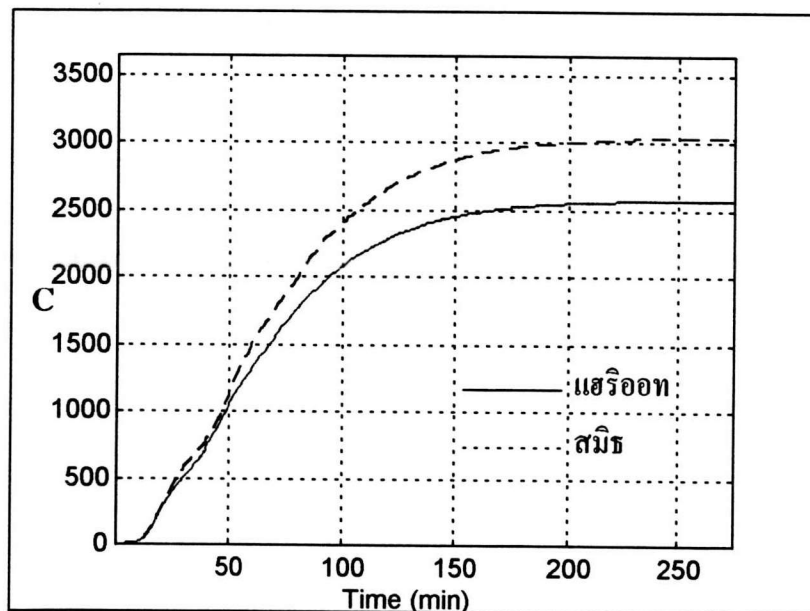
รูปที่ 5.54 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.53

โดยวิธี ITAE



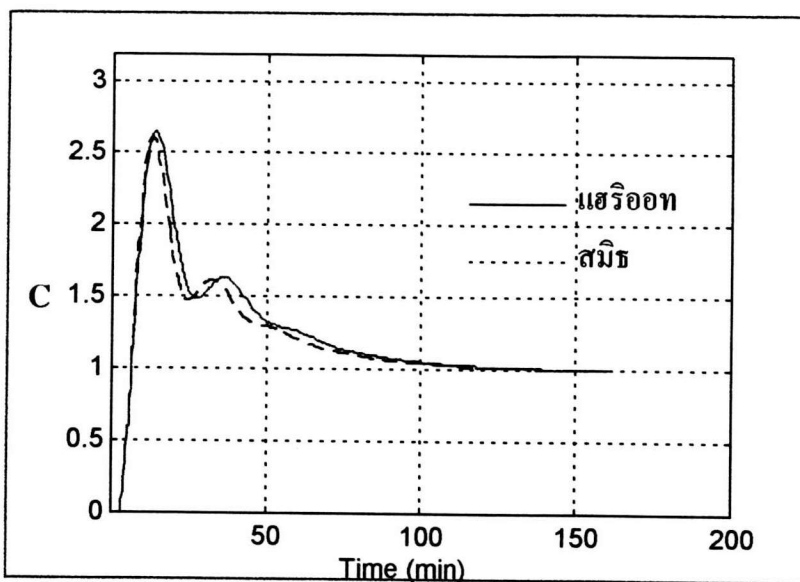
รูปที่ 5.55 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี าย

วิธีของซิกมอร์ด-นิโคลส์



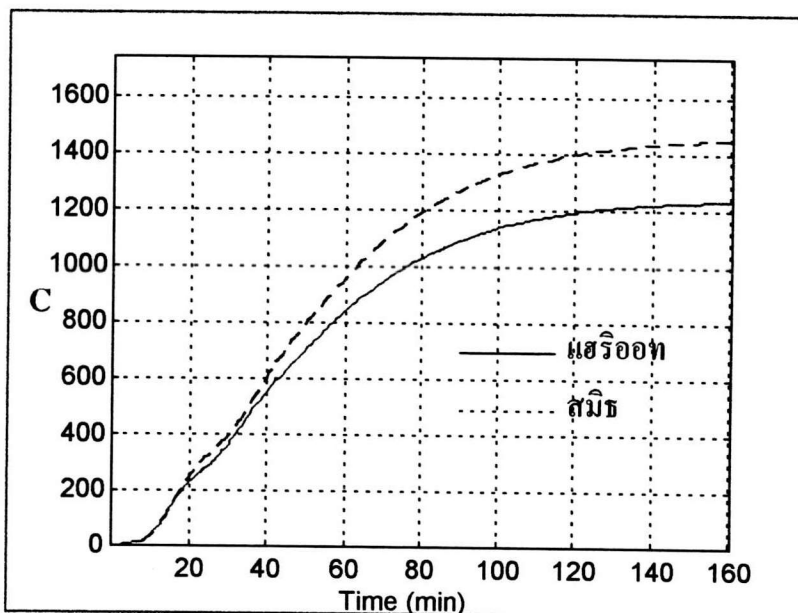
รูปที่ 5.56 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.45

โดยวิธี ITAE



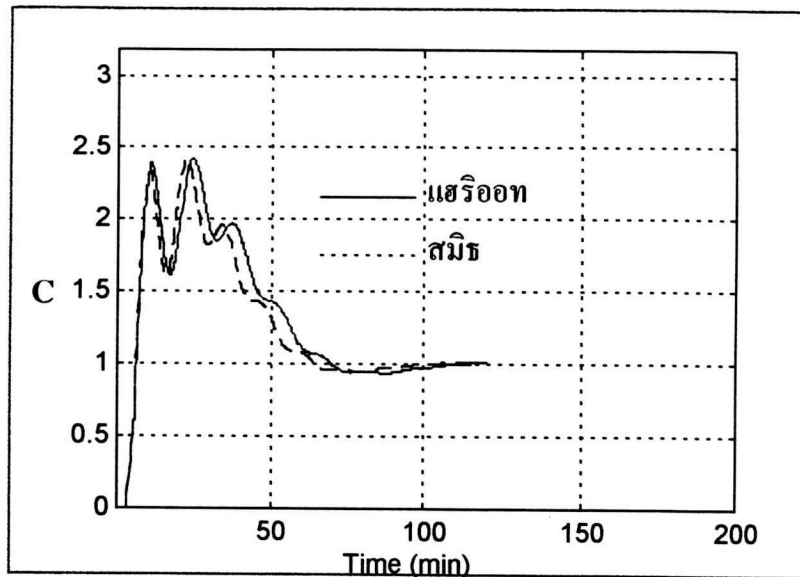
รูปที่ 5.57 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี ไอ ดี

วิธีของซิกเตอร์-นิโคลส์



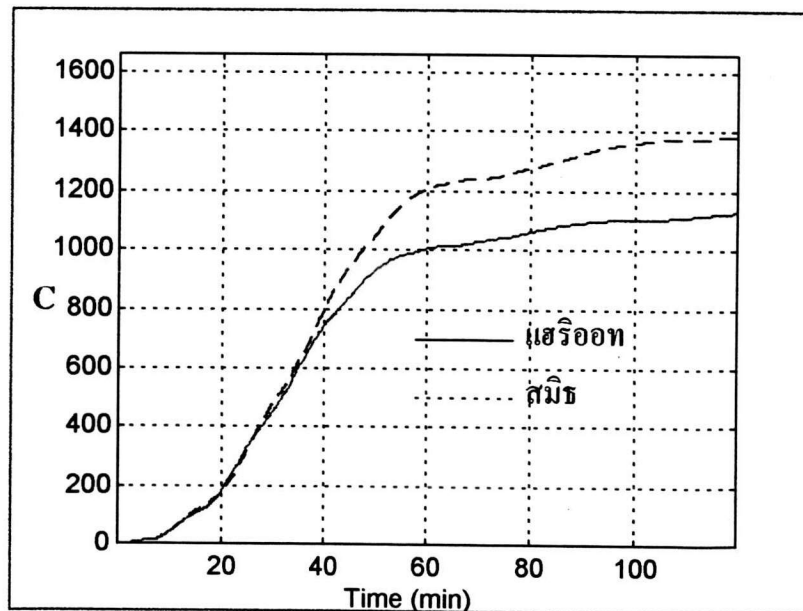
รูปที่ 5.58 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.57

โดยวิธี ITAE



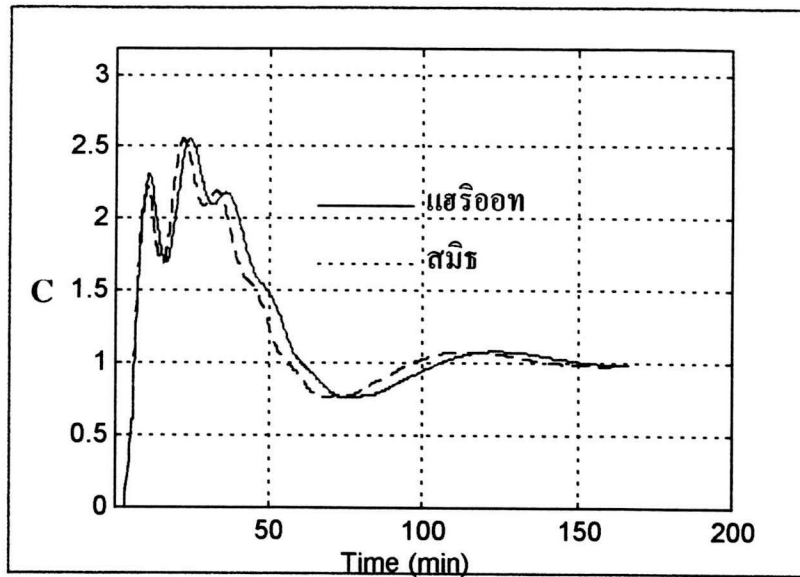
รูปที่ 5.59 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี

วิธีของ ซิกเลอร์-นิโคลส์ชนิดมีโอเวอร์ชูตบ้าง



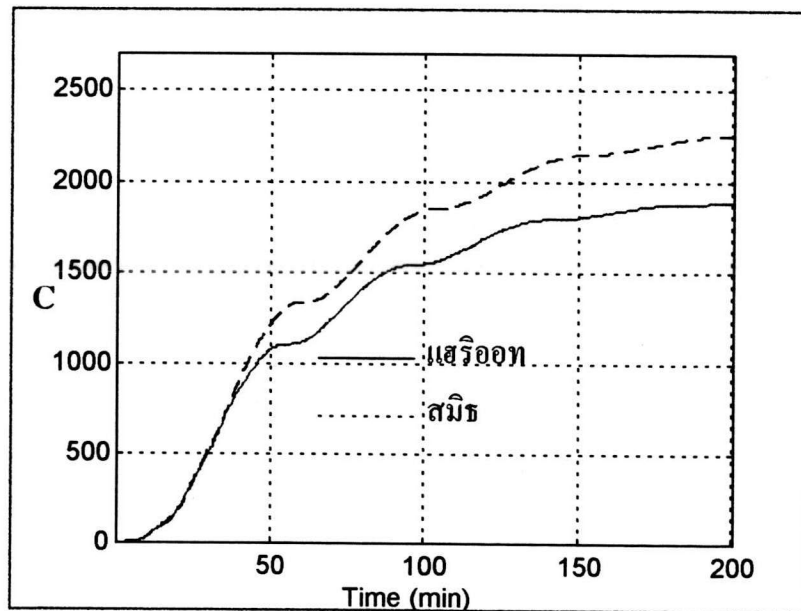
รูปที่ 5.60 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.59

โดยวิธี ITAE



รูปที่ 5.61 แสดงการตอบสนองของตัวควบคุมแบบ พี อาย ดี

วิธีของซิกเลอร์-นิโคลส์ ชนิดไม่มีโอเวอร์ชูต



รูปที่ 5.62 แสดงการตอบสนองของการวัดค่าผิดพลาดของรูปที่ 5.61

โดยวิธี ITAE