

การจำลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

Simulation Result Discussion and Conclusion

ในบทนี้เป็นผลการซิมูเลทเพื่อเปรียบเทียบผลการระบุหาโดยแบบจำลองฟิสิกส์ในโครงสร้างแบบต่างๆ และการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมฟิสิกส์แบบฐานแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการควบคุมแบบดั้งเดิมและตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในในกรณีต่างๆ อันได้แก่ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ป กรณีที่มีตัวรบกวนที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป เพื่อใช้พิจารณาคุณสมบัติภาพและคุณสมบัติของตัวควบคุมฟิสิกส์แบบฐานแบบจำลอง ทำการทดลองโดยใช้ซิมูเลชัน ซิมูเลทแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้เทคนิคการอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Integration Techniques) สำหรับการควบคุมกระบวนการที่ใช้ทดสอบได้แก่ การควบคุมระดับความสูงของของเหลวในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ส่วนที่เหลือเป็นการสรุปผลการทดลอง บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะที่ได้

6.1 การเลียนแบบกระบวนการ

การสร้างโปรแกรมเลียนแบบสำหรับกระบวนการการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น และกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง เพื่อใช้แทนกระบวนการจริงของกระบวนการทั้ง 2 โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 จะสร้างโดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขที่เรียกว่าการอินทิเกรตเชิงตัวเลขสำหรับสมการอนุพันธ์แบบธรรมดา (Numerical Integration of Ordinary Differential Equations (ODE)) ที่เรียกว่า อัลกอริทึมของออยเลอร์ (Euler Algorithm) ด้วย Step Size เท่ากับ 1 สำหรับกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น และสำหรับกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องใช้ Step Size เป็น 0.01 รายละเอียดของอัลกอริทึมนี้ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

6.2 การสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟิสิกส์

ทำการออกแบบระบบฟิสิกส์ เพื่อใช้ในการควบคุมแบบฐานแบบจำลอง โดยต้องการให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำ มีความสามารถในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีในระดับหนึ่ง เนื่องจากการควบคุมแบบฐานแบบจำลองจะมีประสิทธิภาพดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่ได้เป็นสำคัญ โดยเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการทำนายผลของแบบจำลองที่มีโครงสร้างอินพุทเอาต์พุทแบบต่างๆ และมีจำนวนฟิสิกส์เซตอ้างอิง 4, 5 และ 6 เซต โดยใช้แบบจำลองที่ได้ลองทำนายเอาต์พุทของกระบวนการจากข้อมูลของอินพุท-

เอาที่พหุของกระบวนการในอดีตที่มีอยู่แล้ว ผลการทดลองกรณีกระบวนการของดังที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2-1

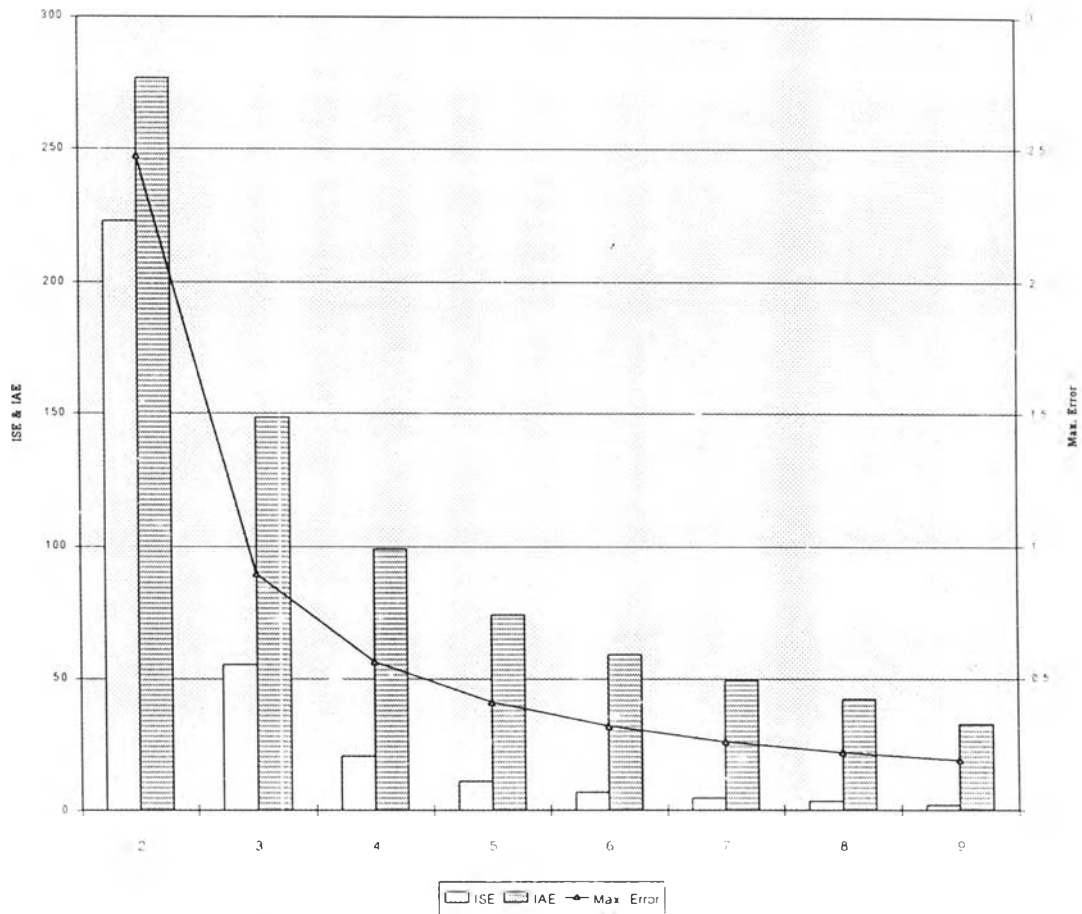
ตารางที่ 6.2-1 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์พีชซีของกระบวนการไหลของดังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ที่มีจำนวนพีชซีเซตอ้างอิงเป็น 5

ลำดับที่	โครงสร้างแบบจำลองพีชซี	ISE	IAE	Max. Error
1	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	10.8986	74.0507	0.4079
2	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-2)$	10.9764	74.0507	0.4310
3	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-3)$	11.0365	74.0507	0.4491
4	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-4)$	11.0803	74.0507	0.4631
5	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-5)$	11.1098	74.0507	0.4734
6	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1) \circ F_i(k-2)$	10.9764	74.0507	0.4310
7	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-2) \circ F_i(k-3)$	11.0365	74.0507	0.4490
8	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-3) \circ F_i(k-4)$	11.0803	74.0507	0.4631
9	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-4) \circ F_i(k-5)$	11.1098	74.0507	0.4734
10	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1) \circ F_i(k-2) \circ F_i(k-3)$	11.0365	74.0506	0.4491
11	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1) \circ F_i(k-2) \circ F_i(k-3) \circ F_i(k-4)$	11.0803	74.0507	0.4631

ตารางที่ 6.2-2 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆ ของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์พีชซี $H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$ ที่จำนวนพีชซีเซตอ้างอิงต่างๆ

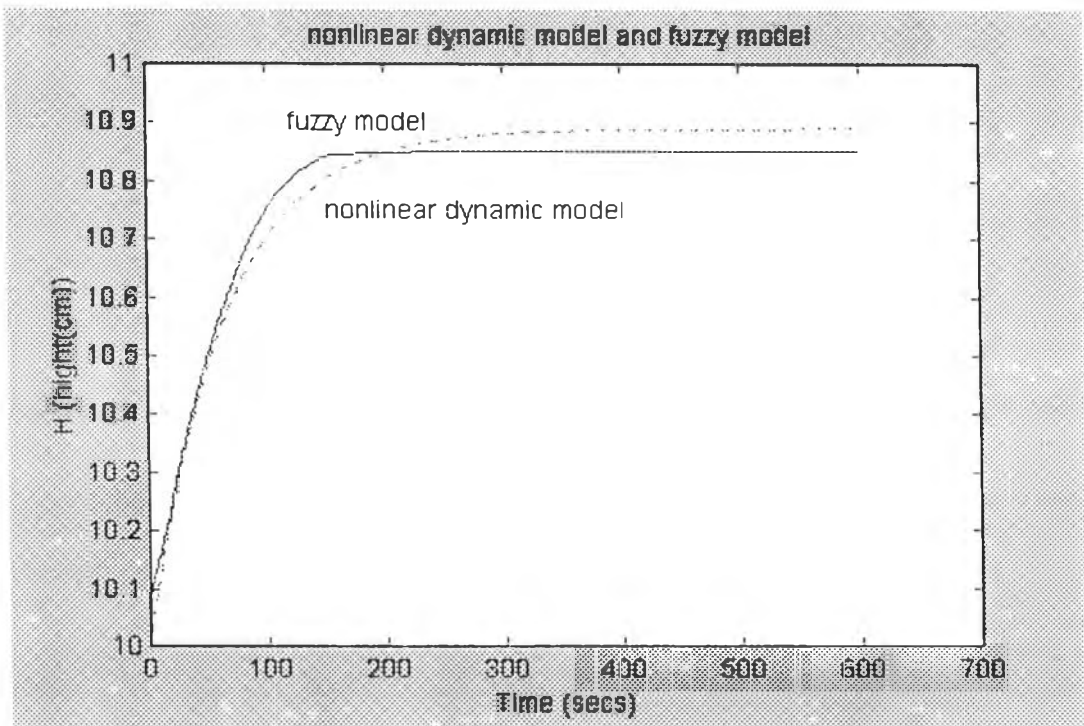
ลำดับที่	โครงสร้างแบบจำลองพีชซี	จำนวนพีชซีเซตอ้างอิง	ISE	IAE	Max. Error
1	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	2	222.7689	276.5939	2.4714
2	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	3	55.2303	148.4961	0.8951
3	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	4	20.4013	98.9396	0.5624
4	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	5	10.8986	74.0507	0.4079
5	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	6	6.7922	59.1001	0.3179
6	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	7	4.6409	49.1334	0.259
7	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	8	3.3739	42.0205	0.2176
8	$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F_i(k-1)$	9	2.0152	32.5448	0.1875

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.2-1 พบว่าโครงสร้างพีชชีที่ดีที่สุดคือให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุดคือโครงสร้าง $H(k) = R \circ H(k-1) \circ Fi(k-1)$ และจากตารางที่ 6.2-2 และรูปที่ 6.2-1 พบว่าระบบพีชชีที่มีจำนวนพีชชีเซตอ้างอิงเป็น 9 ให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุด แต่เนื่องจากว่าจำนวนพีชชีเซตอ้างอิงยิ่งมากจะทำให้ได้อาร์เรย์ความสัมพันธ์ที่เป็นมีขนาดใหญ่ทำให้การคำนวณต้องใช้เวลานานขึ้น ในที่นี้จึงเลือกจำนวนพีชชีเซตอ้างอิงที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำพอควรและแต่ไม่ให้เป็นจำนวนที่มากเกินไป คือ 6



รูปที่ 6.2-1 แสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆที่ลดลงเมื่อใช้จำนวนพีชชีเซตอ้างอิงที่มากขึ้น

และเมื่อนำโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดที่ได้คือโครงสร้าง $H(k) = R \circ H(k-1) \circ Fi(k-1)$ ที่มีจำนวนพีชชีเซตอ้างอิงเป็น 6 มาจำลองเพื่อดูการผลการตอบสนอง แบบจำลองพีชชีที่ได้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2-2 เส้นปะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการจริง ส่วนเส้นทึบแสดงถึงการจำลองของแบบจำลองพีชชี ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองพีชชีได้สามารถจำลองกระบวนการจริงได้ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงตลอดช่วงของกระบวนการ โดยเฉพาะในช่วงที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงที่เริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวใหม่นั้นเกิดมีออฟเซ็ทเล็กน้อย



รูปที่ 6.2-2 แสดงการจำลองกระบวนการโดยแบบจำลองฟัซซี ของกระบวนการการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น

สำหรับโครงสร้างของแบบจำลองฟัซซีของกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2-3 ซึ่งเป็นโครงสร้างฟัซซีที่ใช้จำนวนฟัซซีเซตอ้างอิง 5 เซต จะเห็นได้ว่า โครงสร้างฟัซซีที่ให้ค่าความผิดพลาดต่อสุดในที่นี้คือโครงสร้างลำดับที่ 57 ที่ใช้เอาท์พุทย้อนหลังไปตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5 เป็นจำนวน 5 ค่าและอินพุท 1 ตัว คือ $T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$ แต่เนื่องจากว่าเป็นโครงสร้างที่ใหญ่มากอยู่แล้วเมื่อนำโครงสร้างนี้มาใช้จริงจะได้เป็นอาร์เรย์ จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกับจำนวนฟัซซีเซตที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกโครงสร้างที่ 51 ซึ่งใช้เอาท์พุทย้อนหลังไปตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 3 เป็นจำนวน 3 ค่าและ อินพุทตัวล่าสุดตัวเดียว $T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-1)$ และใช้จำนวนฟัซซีเซตอ้างอิง 5 เซต เพราะมีค่าความผิดพลาดที่พอยอมรับได้และไม่ใหญ่เกินไป

ตารางที่ 6.2-3 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์พีชชีของกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีจำนวนพีชชีเซตอ้างอิงเป็น 5

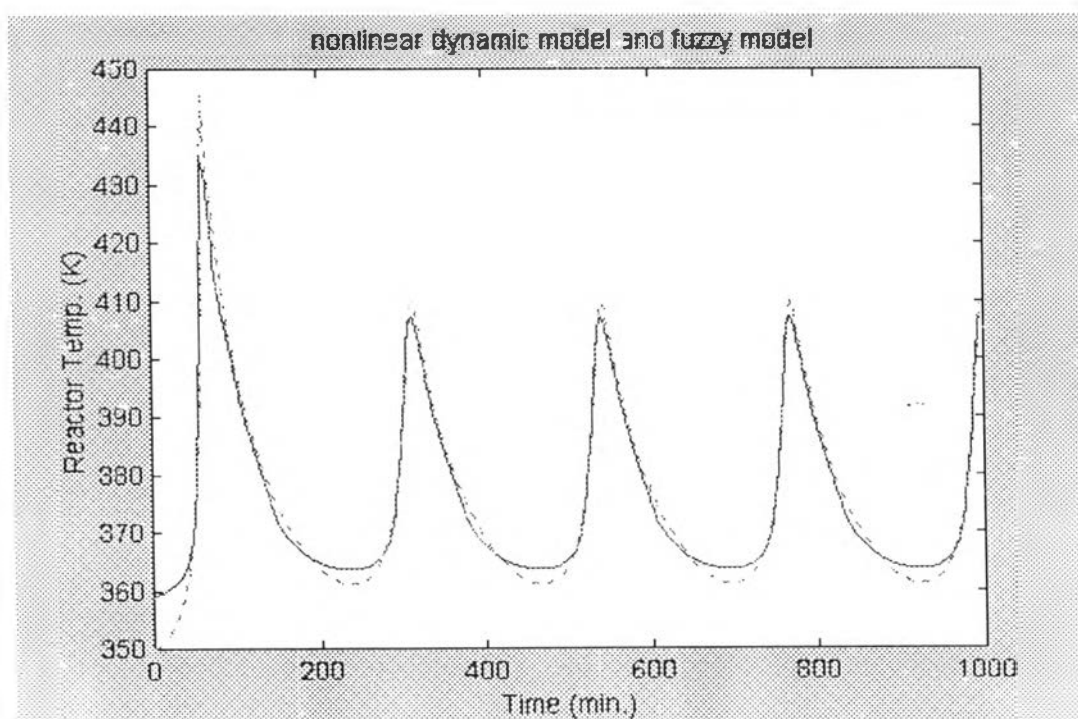
ลำดับที่	โครงสร้างแบบจำลองพีชชี	ISE	IAE	Max. Error
1	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ Tc(k-1)$	2426	1670	3.12
2	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ Tc(k-1)$	2385	1658	3.10
3	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ Tc(k-1)$	2345	1646	3.12
4	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ Tc(k-1)$	2308	1635	3.13
5	$T(k) = R \circ T(k-5) \circ Tc(k-1)$	2274	1624	3.14
6	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ Tc(k-2)$	2406	1662	3.09
7	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ Tc(k-2)$	2363	1650	3.08
8	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ Tc(k-2)$	2324	1638	3.07
9	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ Tc(k-2)$	2286	1627	3.08
10	$T(k) = R \circ T(k-5) \circ Tc(k-2)$	2251	1616	3.09
11	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ Tc(k-3)$	2385	1653	3.07
12	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ Tc(k-3)$	2343	1641	3.05
13	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ Tc(k-3)$	2302	1630	3.04
14	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ Tc(k-3)$	2264	1618	3.03
15	$T(k) = R \circ T(k-5) \circ Tc(k-3)$	2228	1607	3.04
16	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ Tc(k-4)$	2365	1645	3.04
17	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ Tc(k-4)$	2322	1633	3.03
18	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ Tc(k-4)$	2281	1621	3.02
19	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ Tc(k-4)$	2242	1610	3.01
20	$T(k) = R \circ T(k-5) \circ Tc(k-4)$	2206	1599	3.00
21	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ Tc(k-5)$	2344	1636	3.02
22	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ Tc(k-5)$	2301	1624	3.01
23	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ Tc(k-5)$	2260	1613	3.00
24	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ Tc(k-5)$	2221	1601	2.99
25	$T(k) = R \circ T(k-5) \circ Tc(k-5)$	2184	1590	2.89
26	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ Tc(k-1)$	1487	1299	2.76

ตารางที่ 6.2-3 (ต่อ) ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์พีชซี
ของกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีจำนวนพีชซีเซตอ้างอิงเป็น 5

ลำดับที่	โครงสร้างแบบจำลองพีชซี	ISE	IAE	Max. Error
27	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-1)$	1458	1287	2.75
28	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-1)$	1431	1276	2.75
29	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1460	1266	2.75
30	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-3) \circ T_c(k-1)$	1472	1293	2.76
31	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-4) \circ T_c(k-1)$	1458	1287	2.76
32	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-4) \circ T_c(k-1)$	1445	1282	2.75
33	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1419	1271	2.75
34	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1445	1281	2.76
35	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T_c(k-2)$	1475	1294	2.73
36	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-2)$	1446	1282	2.72
37	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-2)$	1418	1271	2.71
38	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-2)$	1393	1260	2.71
39	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-2)$	1446	1282	2.72
40	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-2)$	1418	1271	2.71
41	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-3) \circ T_c(k-2)$	1460	1288	2.72
42	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-4) \circ T_c(k-2)$	1446	1282	2.72
43	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T_c(k-3)$	1462	1288	2.71
44	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-3)$	1433	1277	2.69
45	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-3)$	1405	1266	2.68
46	$T(k) = R \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-3)$	1379	1255	2.67
47	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-3)$	1433	1277	2.69
48	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-3)$	1405	1266	2.68
49	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-3) \circ T_c(k-3)$	1447	1282	2.70
50	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-4) \circ T_c(k-3)$	1419	1271	2.69
51	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-1)$	1043	1081	2.47
52	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-4) \circ T_c(k-1)$	1036	1077	2.47

ตารางที่ 6.2-3 (ต่อ) ตารางแสดงค่าความผิดพลาดแบบต่างๆของโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีของกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีจำนวนฟัซซีเซตอ้างอิงเป็น 5

ลำดับที่	โครงสร้างแบบจำลองฟัซซี	ISE	IAE	Max. Error
53	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1028	1073	2.47
54	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1014	1066	2.47
55	$T(k) = R \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T_c(k-1)$	1021	1070	2.47
56	$T(k) = R \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	1000	1060	2.47
57	$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ T_c(k-1)$	756	922	2.47



รูปที่ 6.2-3 แสดงการจำลองกระบวนการโดยแบบจำลองฟัซซี ของกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

นำโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดที่ได้คือโครงสร้าง $T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T_c(k-1)$ และใช้จำนวนฟัซซีเซตอ้างอิง 5 เซต มาจำลองเพื่อดูการผลการตอบสนอง แบบจำลองฟัซซีที่ได้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2-2 เส้นปะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการจริง ส่วนเส้นทึบแสดงถึงการจำลองของแบบจำลองฟัซซี ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองฟัซซีได้สามารถจำลองกระบวนการจริงได้ใกล้เคียงกับกระบวนการ

จริงตลอดช่วงของกระบวนการ โดยที่ในช่วงที่กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วจะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3% ของอุณหภูมิจริง

6.3 การทดสอบการควบคุมกรณีต่างๆ

ทำการทดสอบการควบคุมของตัวควบคุม FIMC (Fuzzy Internal Model Controller) ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดของวิธีการควบคุมนี้ไว้ในบทที่ 3 แล้ว โดยให้ควบคุมกระบวนการในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย ในกรณีที่มีตัวรบกวนกระบวนการ กับการควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการที่มีการไหลเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น และการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการควบคุมของตัวควบคุมดังกล่าว โดยการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบต่างๆ

ตัวควบคุม FIMC ถูกนำมาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบดั้งเดิม และตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายใน (Internal Model Controller (IMC)) โดยที่แบบจำลองภายในที่ใช้ในในตัวควบคุม IMC นี้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการเดียวกับส่วนที่เป็นกระบวนการ ทั้ง 2 กระบวนการ ในการควบคุมกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งกำหนดให้ทำการควบคุมทุกๆ 1 วินาที ($DT=1 \text{ sec.}$) และกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง กำหนดให้ทำการควบคุมทุกๆ 0.01 นาที ($DT=0.01 \text{ min.}$)

สำหรับตัวควบคุม IMC เป็นกรณีที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นแบบจำลองเดียวกันกับแบบจำลองของกระบวนการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแบบจำลองยังคงเป็นแบบเดิม ดังนั้นการควบคุมกรณีนี้จะไม่มีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง (Modeling Error=0) แต่สำหรับกรณีที่มีการทดสอบการรบกวนกระบวนการ กรณีของกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวรบกวนที่ใช้เป็นตัวรบกวนกระบวนการคืออัตราการไหลเข้าของของเหลว F_{in} มีค่าเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป สำหรับกรณีของการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องนั้น ตัวรบกวนกระบวนการในที่นี้กำหนดให้เป็น อุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ T_f เปลี่ยนแปลง ซึ่ง T_f เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ T_f จะส่งผลให้พลวัตของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แบบจำลองภายในไม่ได้รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนนี้ ซึ่งจะส่งผลให้การจำลองของแบบจำลองภายในเกิดความคลาดเคลื่อน (Modeling Error) ได้ เพราะว่าแบบจำลองภายในที่ใช้ยังคงใช้อุณหภูมิขาเข้าของเครื่องปฏิกรณ์ T_f เป็นอุณหภูมิเดิมอยู่

การไหลของของเหลวแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยที่สมการทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอธิบายได้ด้วยสมการที่ (5.1-1) กำหนดให้ อัตราการไหลเข้าของของเหลว F_f เป็นอินพุทของกระบวนการ เป็นตัวแปรปรับซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลได้อยู่ช่วง 0 ถึง 15 หน่วยการไหล และความสูงของระดับของของเหลว h เป็นเอาต์พุทของกระบวนการ เป็นตัวแปรควบคุม ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงความสูงของ

ถึงไม่เกิน 120 เซนติเมตร ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายใน 2 ช่วงการปฏิบัติการเพื่อดูว่า ตัวควบคุมสามารถควบคุมในช่วงการปฏิบัติการที่กว้างได้หรือไม่

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ใช้กระบวนการที่มีการปฏิบัติการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.2 ควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้สารตั้งต้น A เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของสาร B ในความเข้มข้นที่ต้องการ โดยให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น T_c เป็นอินพุทของกระบวนการ คือเป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ กำหนดให้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 ลักษณะคือ ในช่วง 285-320 K และช่วง 285-310 K เพื่อดูว่า การควบคุมในสภาวะที่ตัวแปรปรับถูกจำกัดมากขึ้นการควบคุมจะยังสามารถทำได้ดีอยู่หรือไม่ และให้อุณหภูมิของสารภายในเครื่องปฏิกรณ์ T เป็นเอาต์พุทของกระบวนการ เป็นตัวแปรที่ต้องการควบคุม

สำหรับตัวควบคุมแบบดั้งเดิมที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบนั้นมีค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมดังนี้คือ ในกรณีของการควบคุมระดับนั้น ใช้เป็นตัวควบคุมพีไอ ที่มีค่า $K_c = 0.93$, $\tau_I = 76s$ และ กรณีการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องนั้น ใช้ตัวควบคุมพีไอดี โดยให้ค่า $K_c = 45$, $\tau_I = 0.1m$, $\tau_D = 0.05m$ ทำการปรับจูนตัวควบคุมด้วยวิธีการตามภาคผนวก ข.

6.3.1 การทดสอบกรณีที่ค่าเป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ

6.3.1.1 การควบคุมระดับของกระบวนการที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น

สำหรับกรณีที่ค่าเป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพหลายๆครั้ง จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายใน 2 ช่วงด้วยกันเพื่อให้เห็นว่าการควบคุมสามารถทำให้ในช่วงปฏิบัติการที่กว้างคือ จากระดับความสูงที่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่ด้านล่างของถัง ที่ความสูง 10 เซนติเมตร ไปเป็น 15 เซนติเมตร ที่เวลาเริ่มต้น, เปลี่ยนกลับมาเป็น 10 เซนติเมตร ที่เวลา 201 วินาที, เปลี่ยนเป็น 15 เซนติเมตร ที่เวลา 401 วินาที และเปลี่ยนกลับมาเป็น 10 เซนติเมตร ที่เวลา 601 วินาที ทำการทดลองไปจนถึงเวลา 800 วินาที

และช่วงที่ 2 ทำการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายเป็นบริเวณด้านบนของถัง จากระดับความสูงที่สภาวะคงตัว (Steady State) 80 เซนติเมตร ไปเป็น 75 เซนติเมตร ที่เวลาเริ่มต้น, เปลี่ยนกลับมาเป็น 80 เซนติเมตร ที่เวลา 201 วินาที, เปลี่ยนเป็น 75 เซนติเมตร ที่เวลา 401 วินาที และเปลี่ยนกลับมาเป็น 80 เซนติเมตร ที่เวลา 601 วินาที ทำการทดลองไปจนถึงเวลา 800 วินาที ผลการควบคุมดังที่ 6.3-1 และ ตารางที่ 6.3-2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.3-1 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ปใน (10-15 cm)

ตัวควบคุม	ISE	IAE	รูปที่
PI ($K_c=0.93, \tau_1 = 76s$)	567.3000	228.9778	6.4-1
IMC (H=1)	348.2549	100.5674	6.4-3
IMC (H=2)	398.1133	118.2236	6.4-4
FIMC (H=1)	459.1890	134.6285	6.4-7
FIMC (H=2)	856.5007	610.8857	6.4-8

ตารางที่ 6.3-2 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ปใน (75-80 cm)

ตัวควบคุม	ISE	IAE	รูปที่
PI ($K_c=0.93, \tau_1 = 76s$)	556.7971	269.3144	6.4-2
IMC (H=1)	279.2261	78.7909	6.4-5
IMC (H=2)	279.5073	80.3277	6.4-6
FIMC (H=1)	290.7492	83.2	6.4-9
FIMC (H=2)	306.5220	248.2734	6.4-10

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6.3-1 ตารางที่ 6.3-2 และ รูปประกอบต่างๆที่ระบุไว้ในตาราง จะเห็นได้ว่า การควบคุมแบบฐานแบบจำลองคือ IMC และ FIMC นั้นสามารถควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิมเนื่องจากมีค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด และถ้าดูจากรูปต่างๆที่แสดงผลการควบคุมจะเห็นได้ว่าทั้งการควบคุมแบบ IMC และ FIMC สามารถทำให้ตัวแปรควบคุมเข้าสู่เป้าหมายได้ในเวลาที่รวดเร็วกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมแบบดั้งเดิมนั้นอาศัยหลักการลดค่าความผิดพลาดของการควบคุมตามแกนสัดส่วนของตัวควบคุม ส่วนการควบคุมแบบฐานแบบจำลองนั้นควบคุมโดยการทำนายให้ตัวแปรปรับเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในอนาคต

สำหรับการเพิ่ม Prediction Horizon (H) นั้นเป็นการกำหนดให้ตัวแปรปรับเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่เวลาในอนาคตนั้นๆ จะเห็นว่าการกำหนดค่า H ที่เพิ่มขึ้นมีข้อดีสำหรับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง เนื่องจากจะสามารถช่วยให้ระบบค่อยๆ เคลื่อนไปสู่ค่าเป้าหมายโดยไม่เกิดการกระชากหรือการแกว่งที่รุนแรง แต่สำหรับการควบคุมแบบฐานแบบจำลองที่ใช้แบบจำลองที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนในการจำลองอยู่นั้น การเพิ่ม Prediction Horizon ให้มากขึ้นจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำนายผลในอนาคตที่สะสม ซึ่งส่งผลให้เกิดออฟเซ็ทขึ้นในการควบคุม ดังนั้นในกรณีของการควบคุมกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ เป็นกระบวนการที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นที่สูงนัก การใช้ Prediction Horizon = 1 นั้นเพียงพอ และไม่ทำให้เกิด

ออฟเซ็ทในการควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ตัวแปรปรับสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้โดยไม่เกิดการแกว่งหรือเกิดลักษณะของการกระชากเลย

6.3.1.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

โดยสมมติให้กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายใน 2 ช่วง คือ 350-340 และ 350-345 ดังต่อไปนี้คือที่เวลา 0 จากอุณหภูมิที่สภาวะคงตัว 350 องศาเซลเซียส เปลี่ยนเป็น 340 องศาเซลเซียสและที่เวลาหลังจาก 5 นาที เปลี่ยนค่าเป้าหมายกลับมาเป็น 350 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเวลาหลัง 10 นาที เปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเป็น 340 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนกลับมาที่ 350 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที ควบคุมต่อไปจนครบ 20 นาที และอีกช่วงการควบคุมหนึ่ง คือ 350-345 ดังต่อไปนี้คือที่เวลา 0 จากอุณหภูมิที่สภาวะคงตัว 350 องศาเซลเซียส เปลี่ยนเป็น 345 องศาเซลเซียสและที่เวลาหลังจาก 5 นาที เปลี่ยนค่าเป้าหมายกลับมาเป็น 350 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นที่เวลาหลัง 10 นาที เปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเป็น 345 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนกลับมาที่ 350 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที ควบคุมต่อไปจนครบ 20 นาที เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 6.3-3 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องกรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสแต็ปใน (350 345)

ตัวควบคุม	ISE	IAE	รูปที่
PID $T_c=[285,320]$	1171	447.6	6.4-11ก
PID $T_c=[285,310]$	∞	∞	6.4-11ข
IMC (H=1) $T_c=[285,320]$	462.5425	132.5824	6.4-12ก
IMC (H=1) $T_c=[285,310]$	659.2169	186.5739	6.4-12ข
FIMC (H=1) $T_c=[285,320]$	655.7974	245.8737	6.4-13ก
FIMC (H=1) $T_c=[285,310]$	636.4418	314.2831	6.4-13ข
IMC (H=2) $T_c=[285,310]$	659.1275	186.8145	6.4-14
FIMC (H=2) $T_c=[285,310]$	676.4014	383.1386	6.4-15

ตารางที่ 6.3-4 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องกรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ปใน (350-340)

ตัวควบคุม	ISE	IAE	รูปที่
IMC (H=1)	5203.6	722.1672	6.4-16
IMC (H=2)	5200.3	721.7745	6.4-17
FIMC (H=1)	5213.4	759.1072	6.4-18
FIMC (H=2)	5332.5	914.3975	6.4-19

จากตารางที่ 6.3-3 และตารางที่ 6.3-4 และรูปแสดงผลการควบคุมต่างๆ จะเห็นได้ว่า การควบคุมแบบ IMC และ FIMC สามารถควบคุมได้ดีกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม PID โดยที่การควบคุมแบบ IMC และ FIMC นั้นให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่ากระบวนการเครื่องปฏิกรณ์แบบถึงกวนต่อเนื่องที่ใช้ในการงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางพลวัตสูง โดยเฉพาะที่บริเวณการปฏิบัติการที่อุณหภูมิสูง และในช่วงการปฏิบัติการที่อุณหภูมิลดลงของสารเพิ่มขึ้นหรืออุณหภูมิลดลงของสารเพิ่มขึ้นนั้น อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสูงกว่าเป็นสัดส่วนที่สูงมากทำให้การควบคุมเป็นไปได้ยากเพราะมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ยิ่งถ้าต้องการทำให้อุณหภูมิลดลงของสารเปลี่ยนจาก 340 K ไปเป็น 350 K ก็เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลดลงของสารในเครื่องปฏิกรณ์ที่สูงกว่า การเปลี่ยนอุณหภูมิลดลงของสารในเครื่องปฏิกรณ์จาก 345 K ไปเป็น 350 K

การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมสามารถทำได้ในกรณีที่ตัวแปรปรับสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วง 285 K ถึง 320 K สำหรับการควบคุมในช่วงที่ตัวแปรปรับถูกจำกัดมากขึ้น คือให้ตัวแปรปรับเปลี่ยนแปลงในช่วง 285 K ถึง 310 K นั้น พบว่าการควบคุมแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่การควบคุมแบบ FIMC และ IMC ยังคงสามารถควบคุมได้ดีกว่าแม้ว่าตัวแปรปรับจะถูกจำกัดมากขึ้น

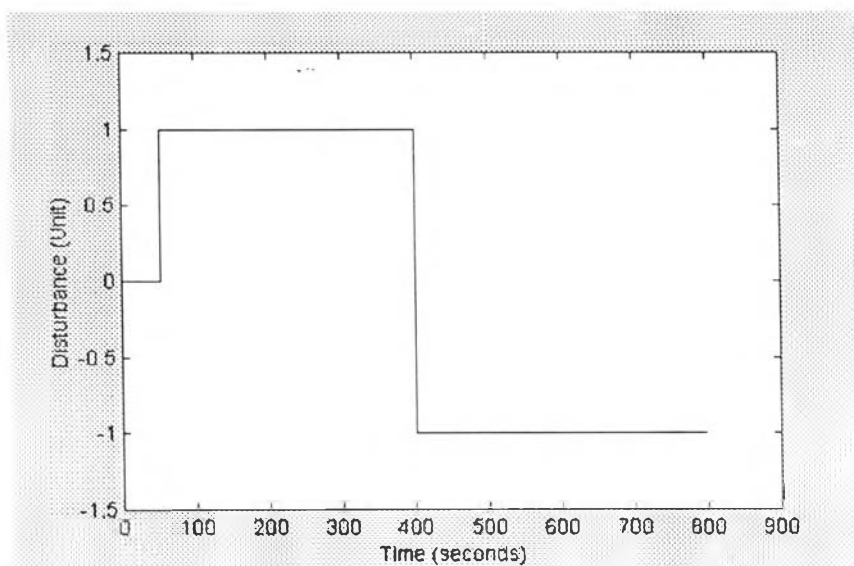
ดังนั้นในการควบคุมในช่วงที่กว้างขึ้นจึงไม่ได้นำเอาตัวควบคุมแบบดั้งเดิมมาเปรียบเทียบกับ แต่จะทำการเปรียบเทียบเฉพาะตัวควบคุม IMC และ FIMC สำหรับการควบคุมในช่วง 340 K ถึง 350 K ซึ่งการควบคุมแบบ IMC ซึ่งใช้แบบจำลองภายในเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เดียวกับแบบจำลองที่ใช้ในกระบวนการ เป็นกรณีที่ดีได้ว่าแบบจำลองไม่มีความคลาดเคลื่อนในการจำลองอยู่เลย จากผลการควบคุมพบว่า การควบคุมแบบ FIMC และ IMC นั้นให้ผลใกล้เคียงกันในกรณีที่ Prediction Horizon (H) เป็น 1 และในกรณีที่ H เพิ่มขึ้นเป็น 2 การควบคุมแบบ FIMC เกิดค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดมากกว่าการควบคุมแบบ IMC มากและเกิดออฟเซ็ทเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสะสมในการทำนายผลล่วงหน้า ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.4-16 ถึง 6.4-19

การควบคุมแบบ IMC ที่ทำในงานวิจัยนี้ ถ้านำไปใช้ในกระบวนการจริง ซึ่งจะมีทั้งตัวรบกวน สัญญาณรบกวนและพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันไม่สามารถจำลองได้เหมือนกระบวนการจริง ในขณะที่แบบจำลองพีซีซีนั้นใช้ข้อมูลอินพุทเอาท์พุทของกระบวนการมาสร้างเป็นแบบจำลองซึ่งข้อมูลนี้ได้รวมเอาผลของตัวรบกวน สัญญาณรบกวนและพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเอาไว้แล้ว จึงน่าจะมีความแม่นยำมากกว่าในการใช้ควบคุมจริง

6.3.2 การทดสอบกรณีที่มีตัวรบกวนกระบวนการ

6.3.2.1 การควบคุมระดับของของเหลวของกระบวนการที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น

สำหรับ กรณีที่ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป ให้มีกระแสไหลเข้าเป็นตัวรบกวน FiD จากสภาวะเริ่มต้น ระดับความสูงที่สภาวะคงตัว (Steady State) 2 สภาวะคือที่ความสูง 10 เซนติเมตร และ 80 เซนติเมตร มีอัตราการไหลเข้าของกระแส FiD เป็น 0 หน่วย จากนั้นเป็น 1 หน่วย ที่เวลา 51 วินาที, เปลี่ยนเป็น 1 หน่วย ที่เวลา 401 วินาที ไปจนถึงวินาที ที่ 900 ดังรูปที่ 6.3-1 ได้ผลการควบคุมแสดงดังตารางที่ 6.3-5



รูปที่ 6.3-1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนกระบวนการที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 6.3-5 ผลการควบคุมระดับของของเหลว กรณีที่ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป
ที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตร

ตัวควบคุม	ISE	IAE	Max.Err.	รูปที่
PI ($K_c=0.93, \tau_1 = 76s$)	187.7395	242.5767	1.5352	6.4-20
IMC (H=1)	7.5132	75.1347	0.1019	6.4-22
IMC (H=2)	20.5467	124.0851	0.1666	6.4-23
FIMC (H=1)	6.3210	68.8305	0.2468	6.4-26
FIMC (H+2)	1548.6	1107.1	1.6673	6.4-27

ตารางที่ 6.3-6 ผลการควบคุมระดับของของเหลวต่อกรณีตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบแบบสเต็ป
ที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตร

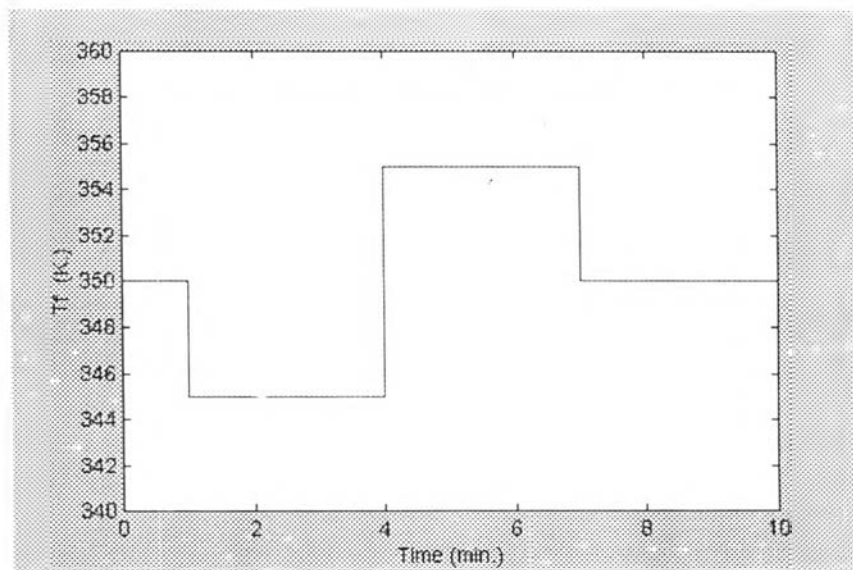
ตัวควบคุม	ISE	IAE	Max.Err.	รูปที่
PI ($K_c=0.93, \tau_1 = 76s$)	208.2608	243.4336	1.6656	6.4-21
IMC (H=1)	7.5107	75.1218	0.1016	6.4-24
IMC (H=2)	20.7282	124.6290	0.1675	6.4-25
FIMC (H=1)	7.6281	75.5499	0.3452	6.4-28
FIMC (H=2)	62.3186	187.4519	0.4018	6.4-29

จากตารางแสดงผลการทดสอบและรูปต่างๆ จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ IMC และ FIMC นั้นให้ผลการควบคุมตัวแปรปรับให้อยู่ในค่าเป้าหมายที่ดีกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม เนื่องจากทำให้ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดที่ต่ำกว่ามาก และถ้าดูจากรูปแสดงผลการควบคุมจะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบฐานแบบจำลองนั้นสามารถทำให้ตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในเวลาที่รวดเร็วกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิมมาก

การที่มีตัวรบกวนกระบวนการมีผลทำให้แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองภายในนั้นเกิดความคลาดเคลื่อนได้ทั้งตัวควบคุม IMC และ FIMC และส่งผลให้เกิดออฟเซ็ทด้วยเช่นกัน สำหรับการเพิ่ม Prediction Horizon สำหรับกระบวนการนี้ การควบคุมแบบ FIMC ให้ผลการควบคุมที่แย่นี้อาจเกิดจากความผิดพลาดสะสม ประกอบกับโครงสร้างของแบบจำลองฟิชซีที่ใช้เป็นโครงสร้างที่ไม่ได้รวบเอาอินพุทย้อนหลังที่เวลาผ่านไปเอาไว้มีผลทำให้แบบจำลองฟิชซีไม่สามารถทำนายผลล่วงหน้าได้

6.3.2.2 การควบคุมระดับอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถึงกวนต่อเนื่อง

ทำการทดสอบโดยให้ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ ในที่นี้กำหนดให้อุณหภูมิขาเข้าของสารตั้งต้น T_i เป็นตัวรบกวนกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ จากสภาวะเริ่มต้น ที่เวลา 0 นาทีเป็น 350 K จากนั้นเป็น 345 K ที่เวลา 1 นาที, เปลี่ยนเป็น 355 K เวลา 4 นาที และเปลี่ยนกลับมาเปลี่ยน 350 K ที่เวลา 7 นาที ไปจนครบ 10 นาที ดังรูปที่ 6.3-2 ได้ผลการควบคุมแสดงดังตารางที่ 6.3-7



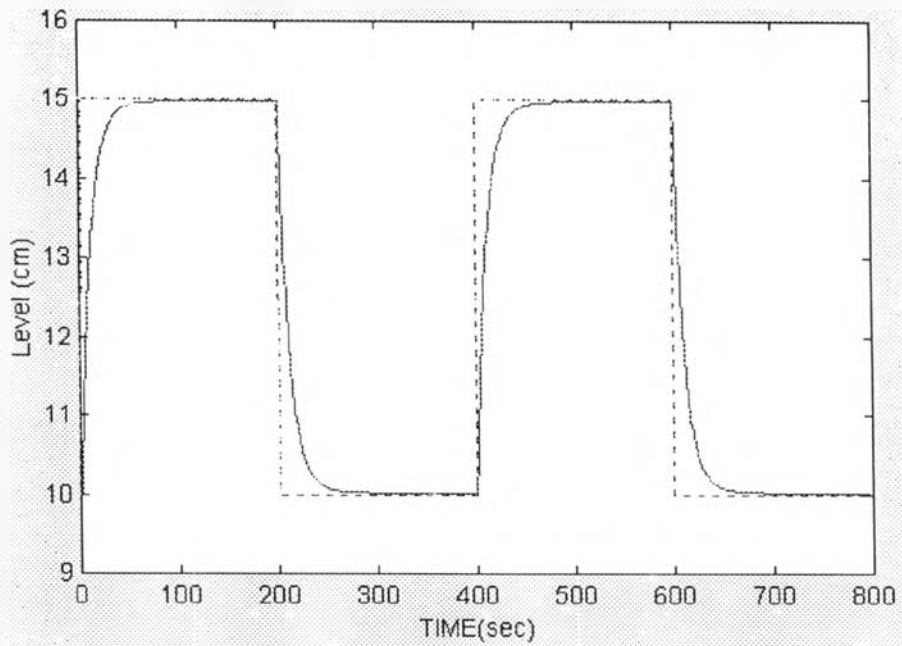
รูปที่ 6.3-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาเข้า T_i ที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 6.3-7 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องกรณีมีการตัวรบกวนกระบวนการ ที่อุณหภูมิ 350 K

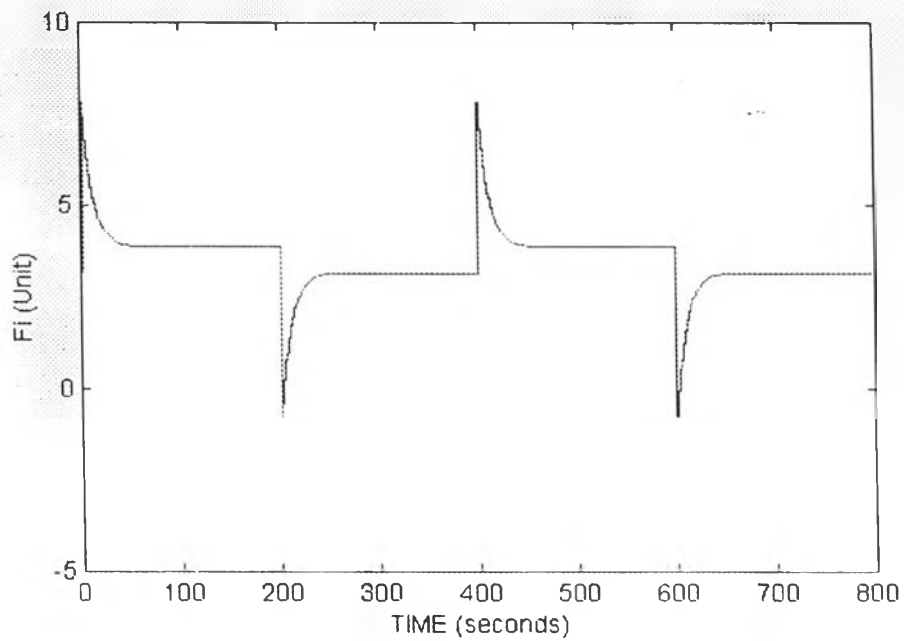
ตัวควบคุม	ISE	IAE	Max.Err	รูปที่
PID	0.1014	2.1251	0.1008	6.4-30
IMC (H = 1)	1.5040	30.1014	0.0695	6.4-31
IMC (H = 2)	1.4855	30.4175	0.0544	6.4-32
FIMC (H = 1)	2.0858	19.6447	0.3397	6.4-33
FIMC (H = 2)	12.0240	106.5602	0.4030	6.4-34

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้เช่นเดียวกับกรณีของกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น คือมีความผิดพลาดสะสม ในกรณีที่ Prediction Horizon เพิ่มขึ้น แต่มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าเนื่องจาก โครงสร้างของแบบจำลองฟuzzyสำหรับกระบวนการนี้มีการใช้ค่าอินพุตย้อนหลังไป 3 ค่า ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติในการทำนายผลล่วงหน้าได้จากค่าอินพุตที่ใช้สำหรับแบบจำลองฟuzzy

6.4.1 การควบคุมกรณีเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย สำหรับกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น



(a)

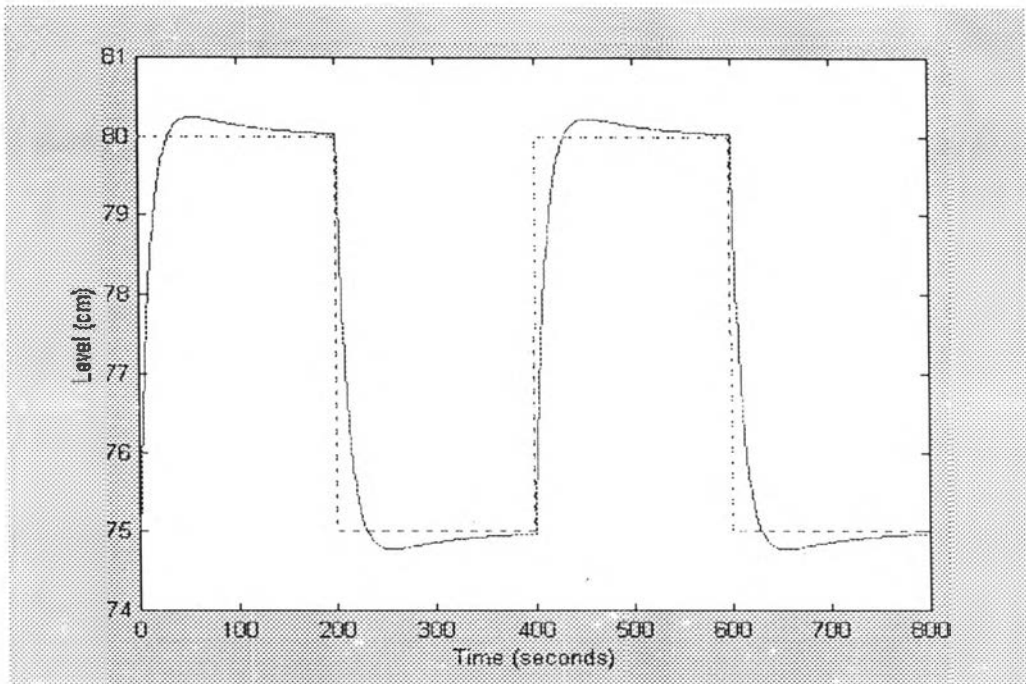


(b)

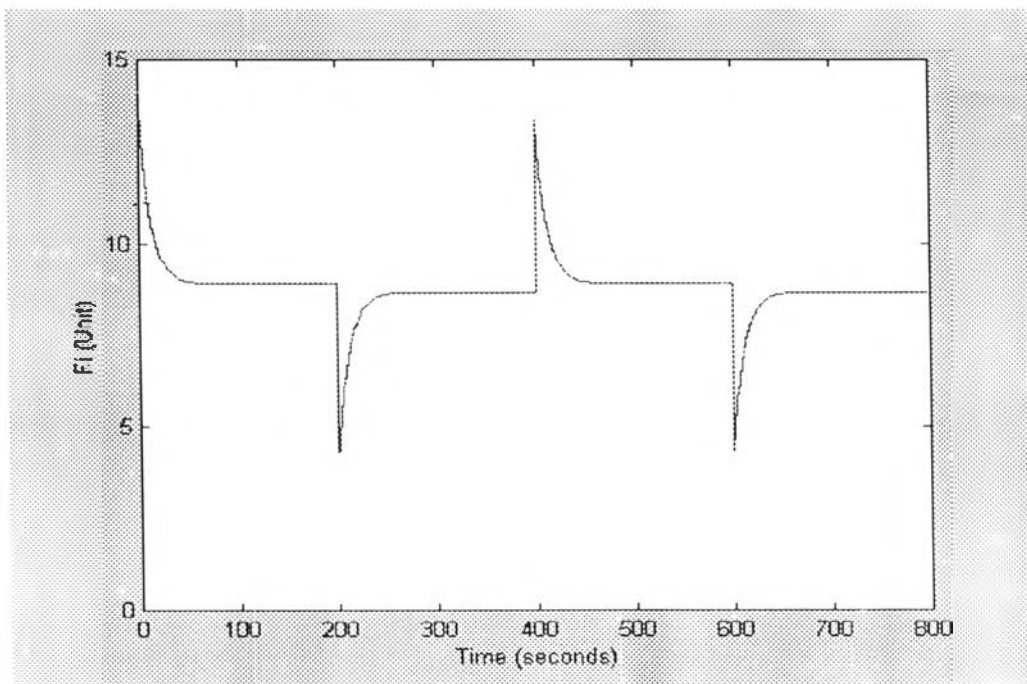
รูปที่ 6.4-1 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในช่วงปฏิบัติการต่ำ

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)

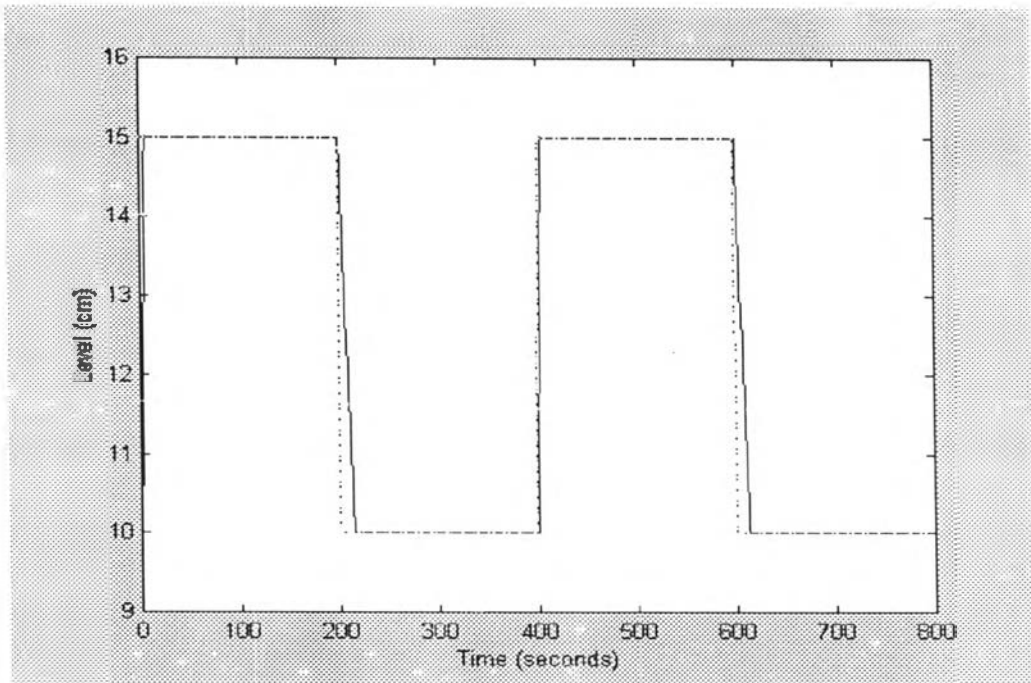


(b)

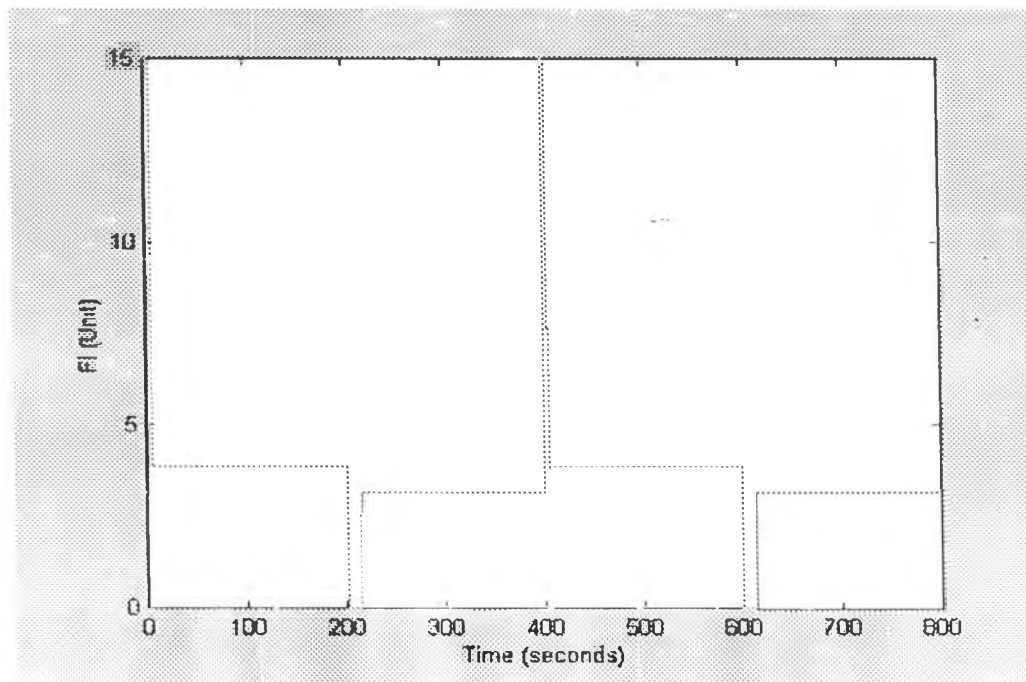
รูปที่ 6.4-2 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายในระดับสูง

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



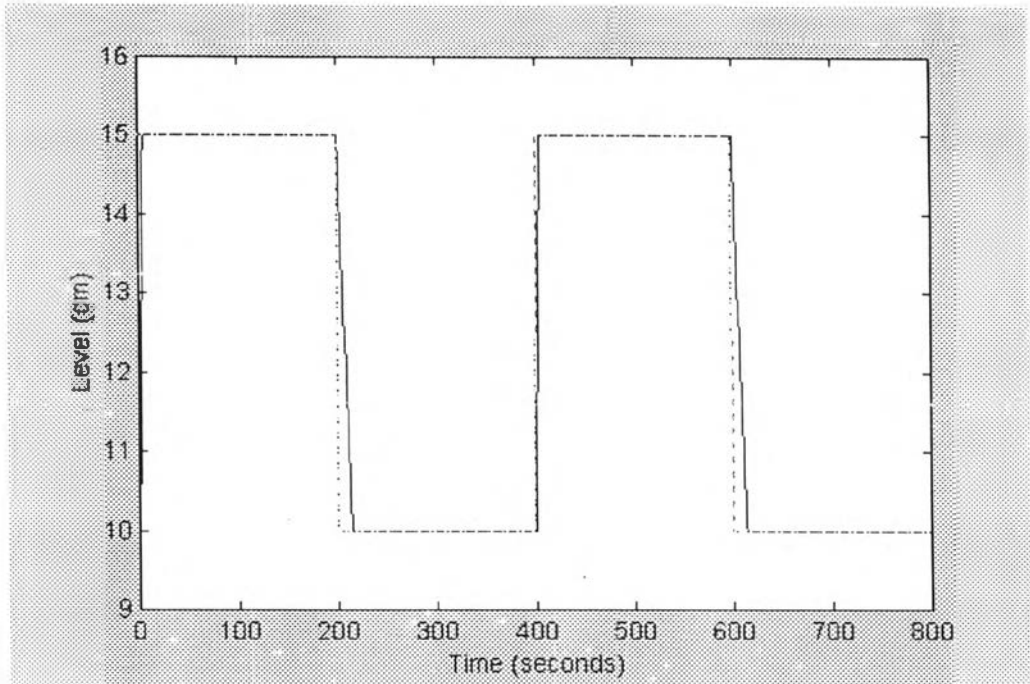
(a)



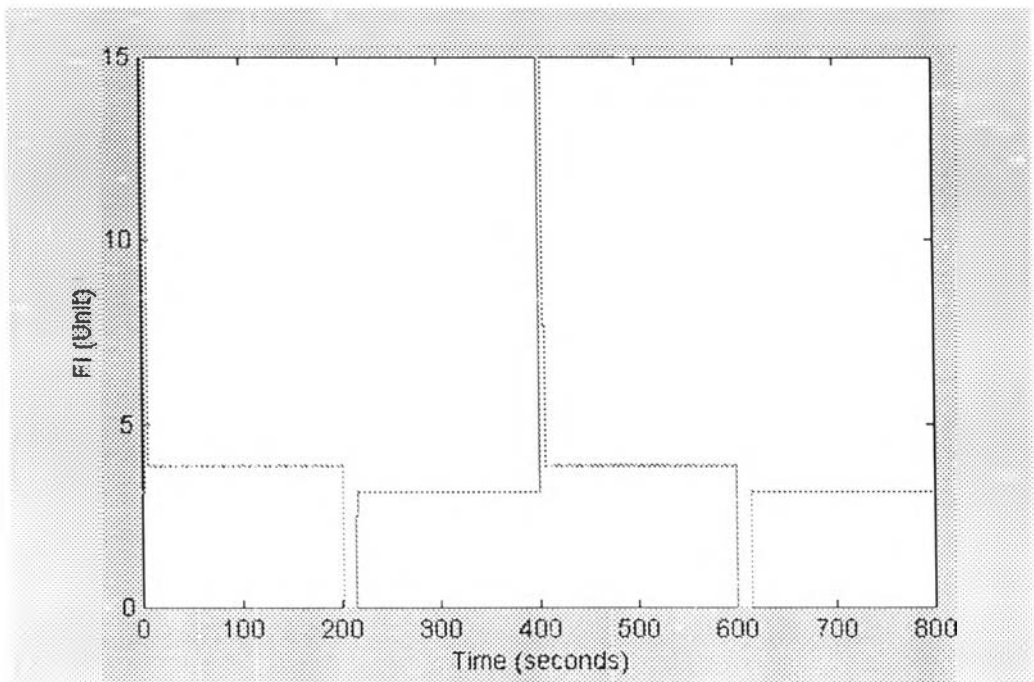
(b)

รูปที่ 6.4-3 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)

a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ

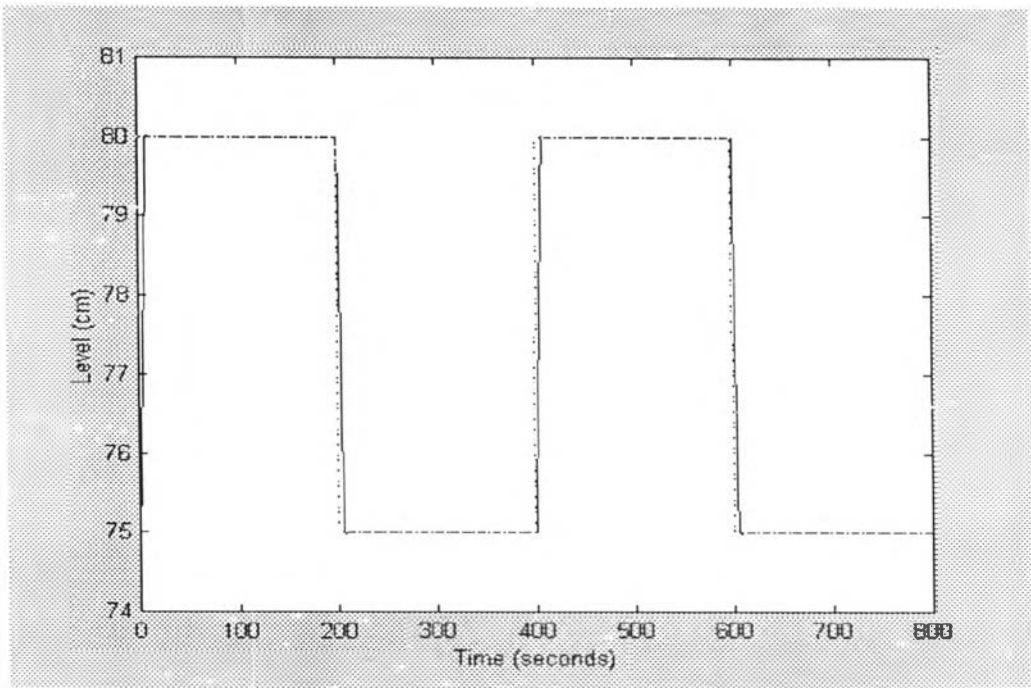


(a)

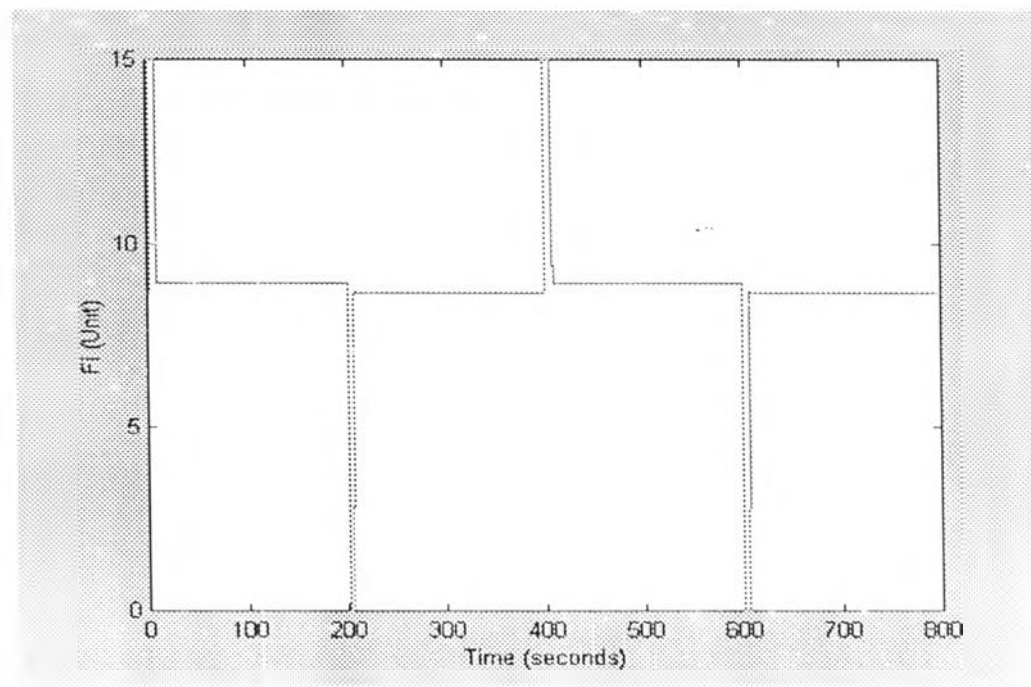


(b)

รูปที่ 6.4-4 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ



(a)

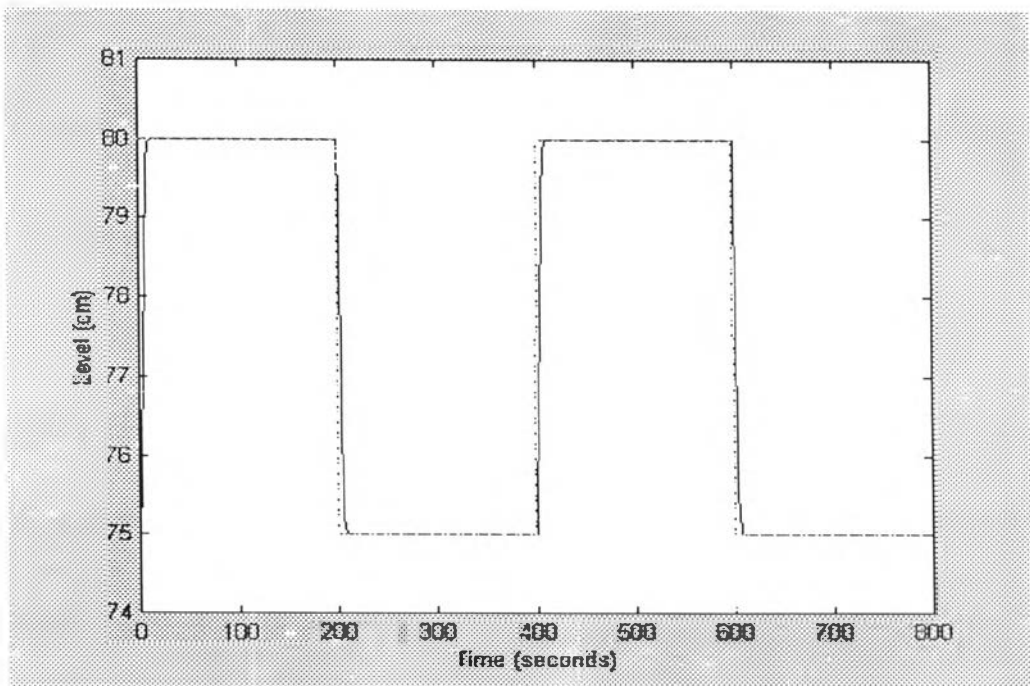


(b)

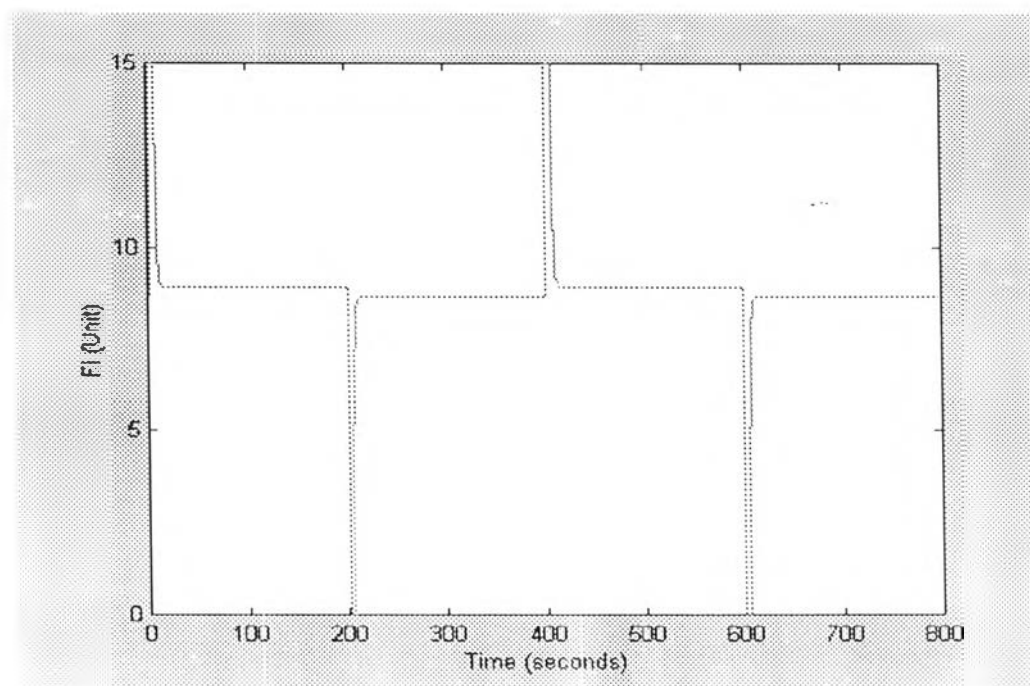
รูปที่ 6.4-5 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ

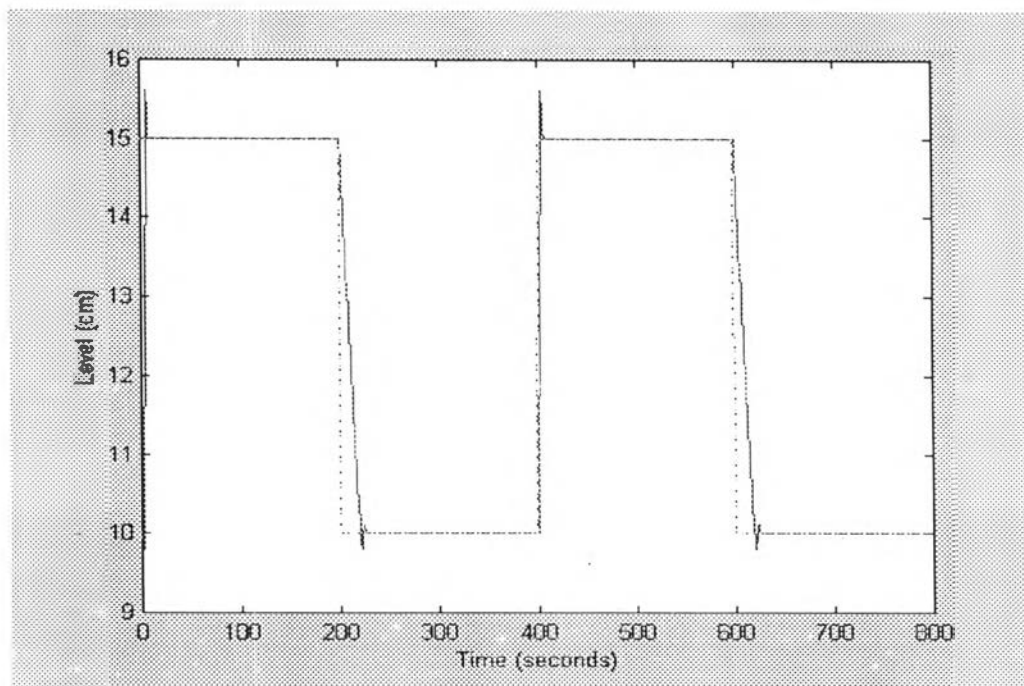


(a)

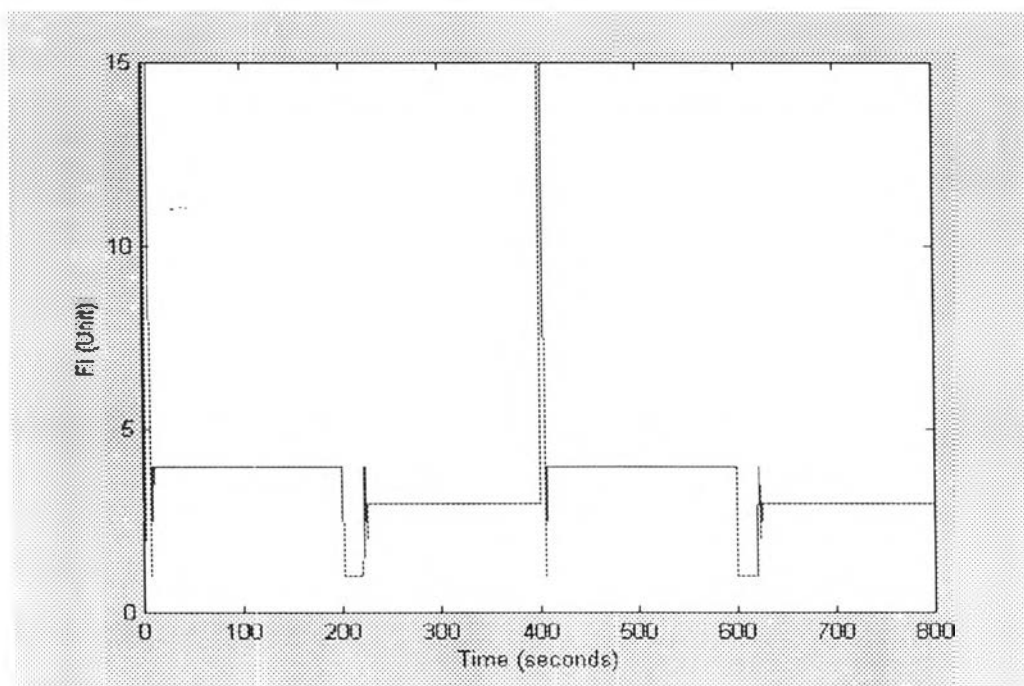


(b)

รูปที่ 6.4-6 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น
ด้วยตัวควบคุม IMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)
a.) ตัวแปรควบคุม b.) ตัวแปรปรับ



(a)



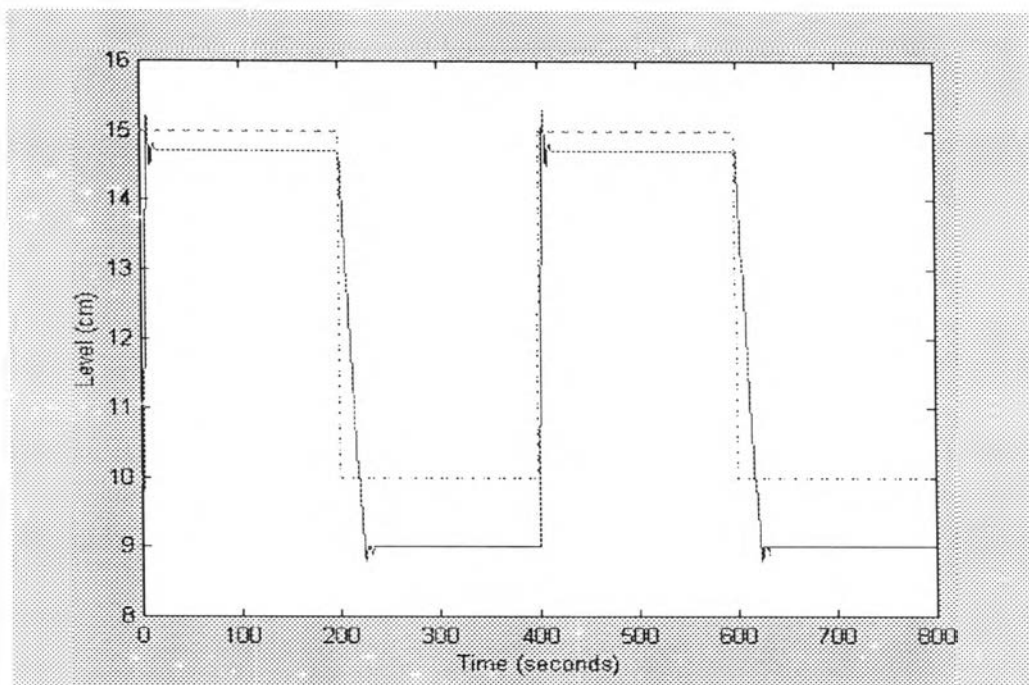
(b)

รูปที่ 6.4-7 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

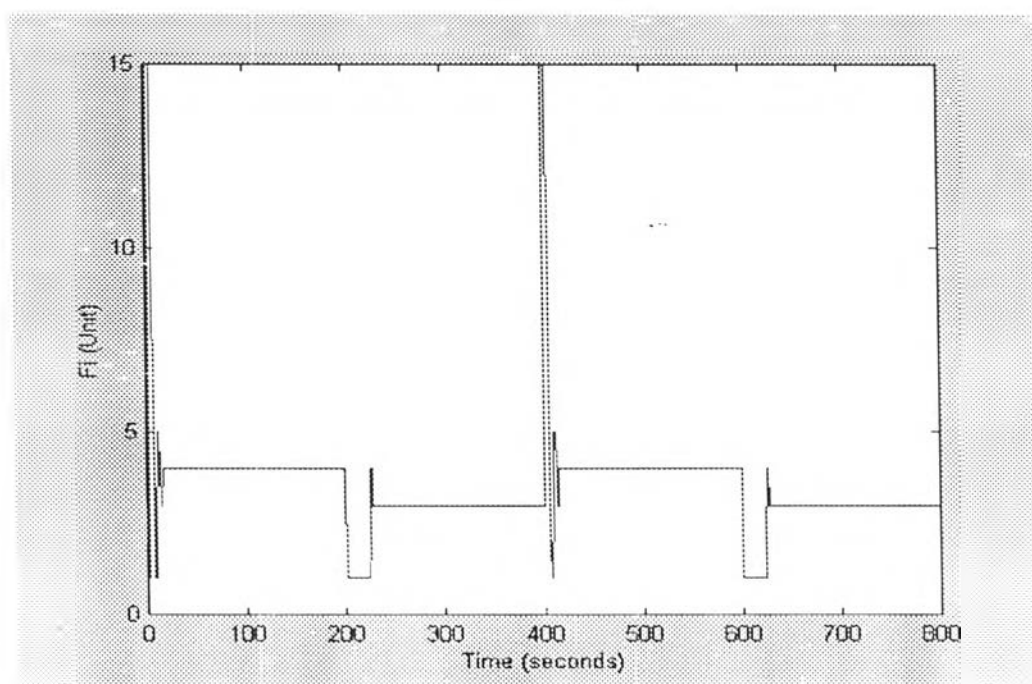
FIMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



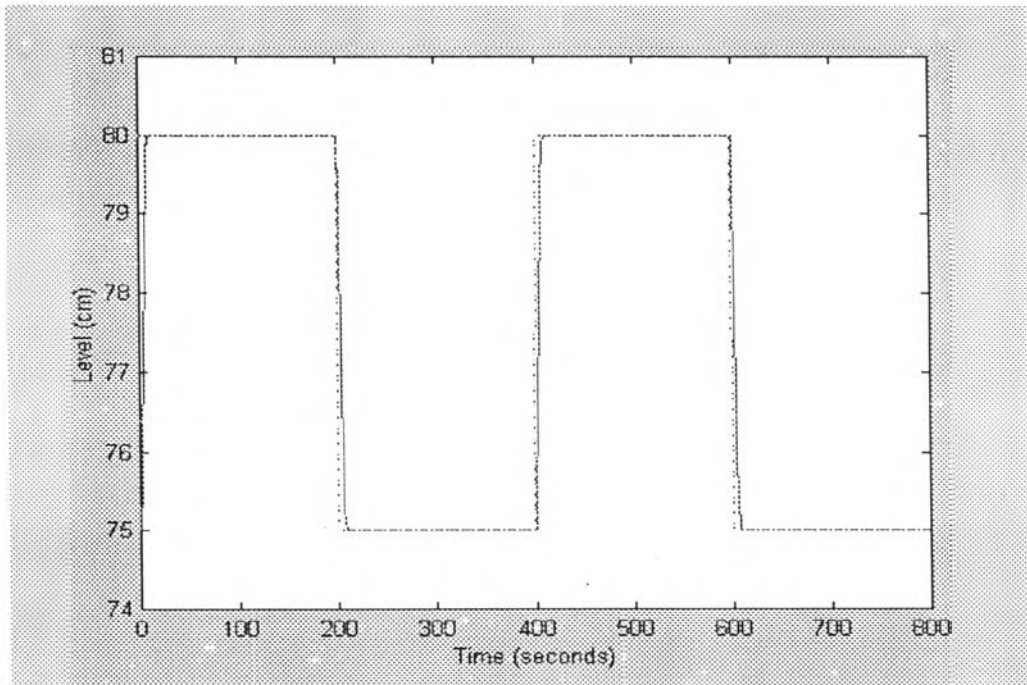
(b)

รูปที่ 6.4-8 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

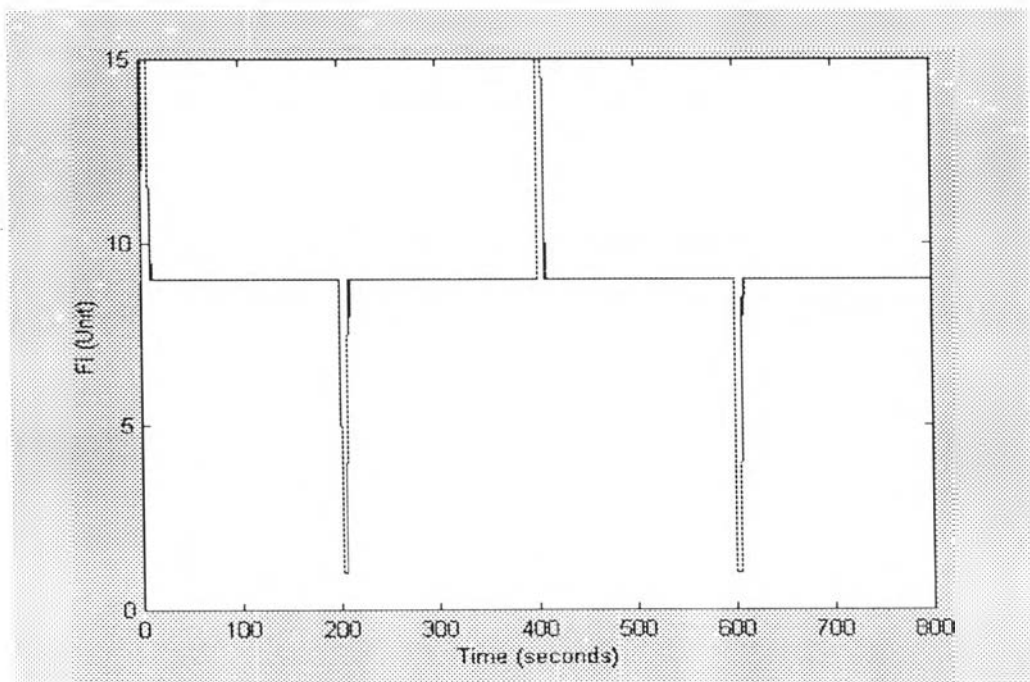
FIMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (10-15 cm)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



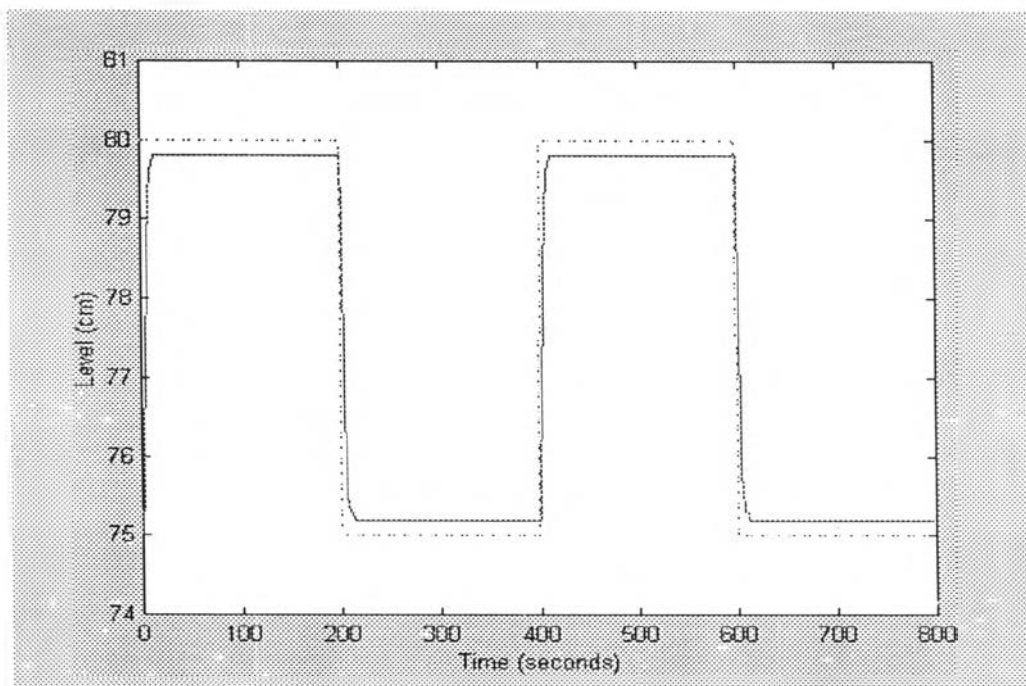
(b)

รูปที่ 6.4-9 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

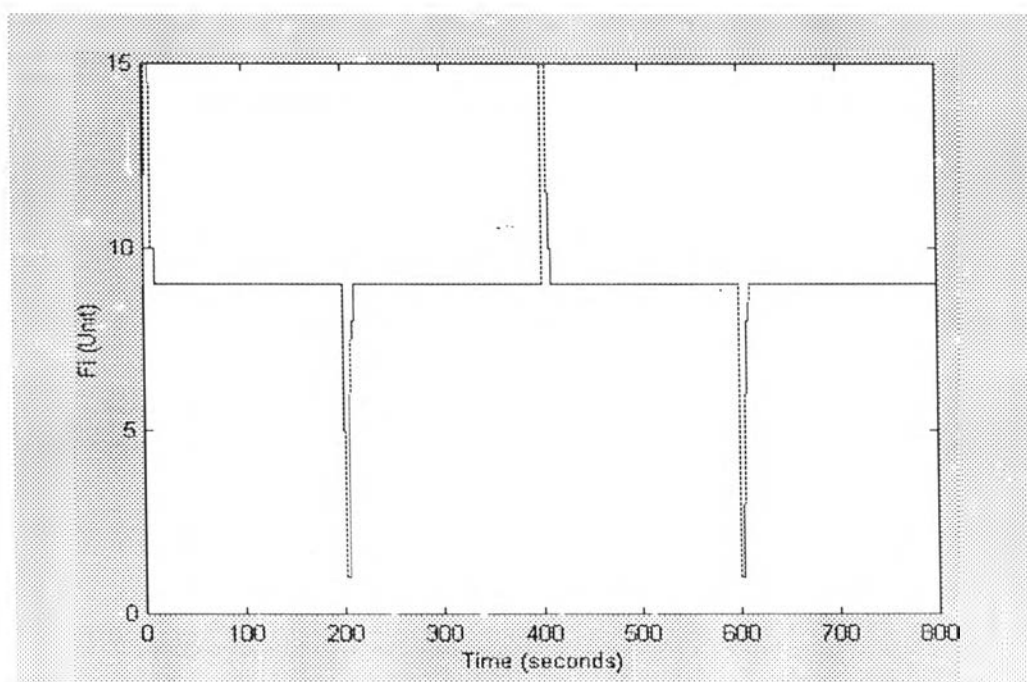
FIMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



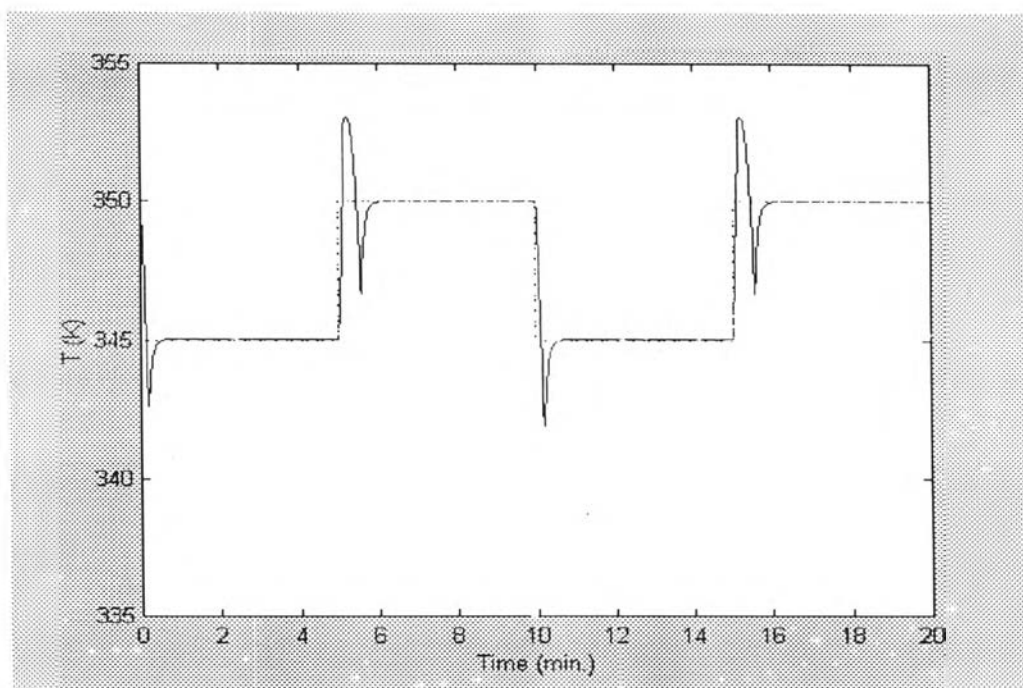
(b)

รูปที่ 6.4-10 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม FIMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (75-80 cm)

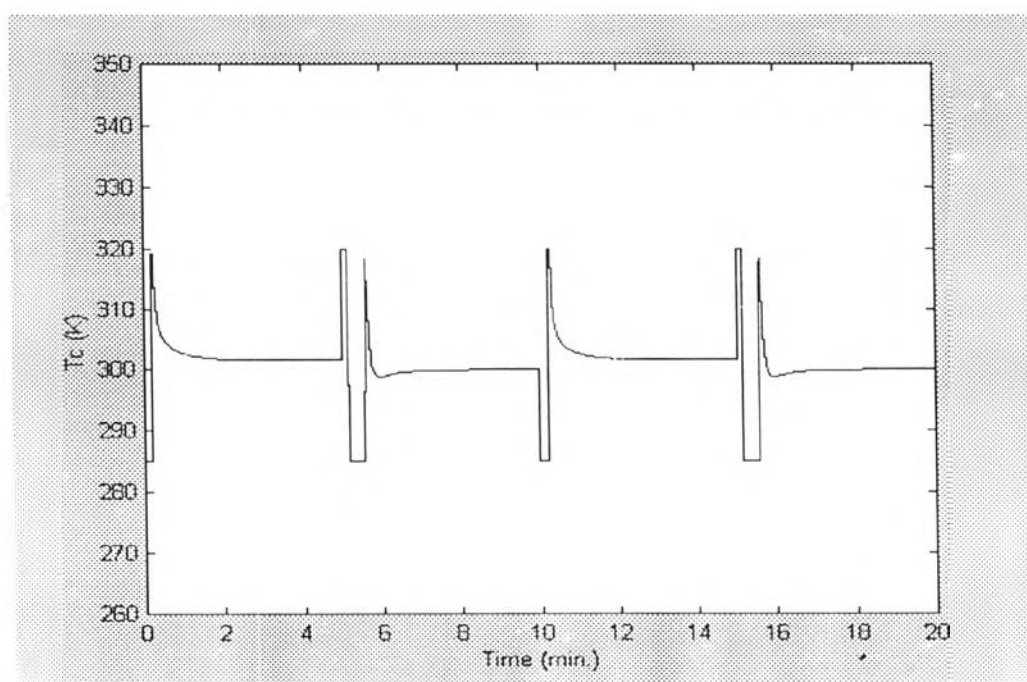
a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ

6.4.2 การควบคุมกรณีเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย สำหรับกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง



(a)



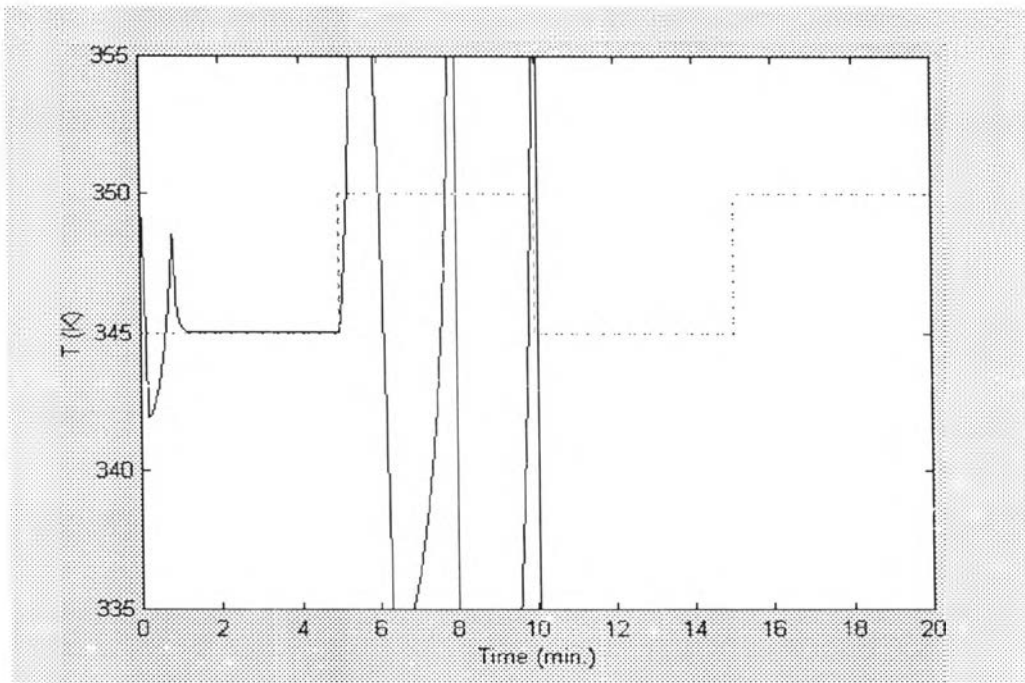
(b)

รูปที่ 6.4-11ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุมพีไอดี

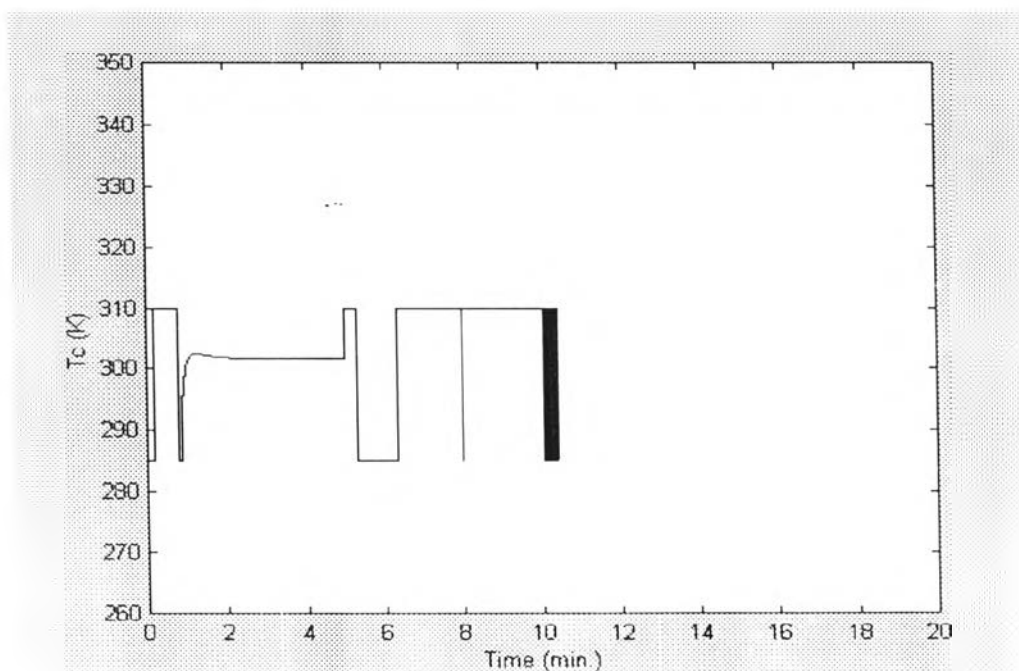
กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285, 320]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)

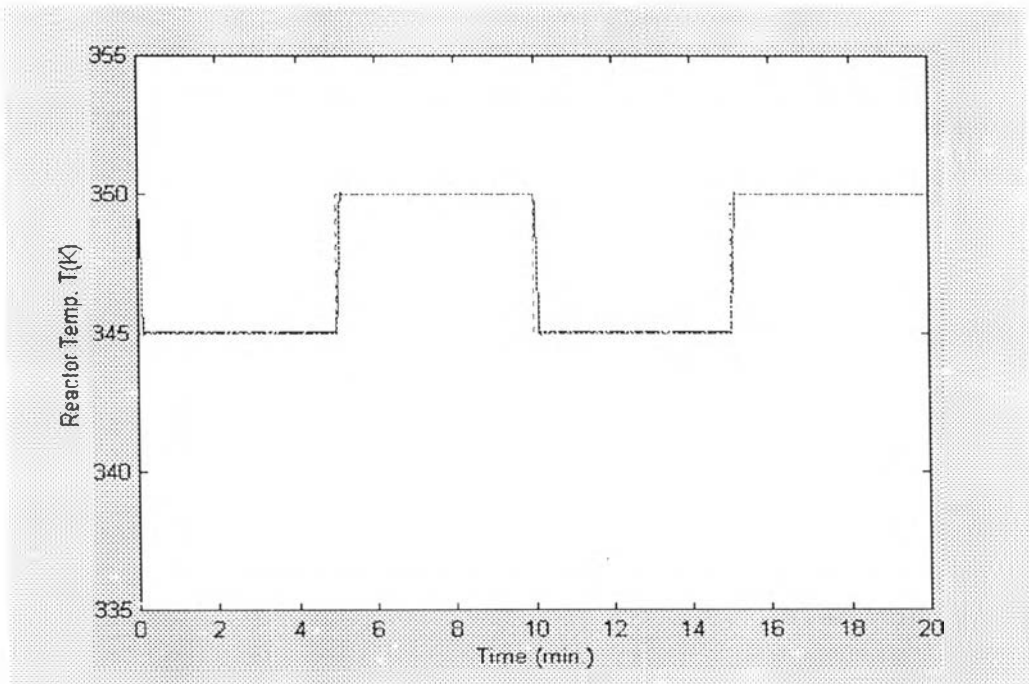


(b)

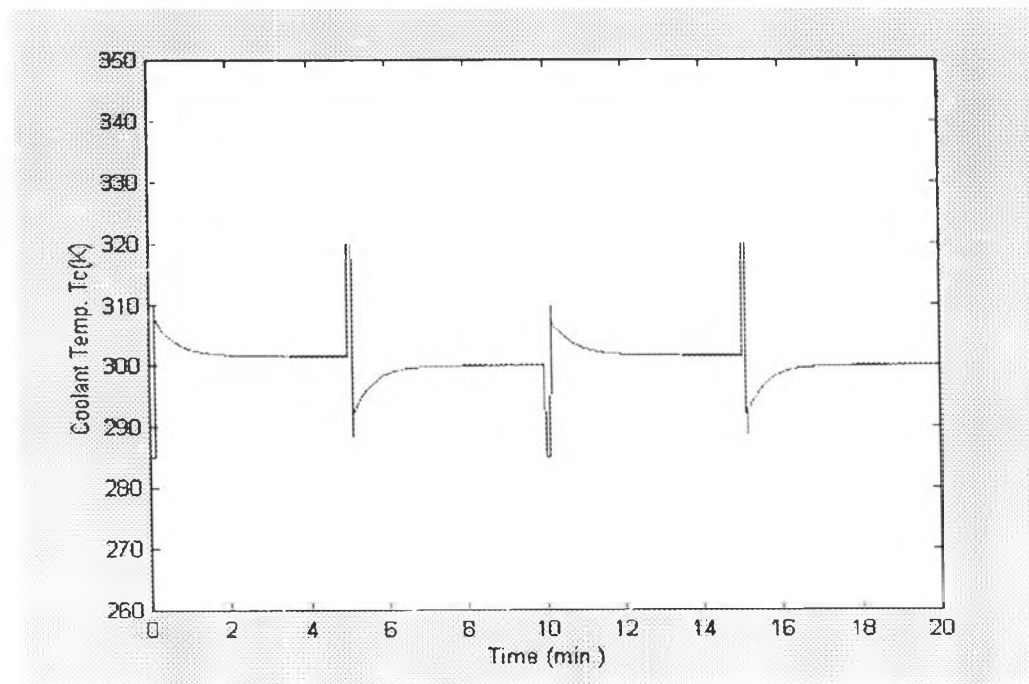
รูปที่ 6.4-11ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุมพีไอดี กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285, 310]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



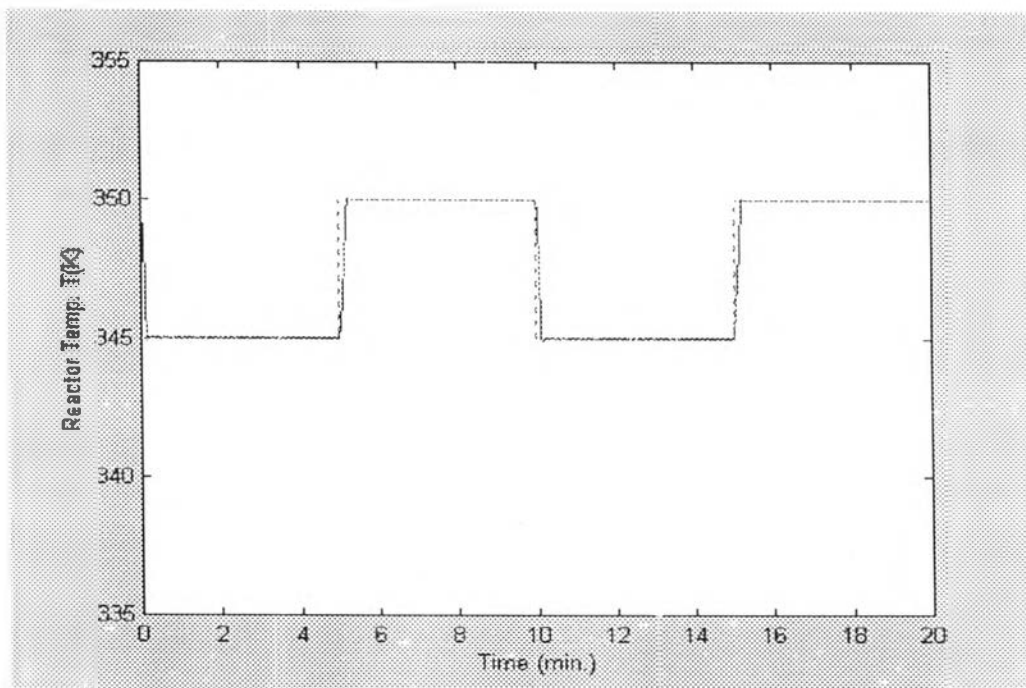
(b)

รูปที่ 6.4-12ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

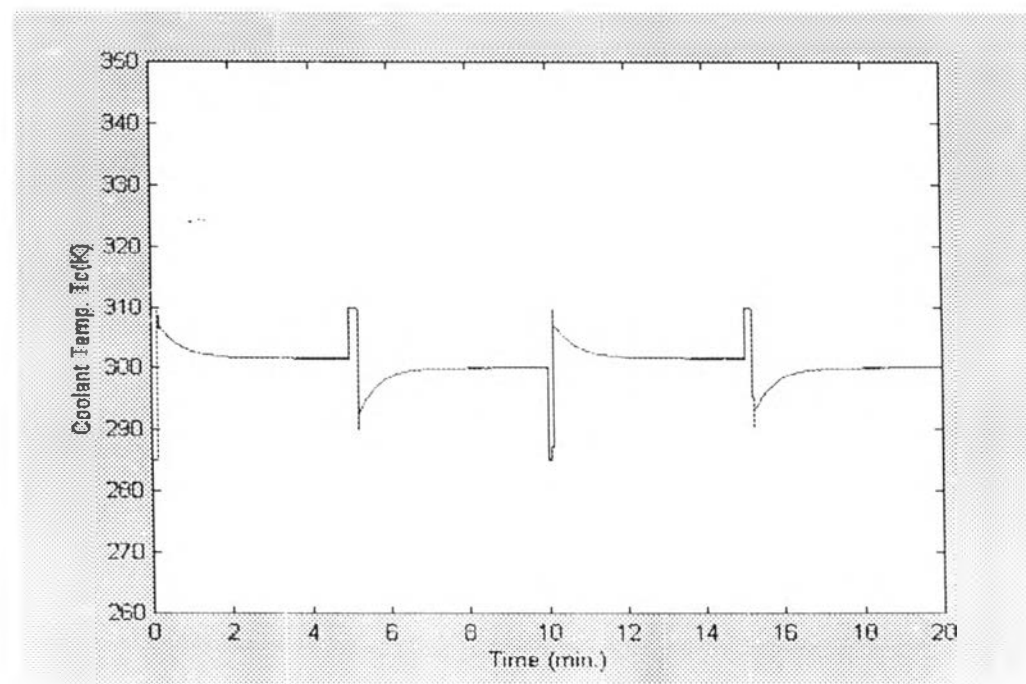
IMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,320]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



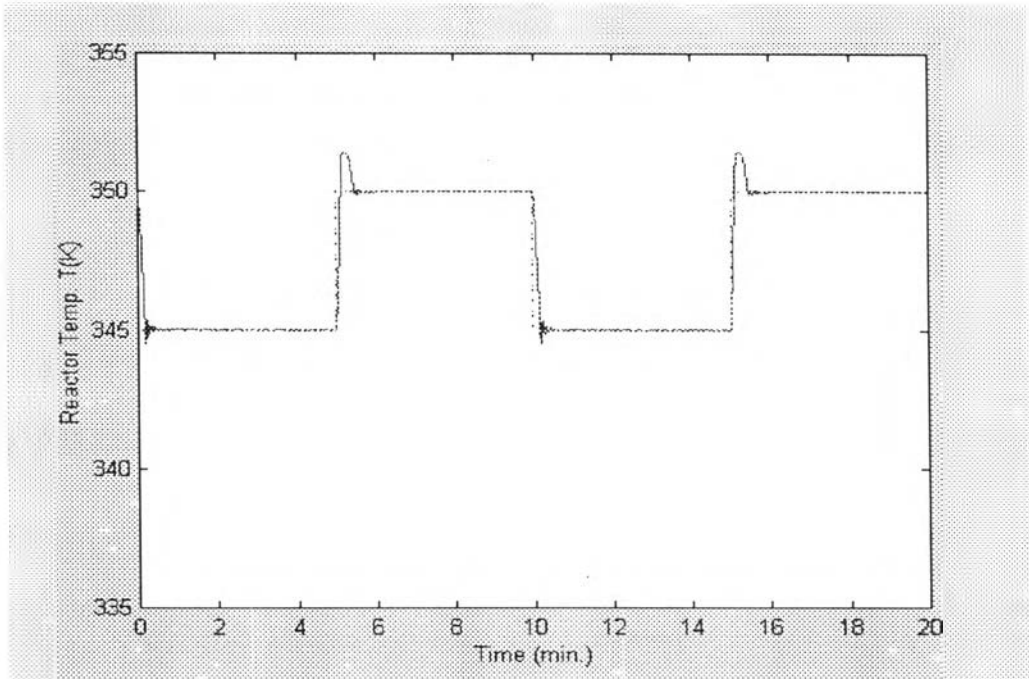
(b)

รูปที่ 6.4-12ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

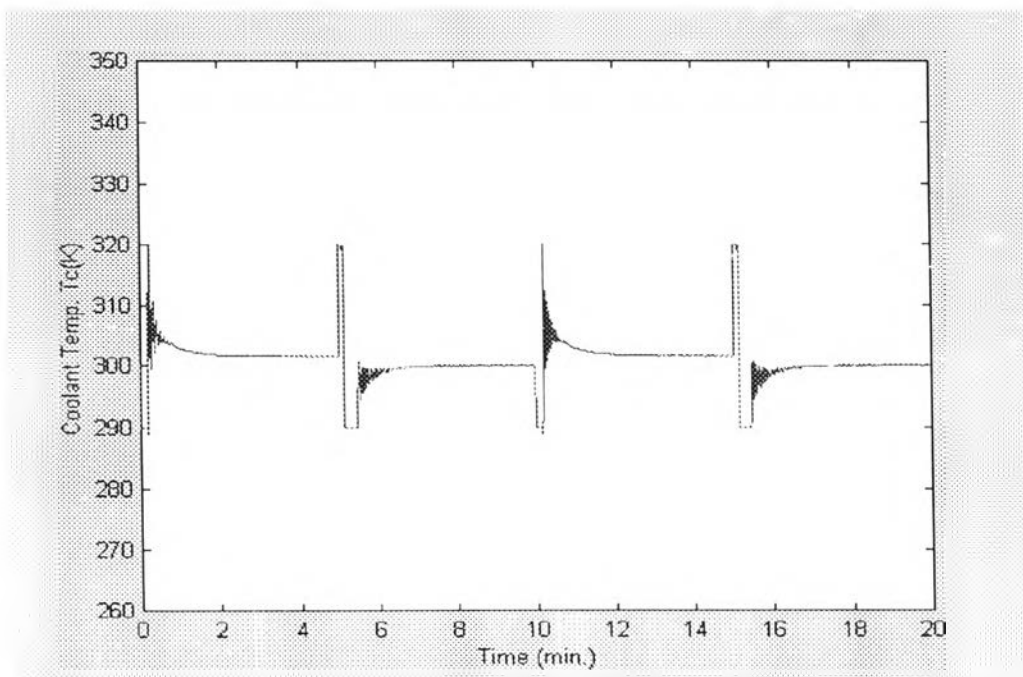
IMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285, 310]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



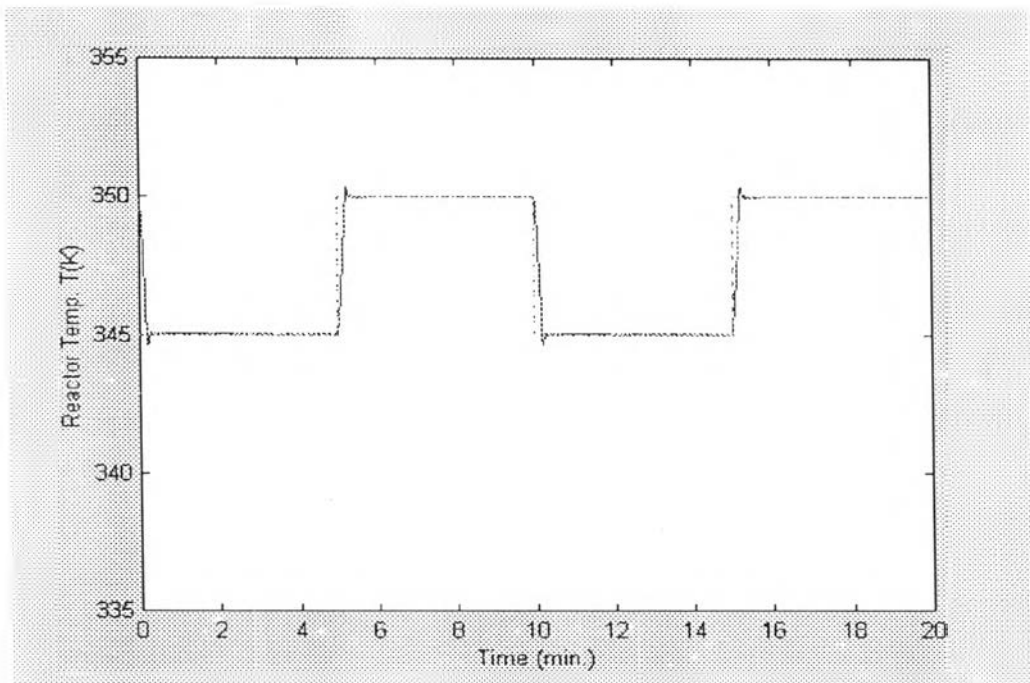
(b)

รูปที่ 6.4-13ก ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถึงกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

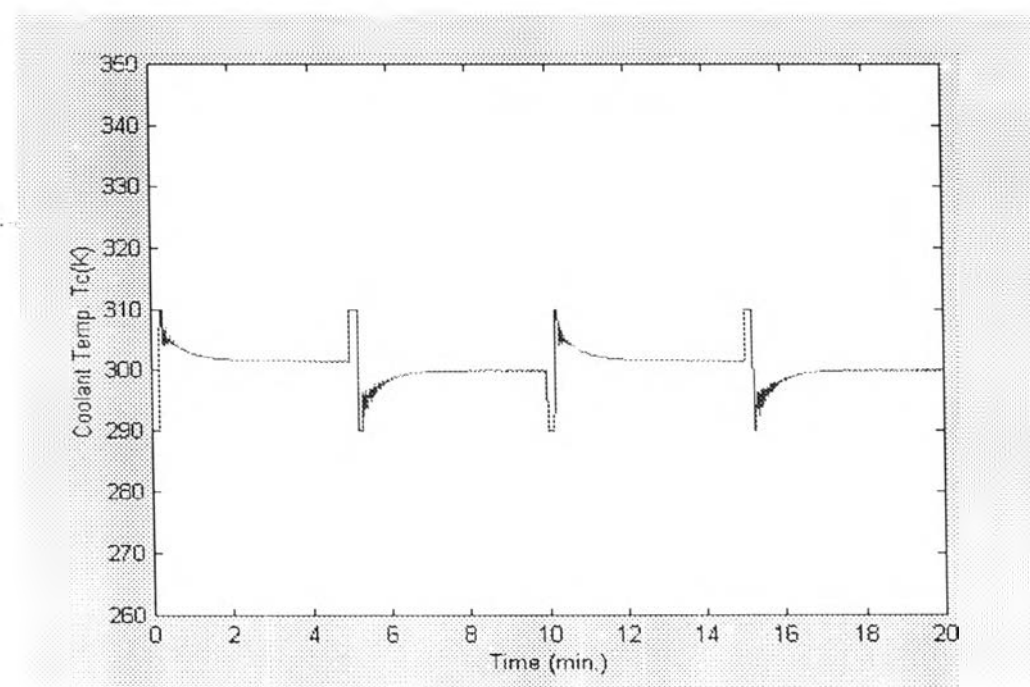
FIMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285,320]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



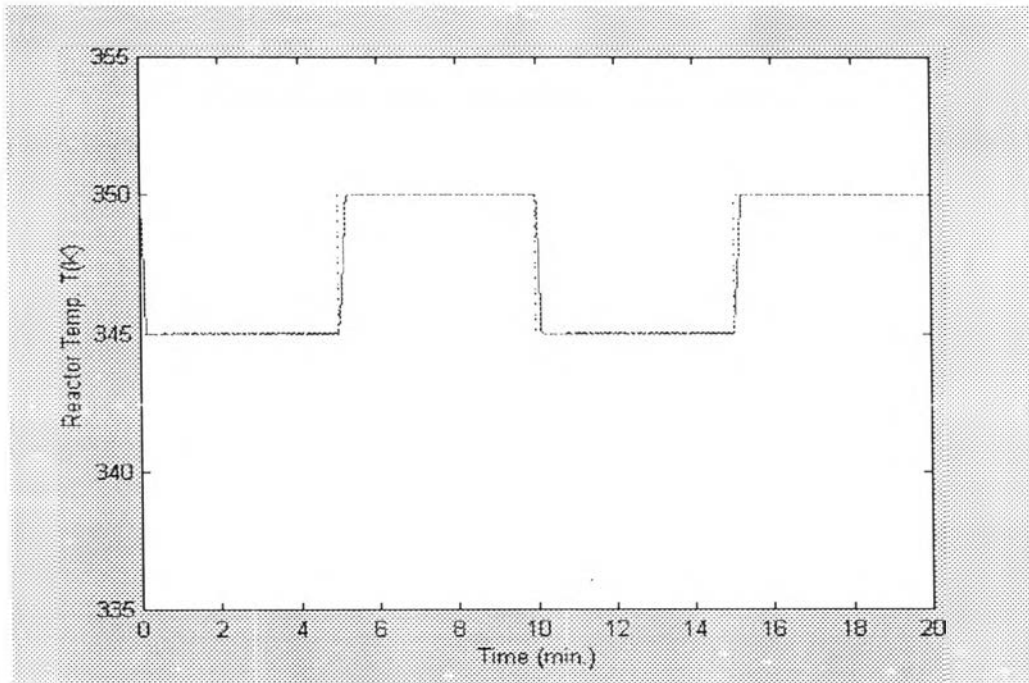
(b)

รูปที่ 6.13ข ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

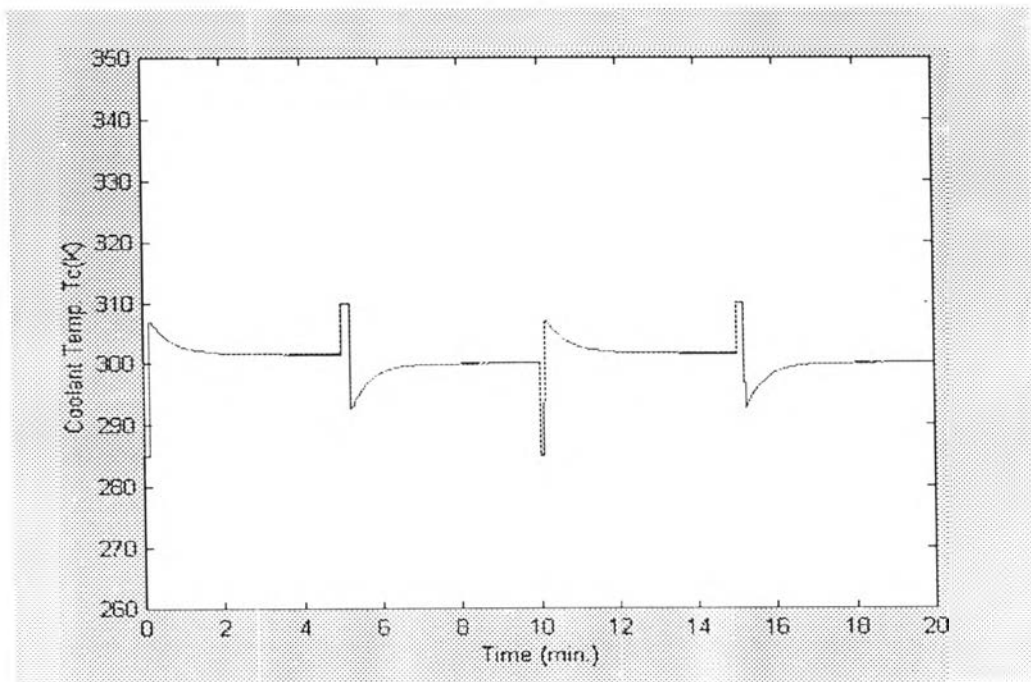
FIMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย $T_c = [285, 310]$

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



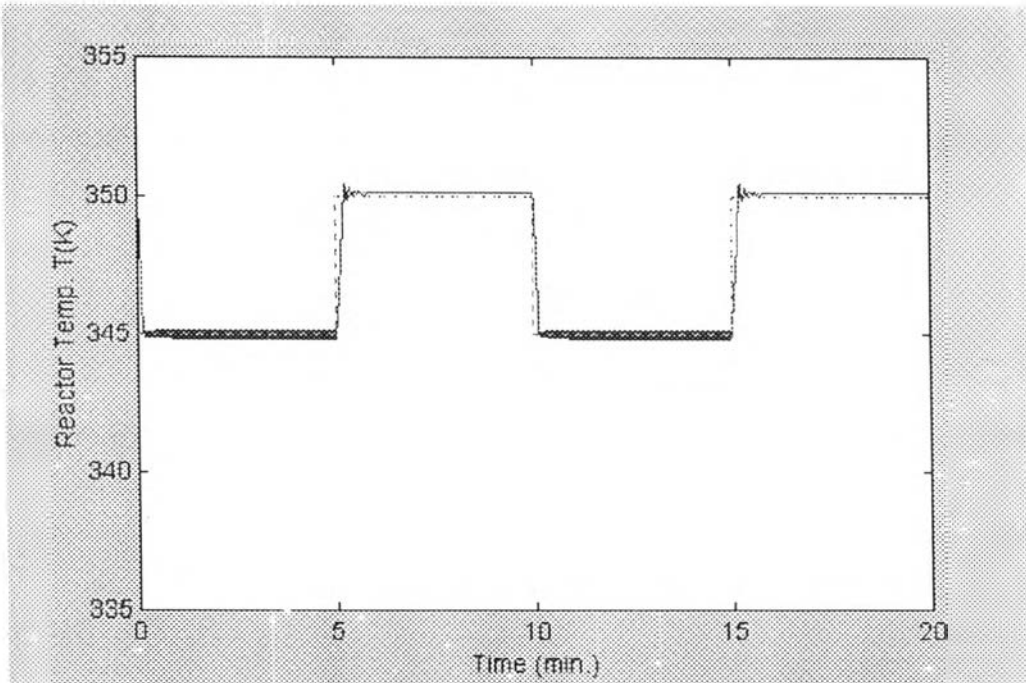
(b)

รูปที่ 6.14 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม IMC ($H=2$)

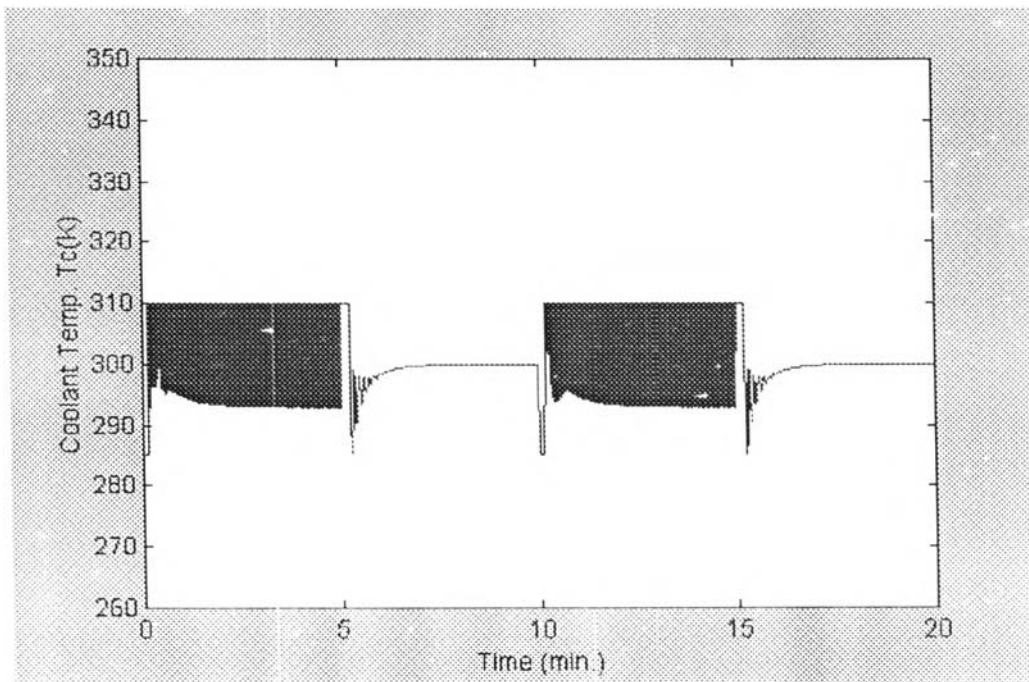
กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



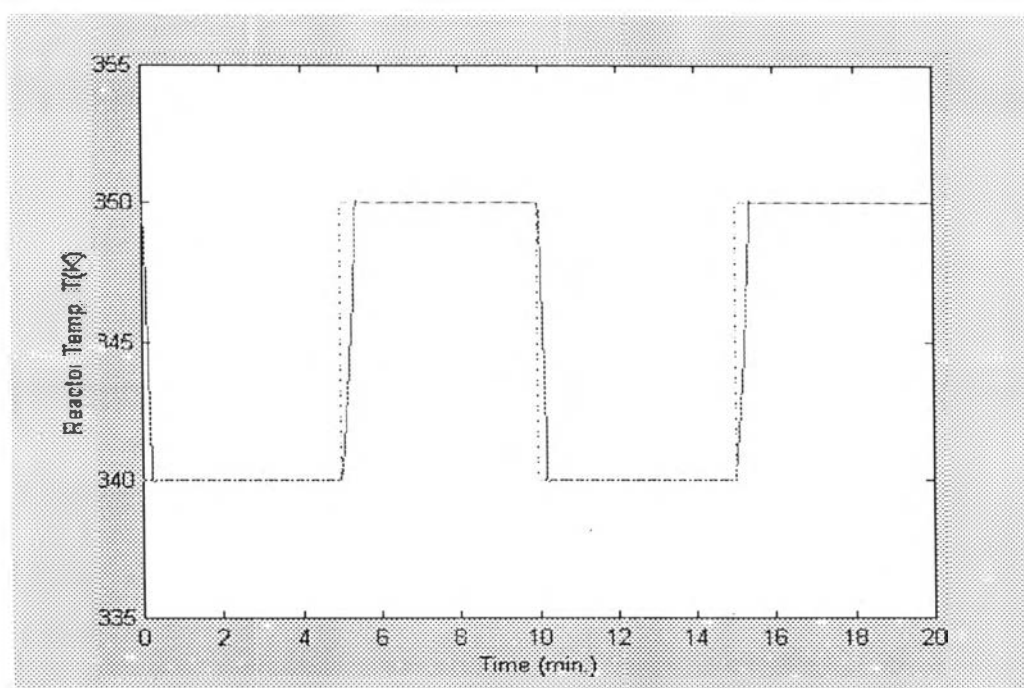
(b)

รูปที่ 6.4-15 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

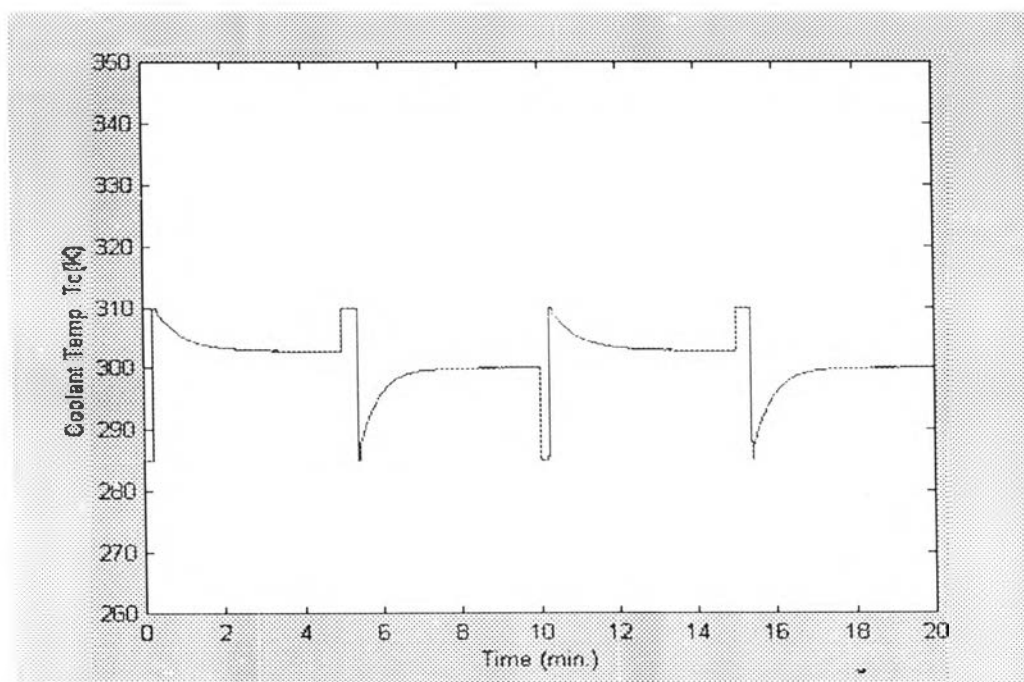
FIMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



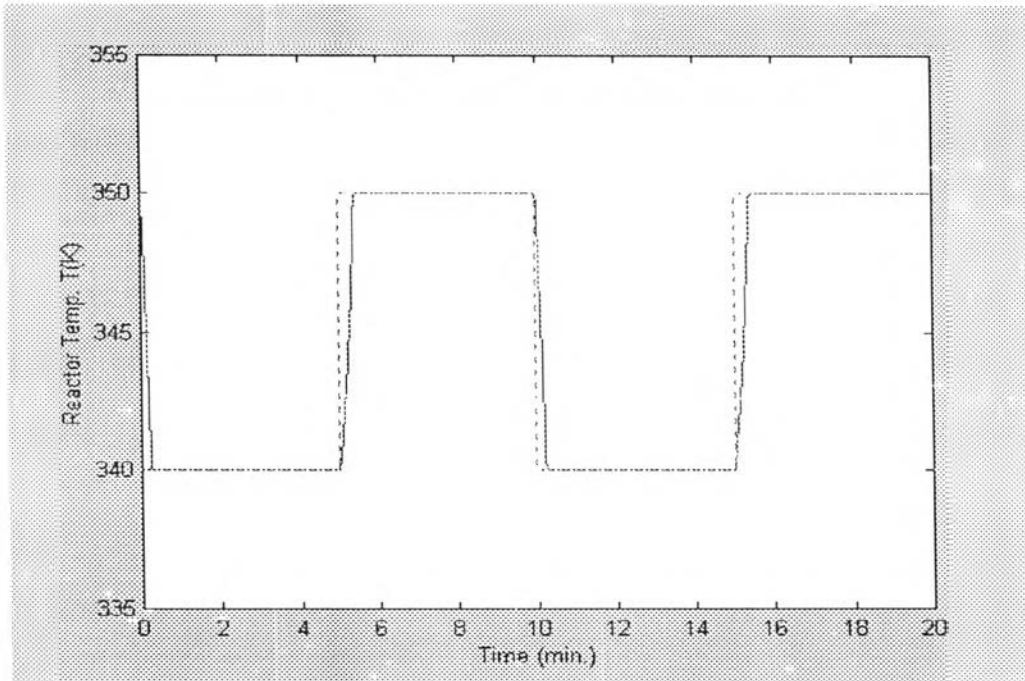
(b)

รูปที่ 6.4-16 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

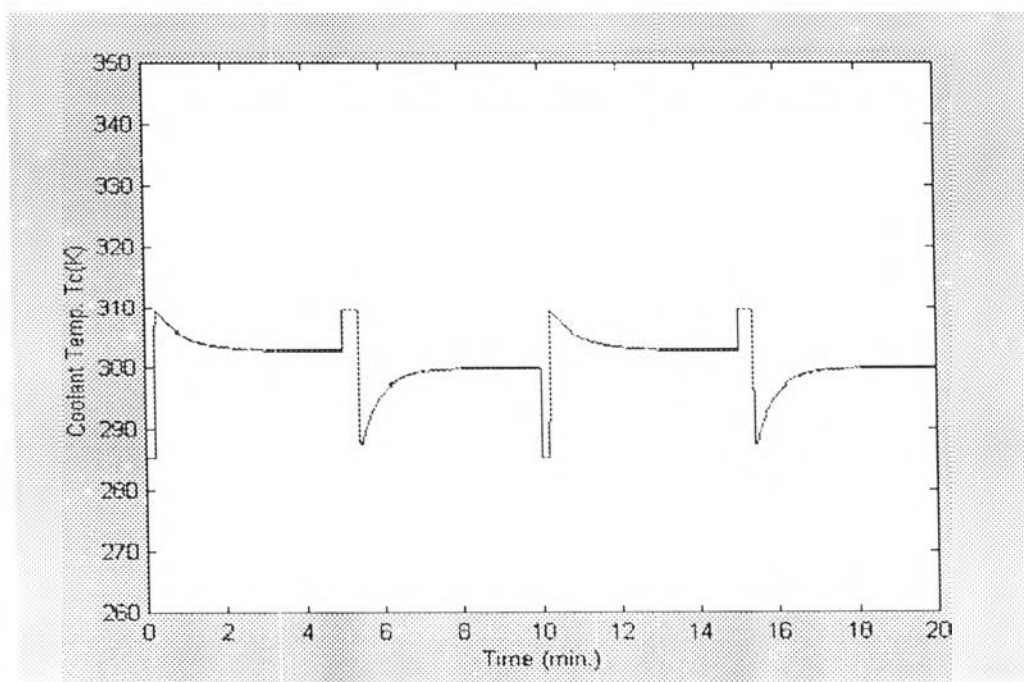
IMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



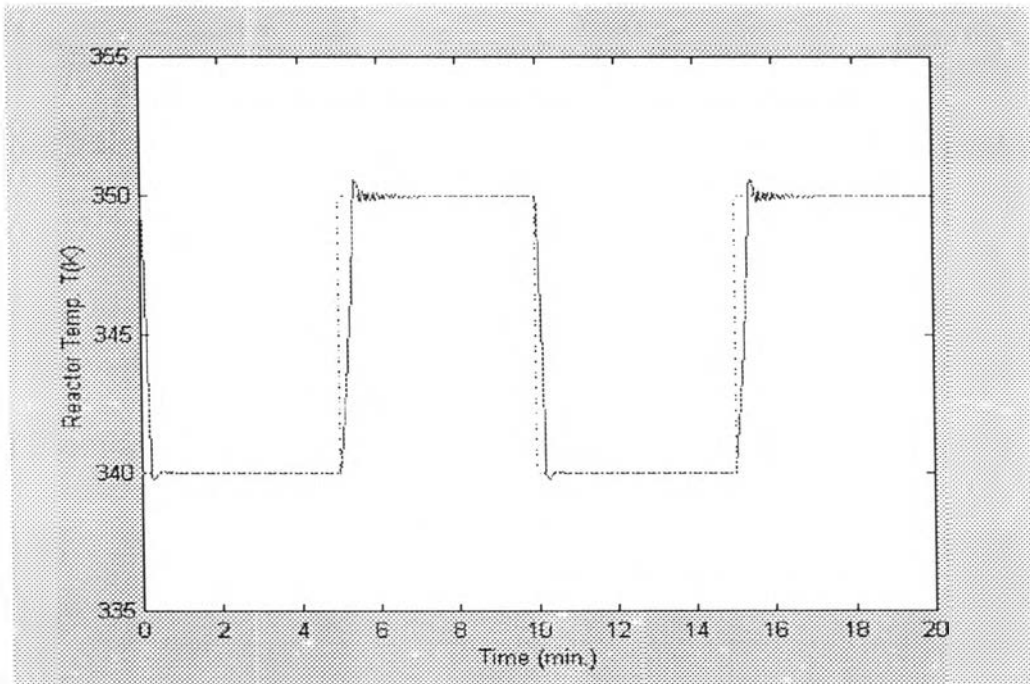
(b)

รูปที่ 6.4-17 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

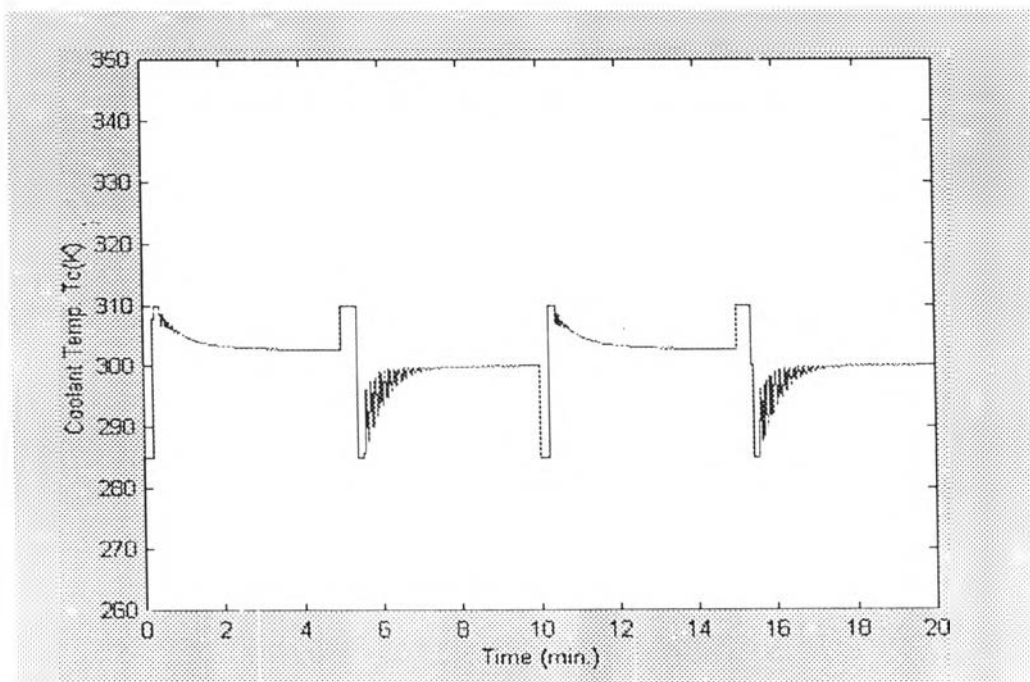
IMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



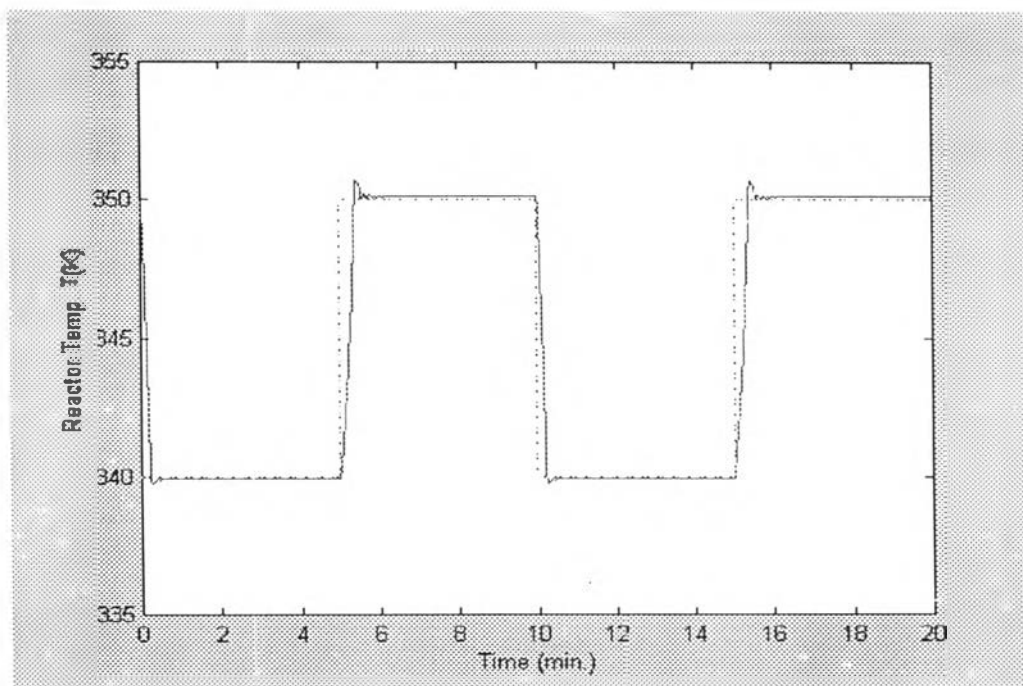
(b)

รูปที่ 6.4-18 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

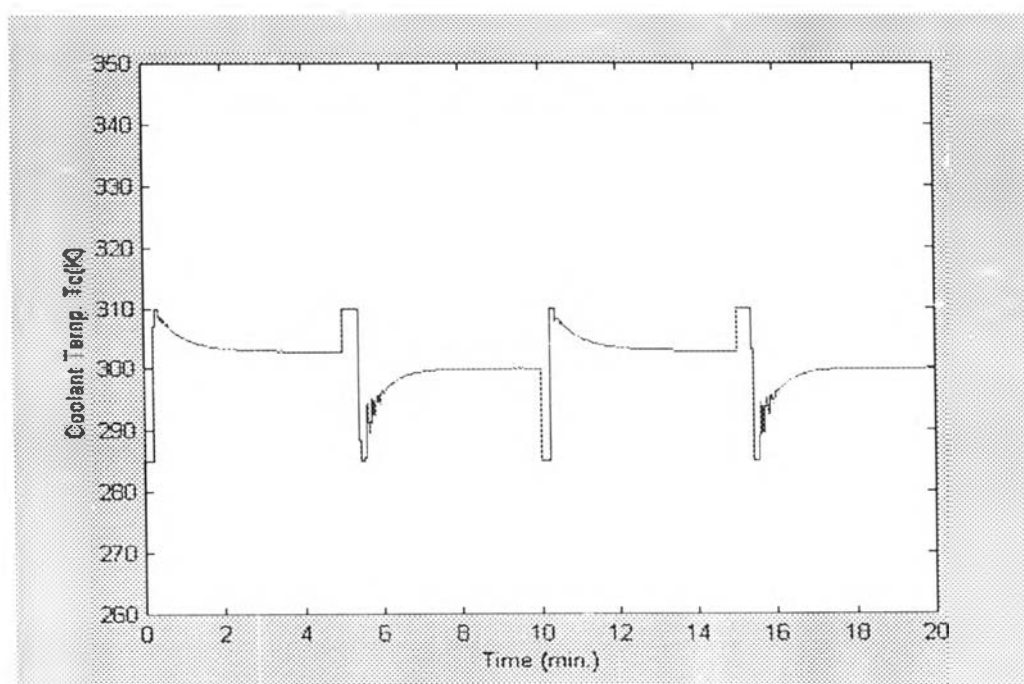
FIMC ($H=1$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



(b)

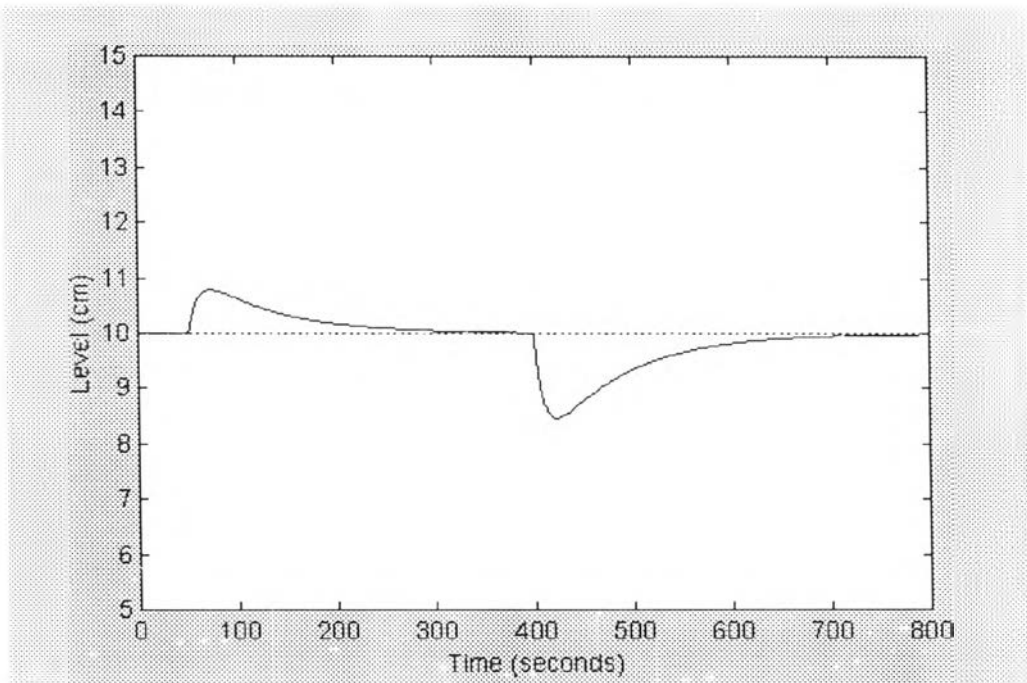
รูป 6.4-19 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

FIMC ($H=2$) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (340-350 K)

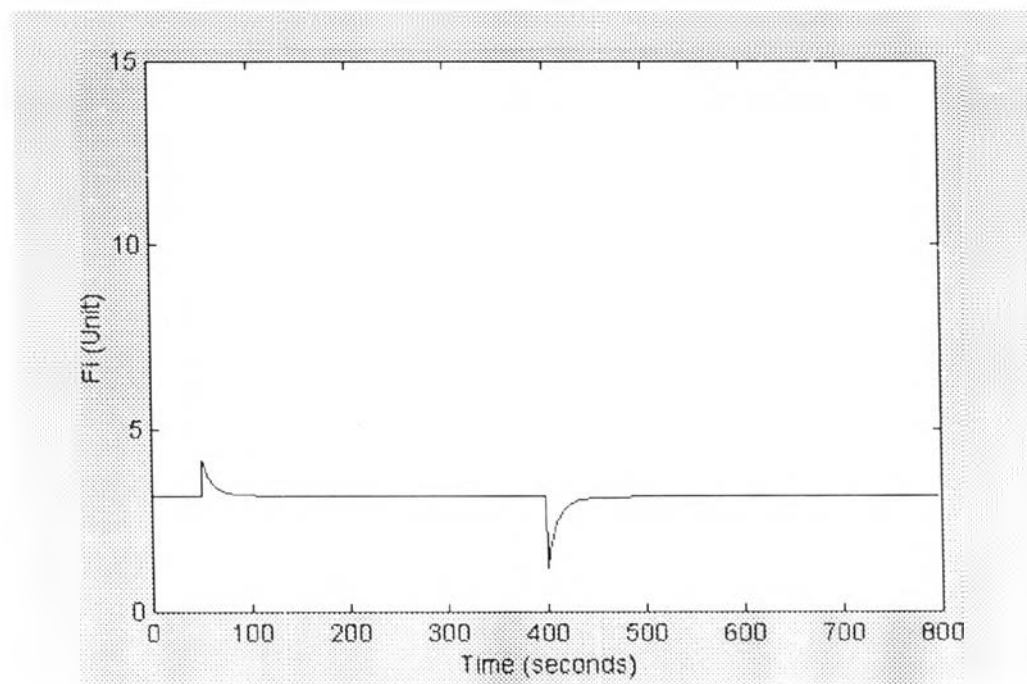
a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ

6.4.3 การควบคุมกรณีที่มีการรบกวนกระบวนการ สำหรับกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น



(a)



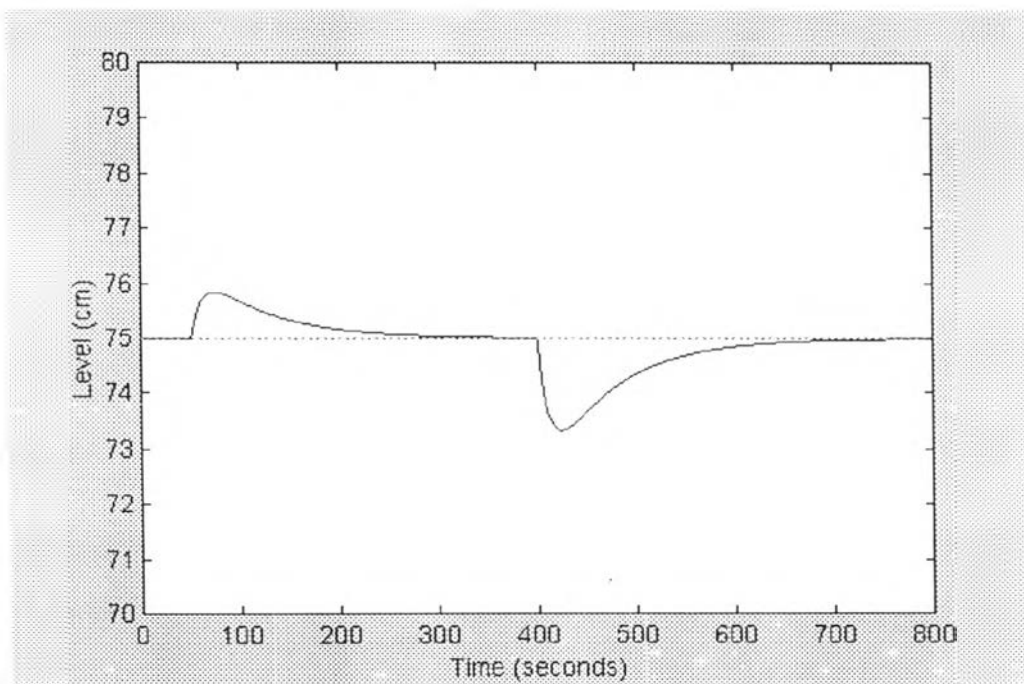
(b)

รูปที่ 6.4-20 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวควบคุมพีไอ

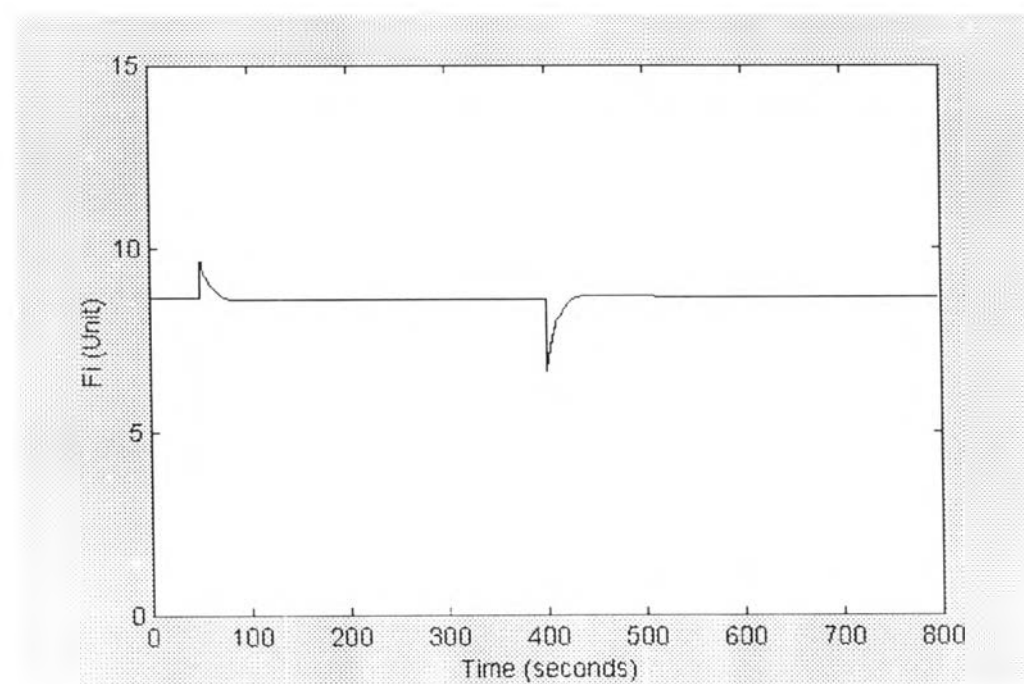
กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)

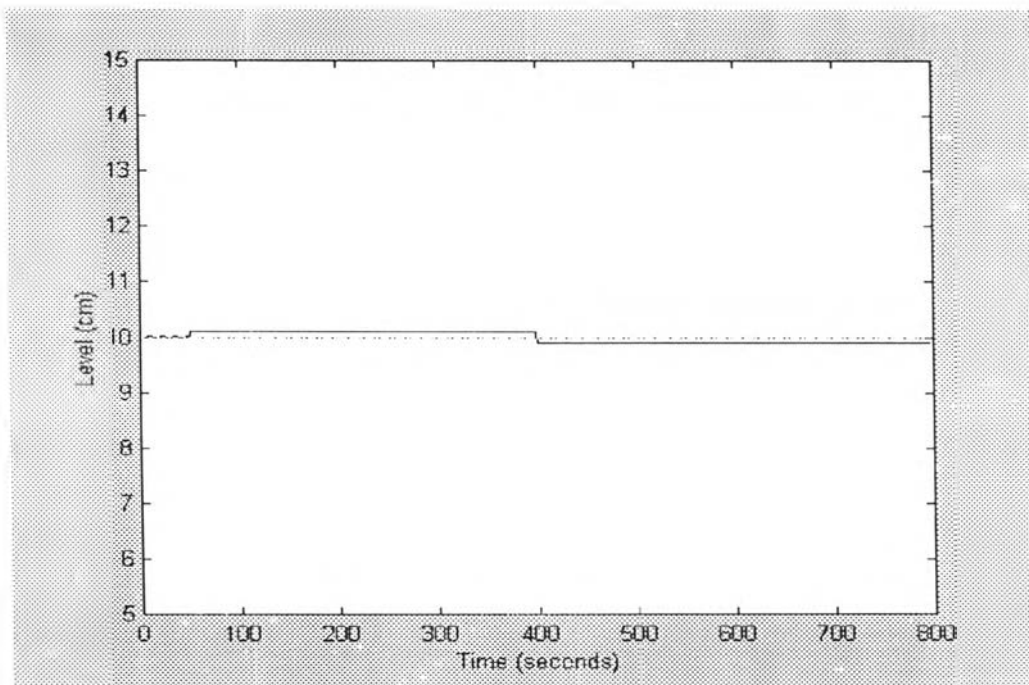


(b)

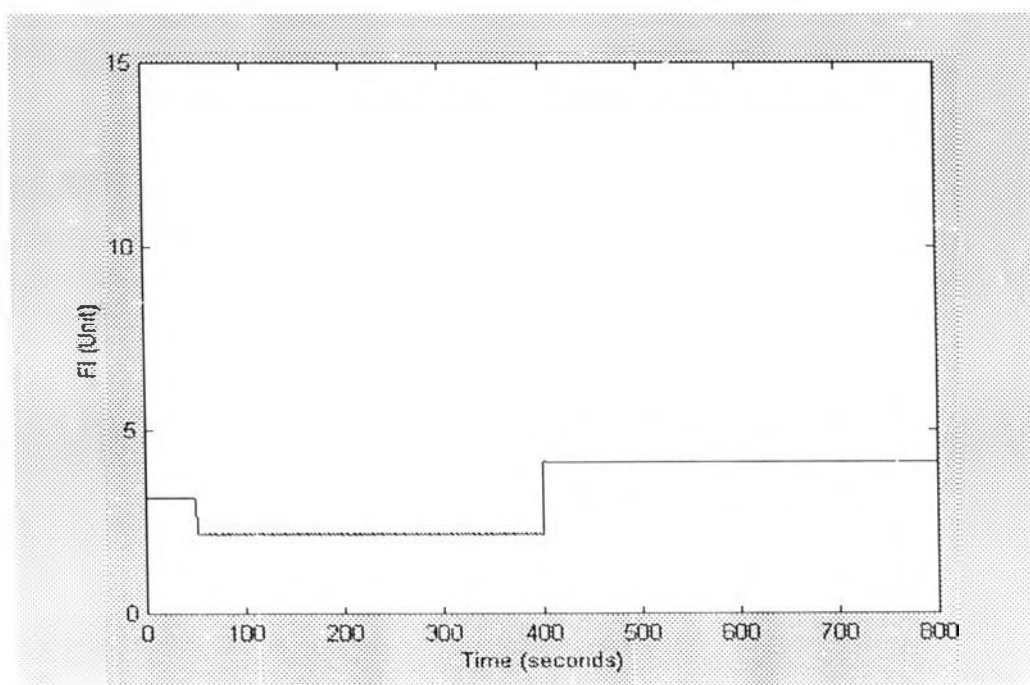
รูปที่ 6.2-21 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุมพีไอ
กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



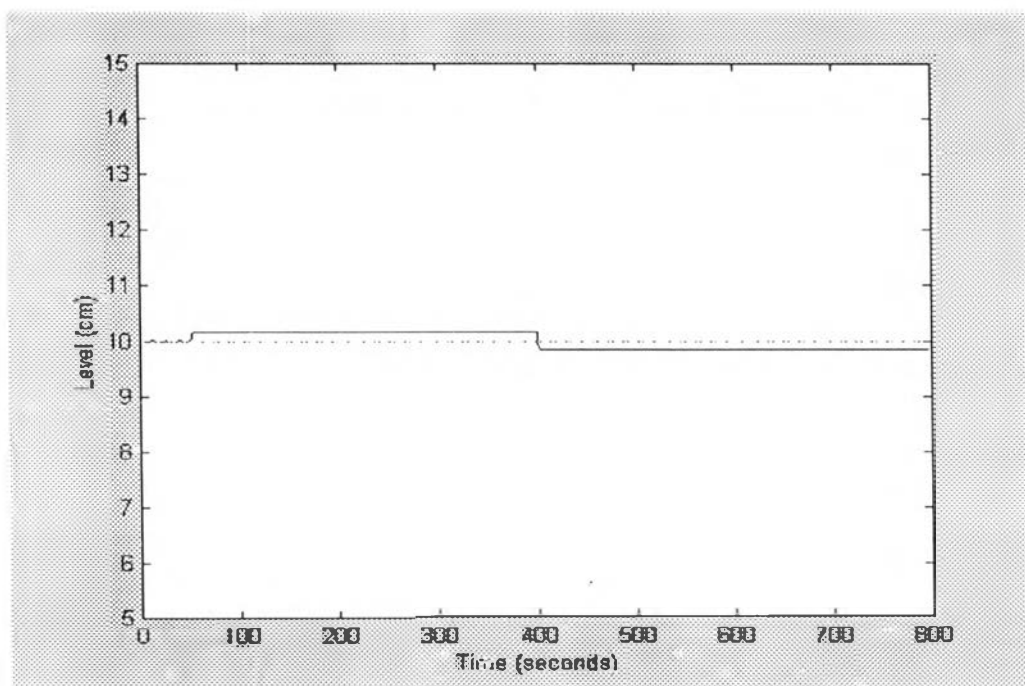
(b)

รูปที่ 6.4-22 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

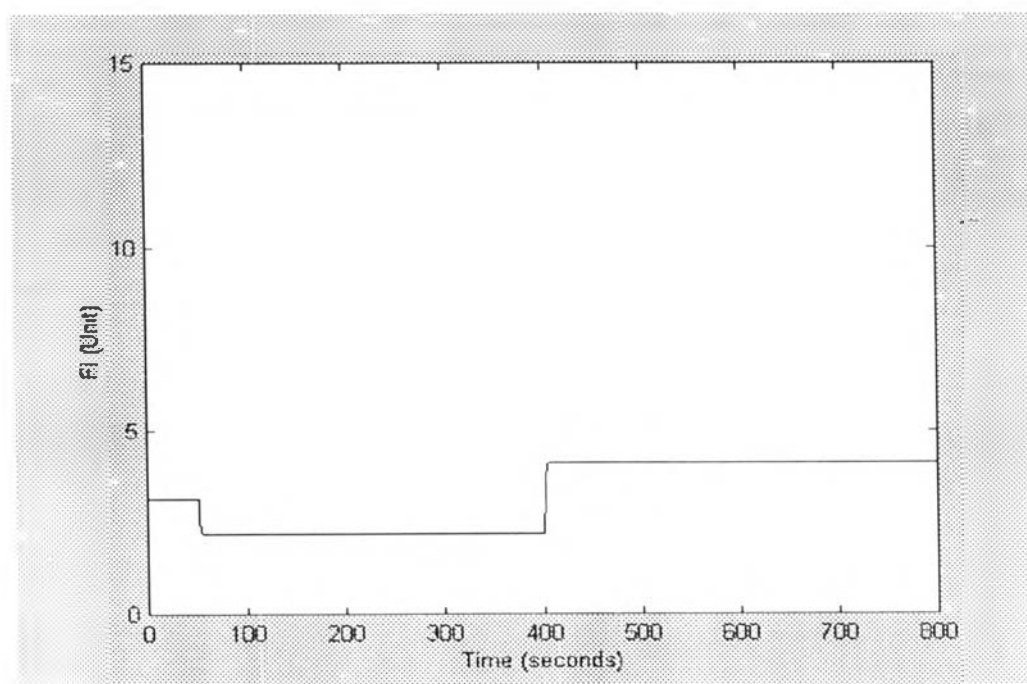
IMC ($H = 1$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



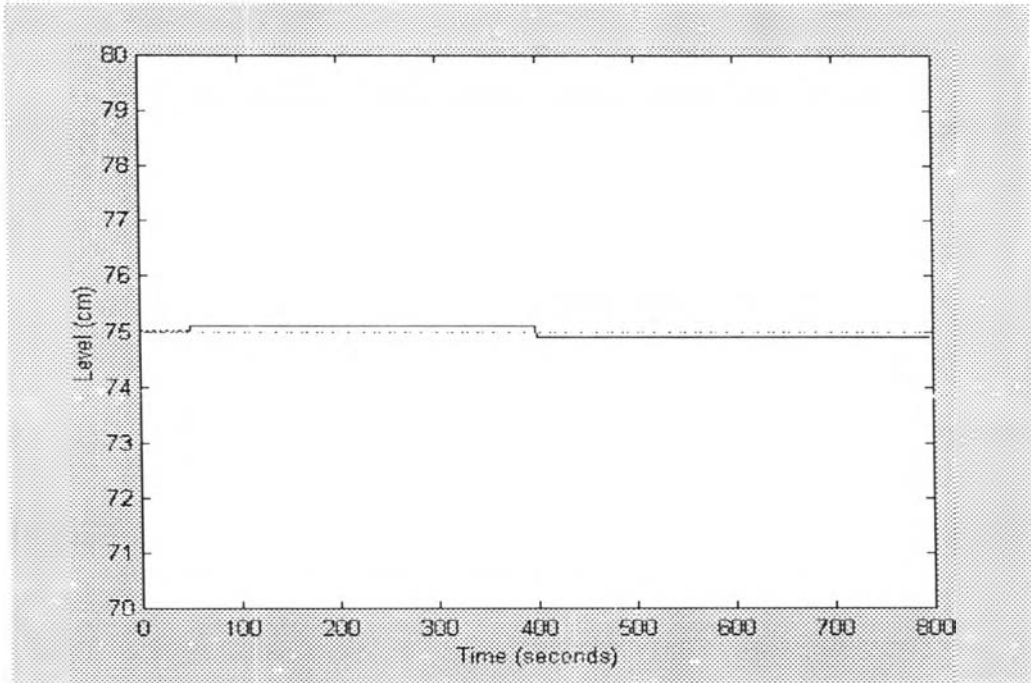
(b)

รูปที่ 6.4-23 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

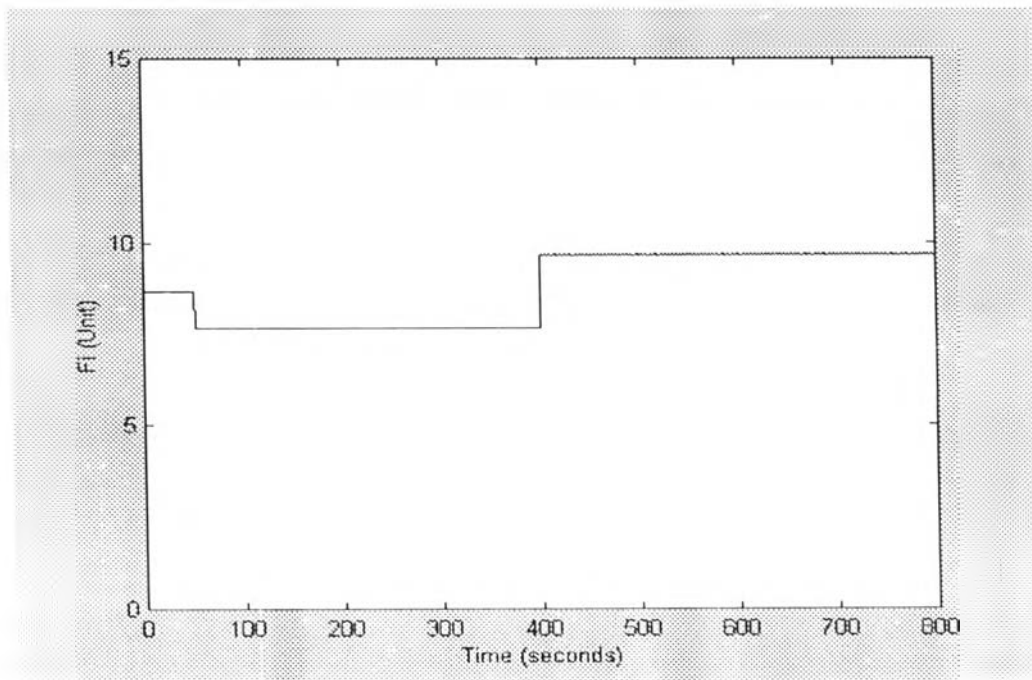
IMC ($H = 2$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 10 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



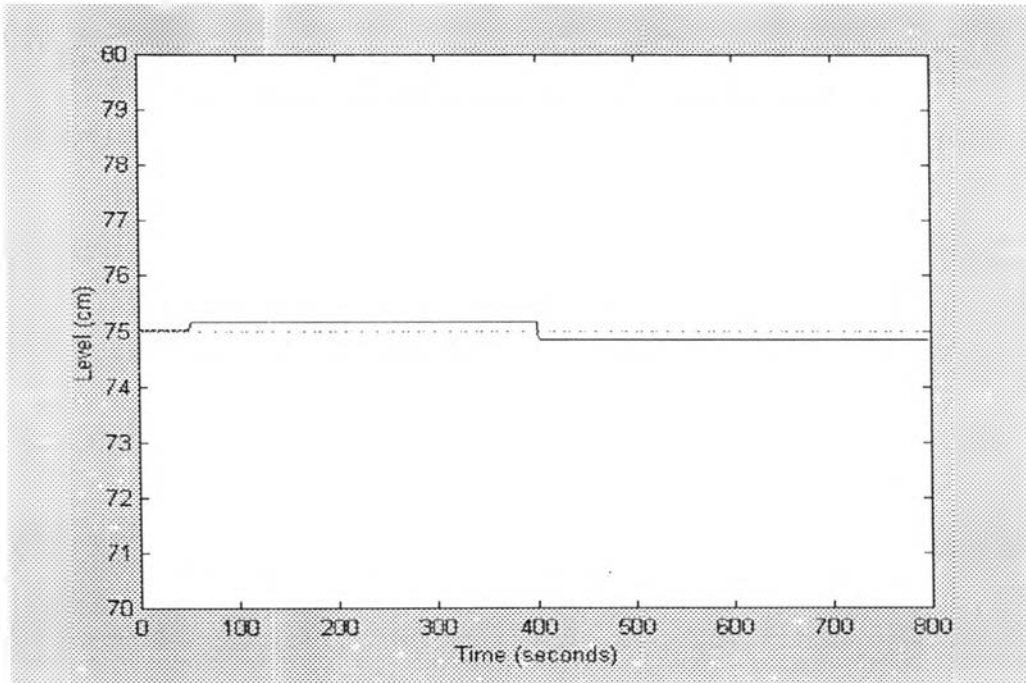
(b)

รูปที่ 6.4-24 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

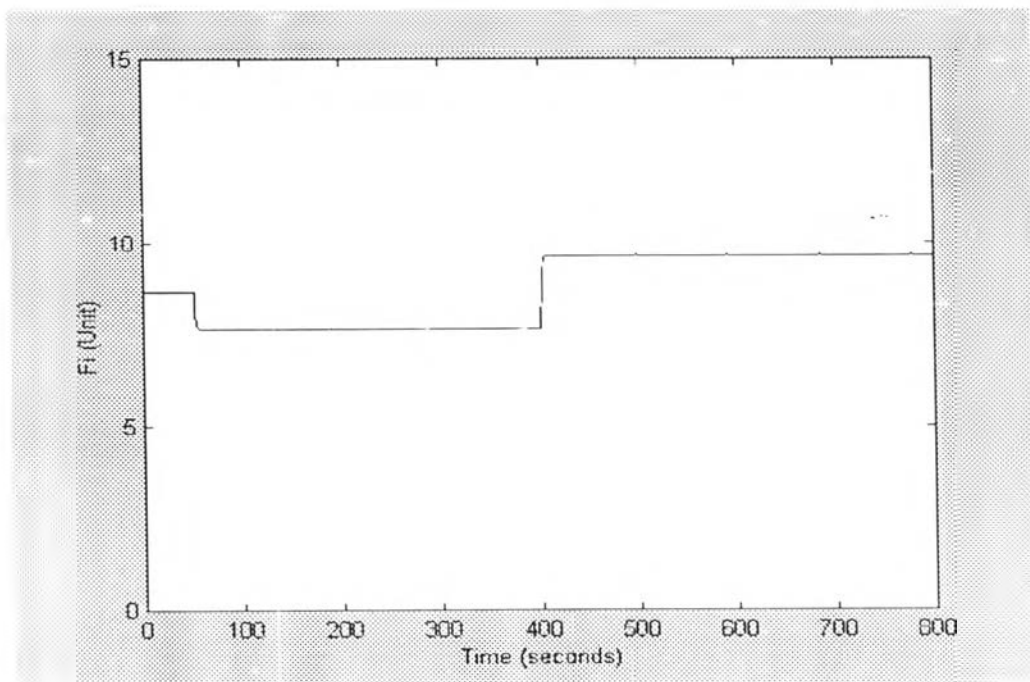
IMC ($H=1$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



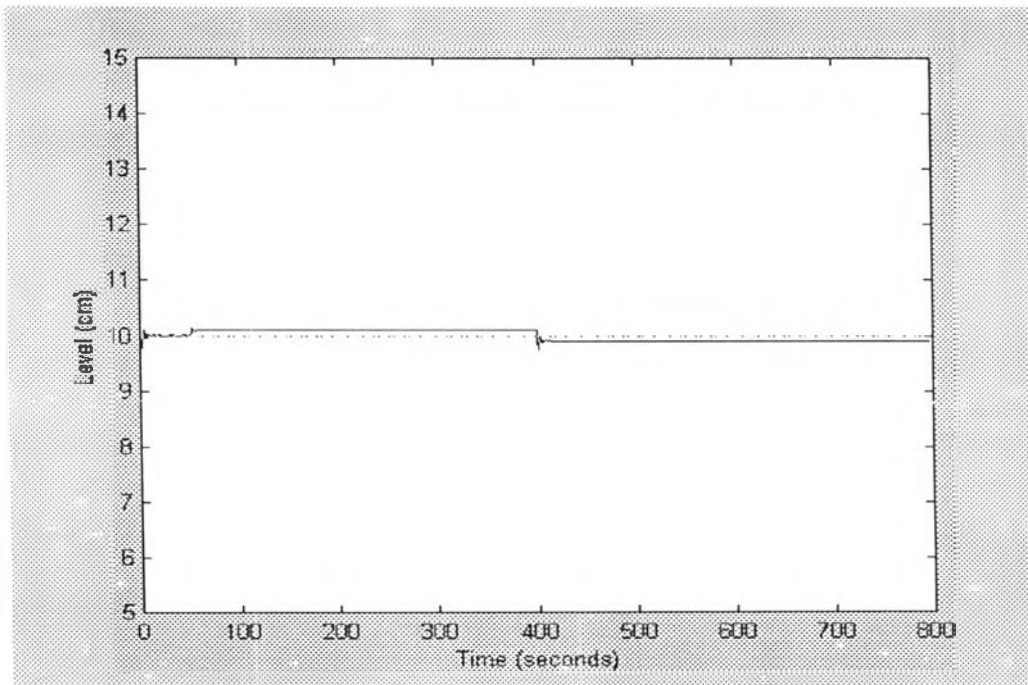
(b)

รูปที่.6.4-25 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

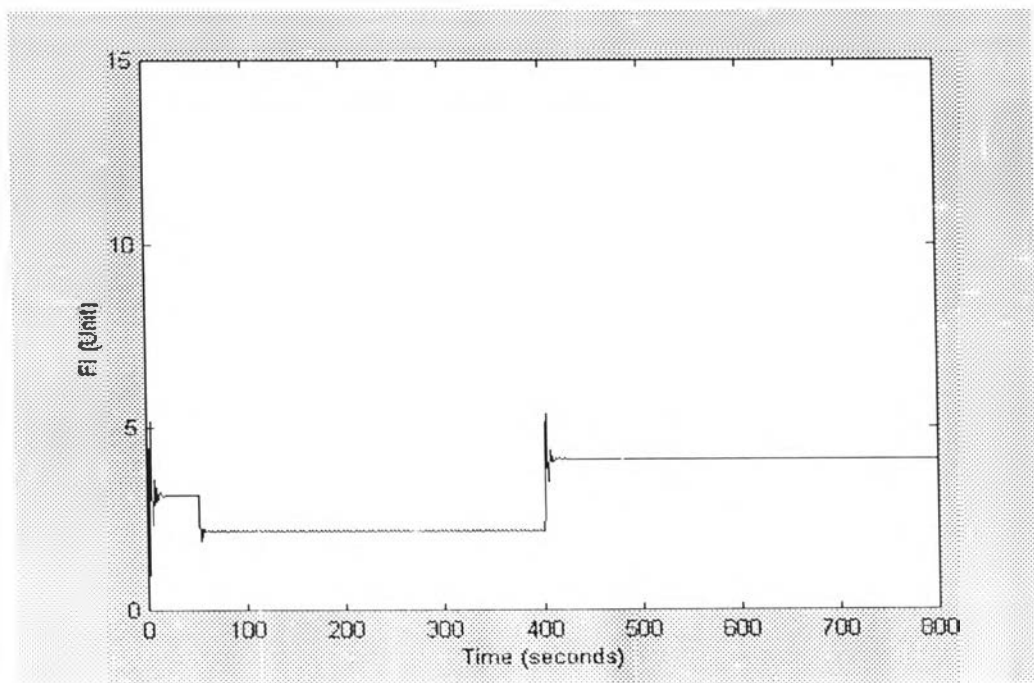
IMC ($H = 2$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



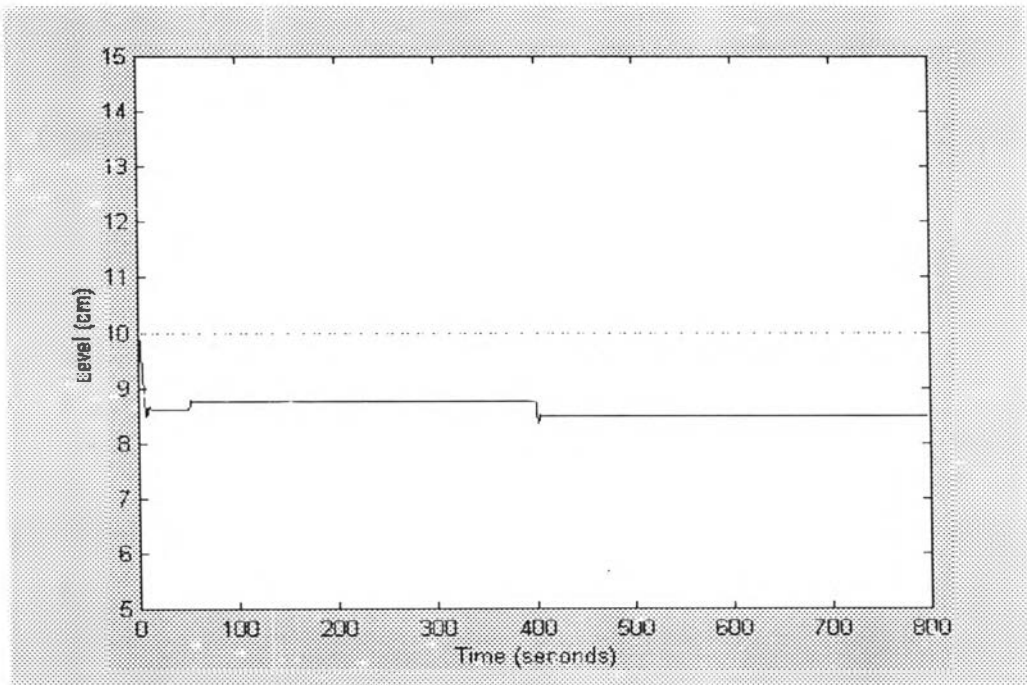
(b)

รูปที่ 6.4-26 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

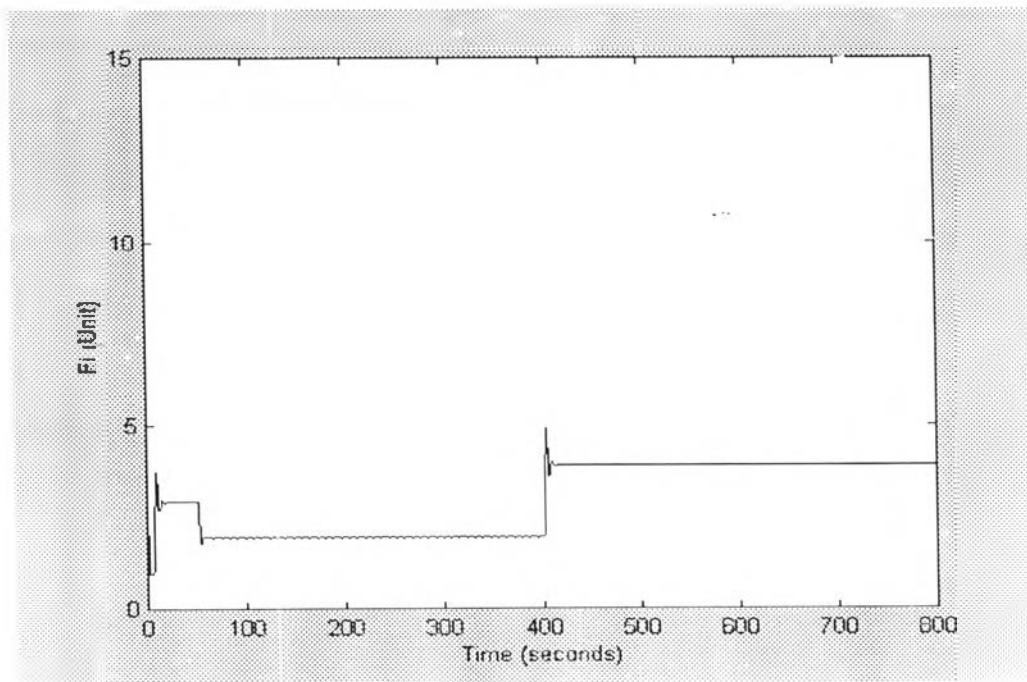
FIMC ($H = 1$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 15 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



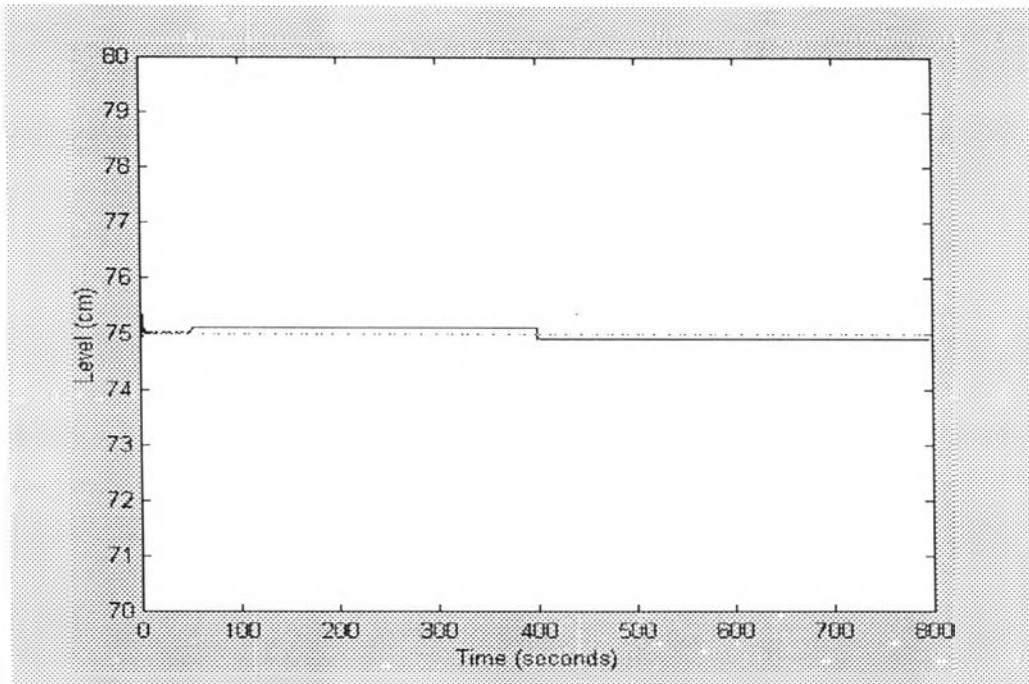
(b)

รูปที่ 6.4-27 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

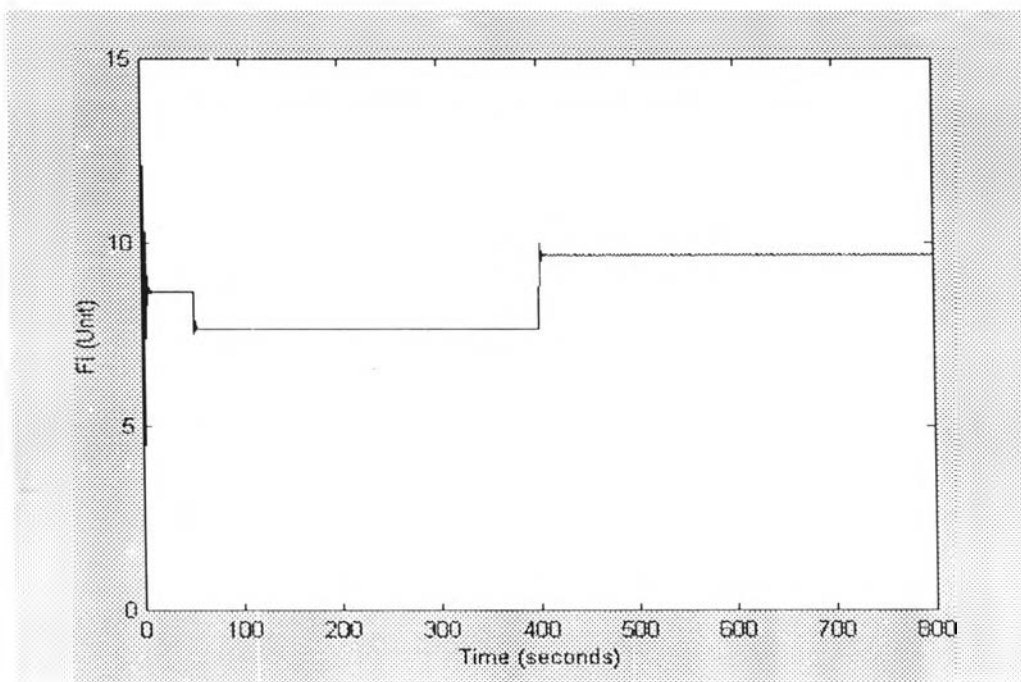
FIMC ($H = 2$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 15 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



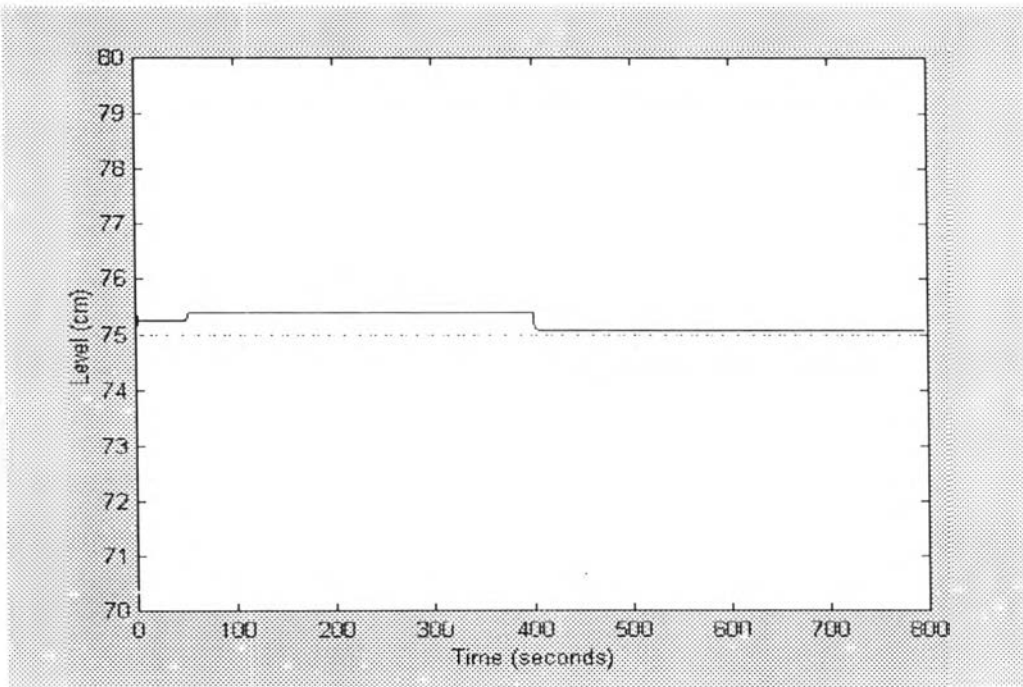
(b)

รูปที่ 6.4-28 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

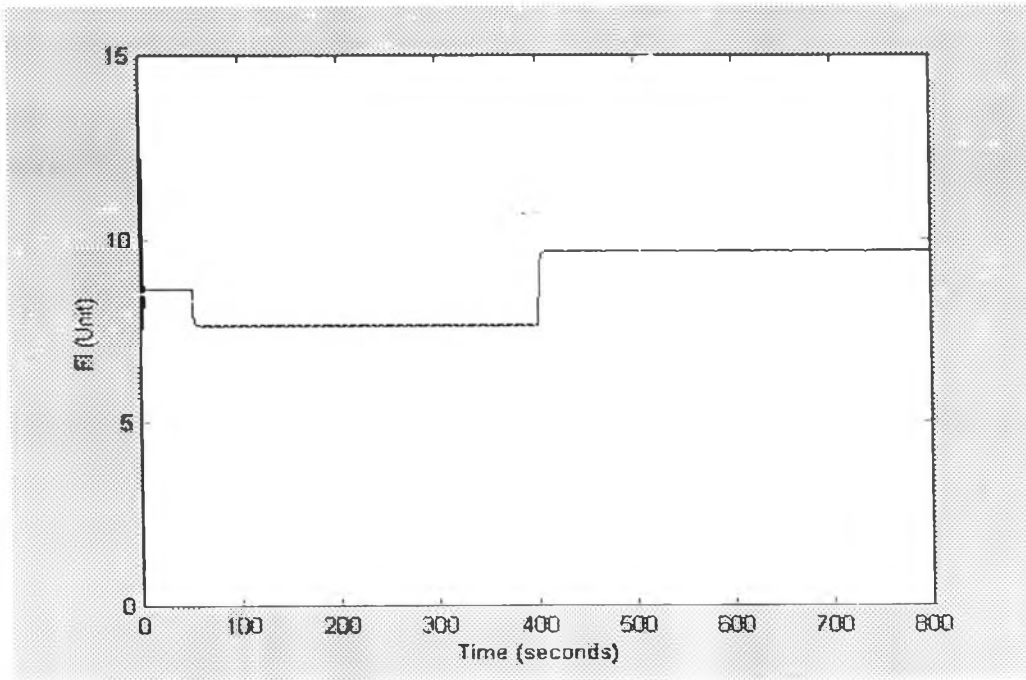
FIMC ($H = 1$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



(b)

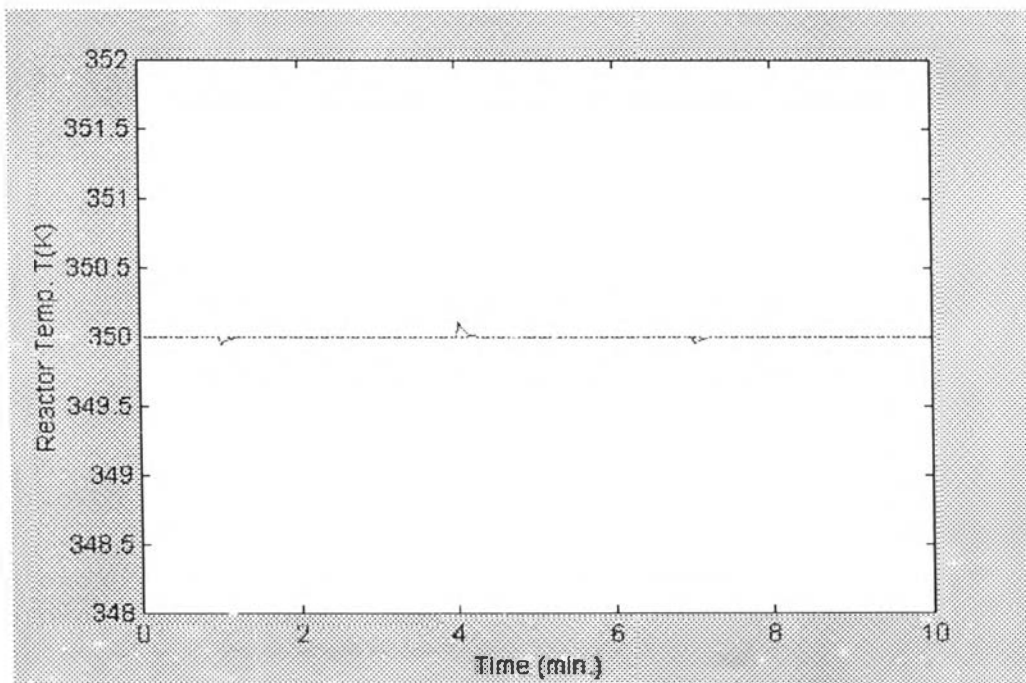
รูปที่ 6.4-29 ผลการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยตัวควบคุม

FIMC ($H = 2$) กรณีที่มีตัวรบกวน ที่การควบคุมความสูง 75 cm

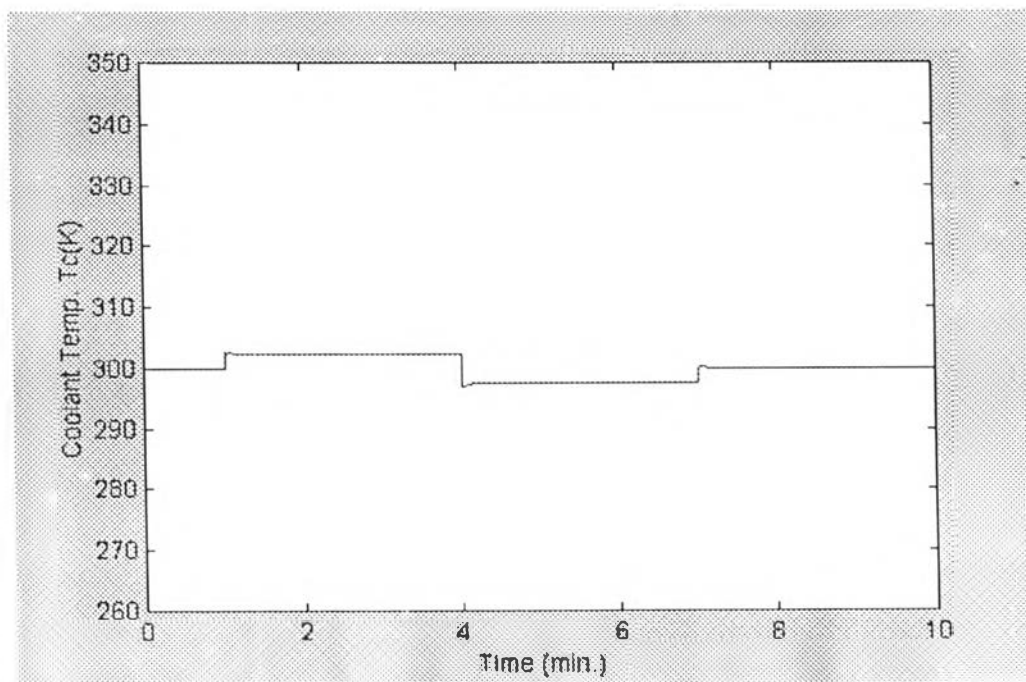
a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ

6.4.4 การควบคุมกรณีมีตัวรบกวนกระบวนการ สำหรับกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง



(a)



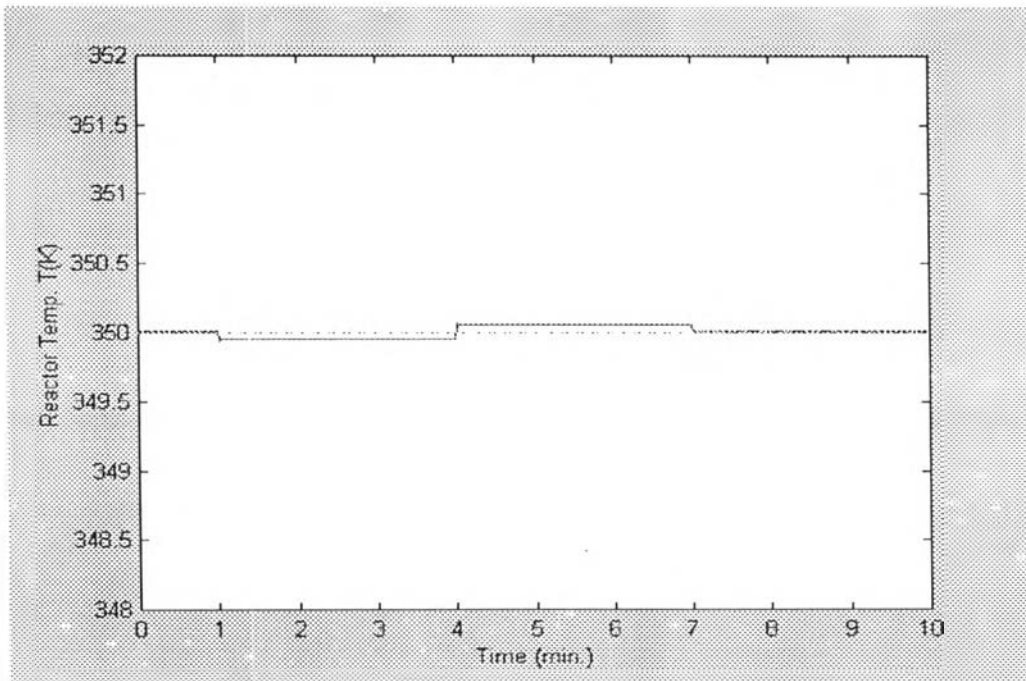
(b)

รูปที่ 6.4-30 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

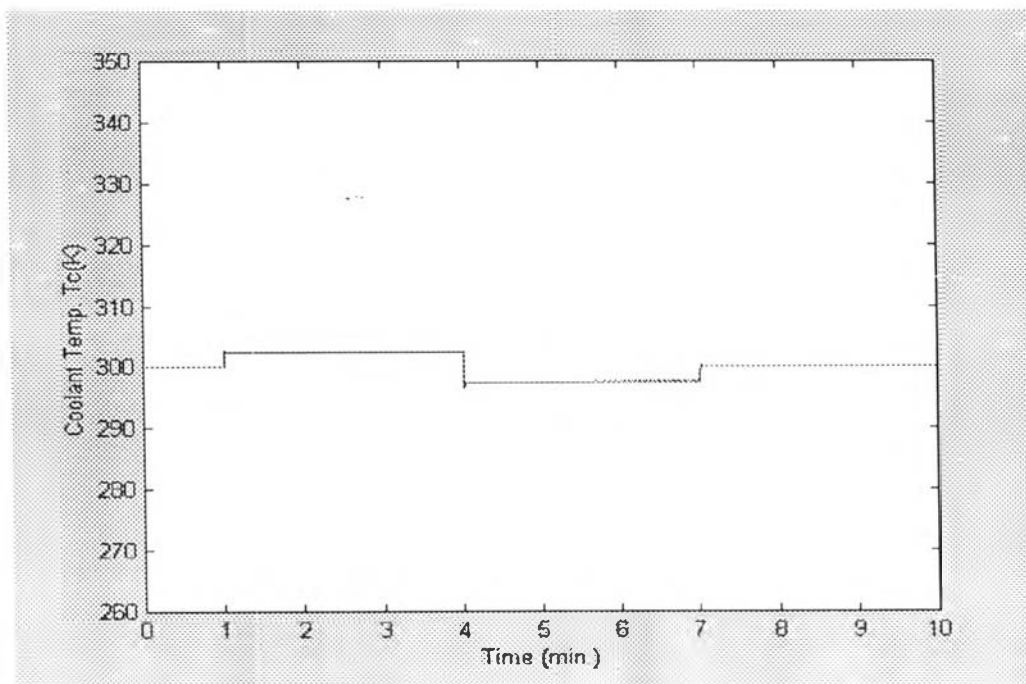
พีไอดี กรณีที่มีตัวรบกวน

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



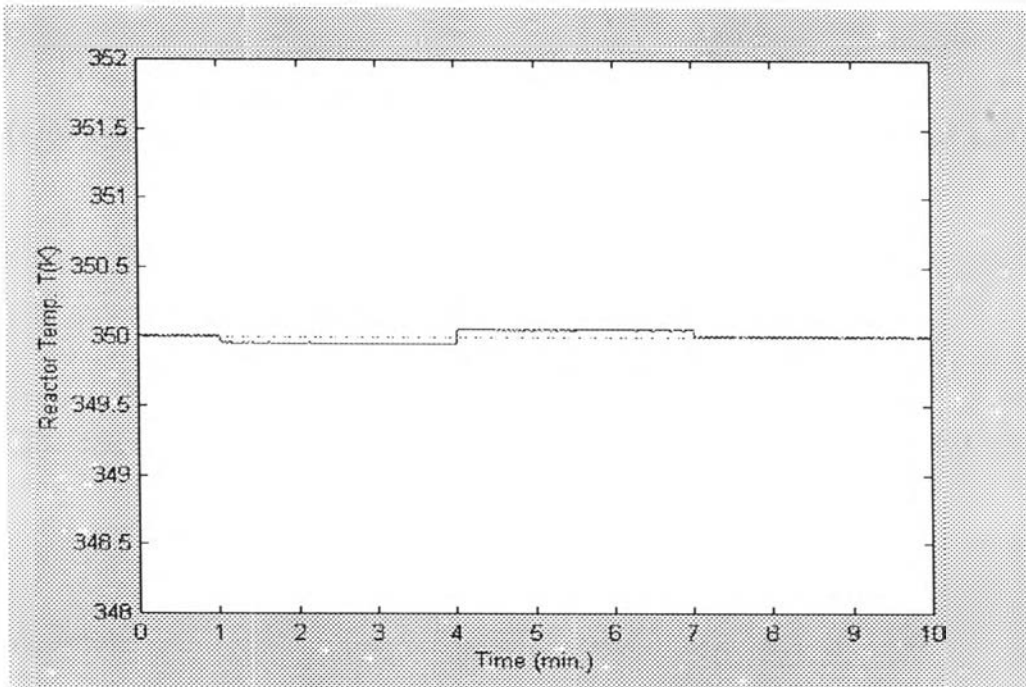
(b)

รูปที่ 6.4-31 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

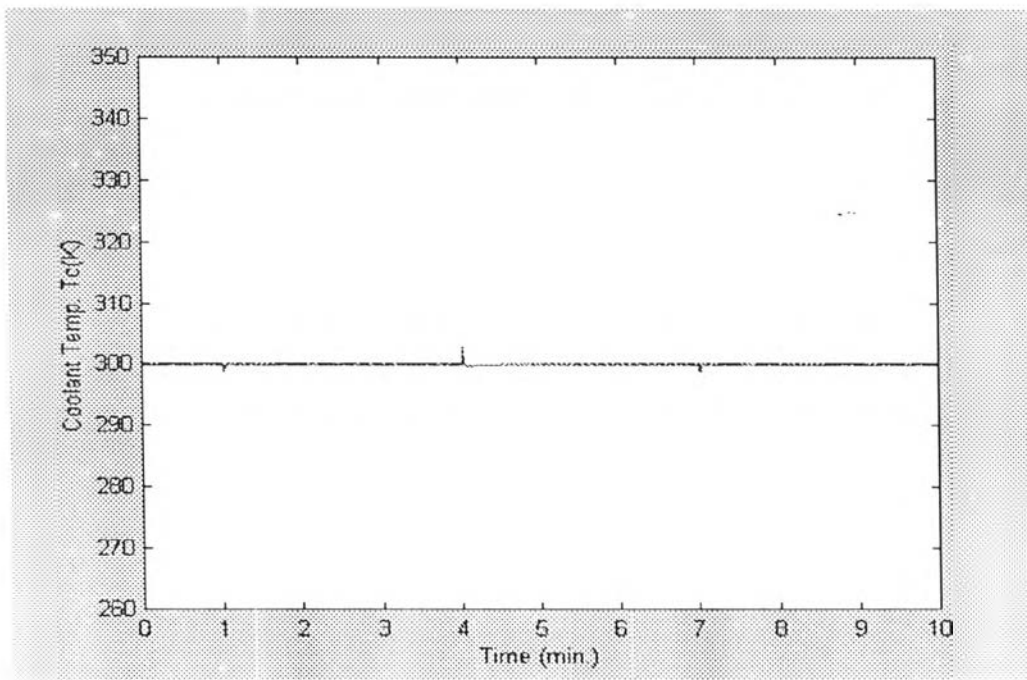
IMC ($H=1$) กรณีที่มีตัวรบกวน

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



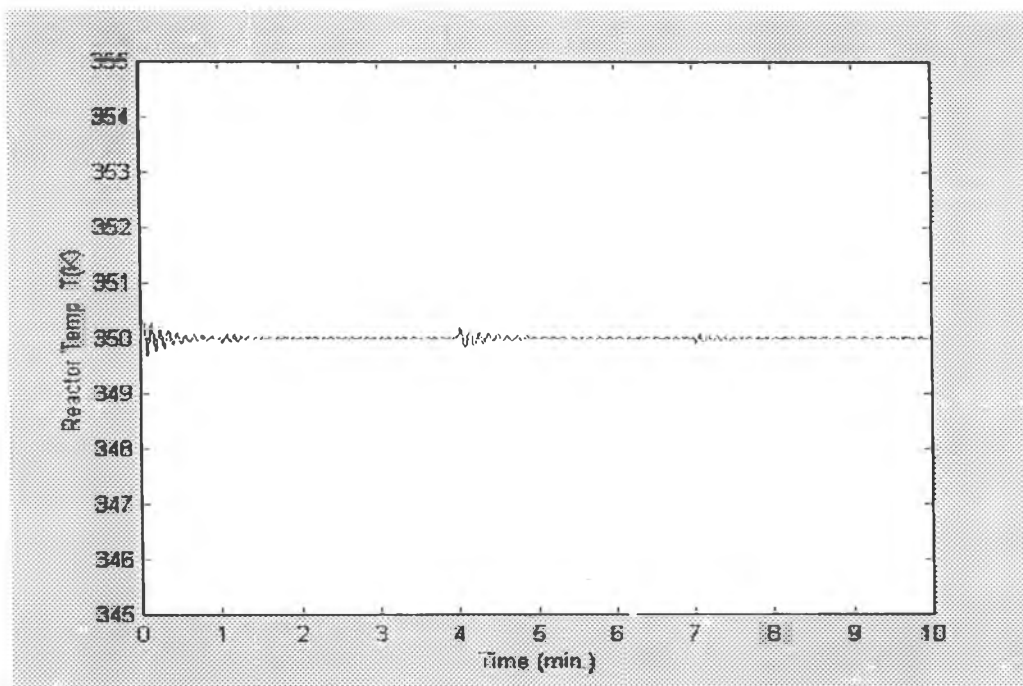
(b)

รูปที่ 6.4-32 ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

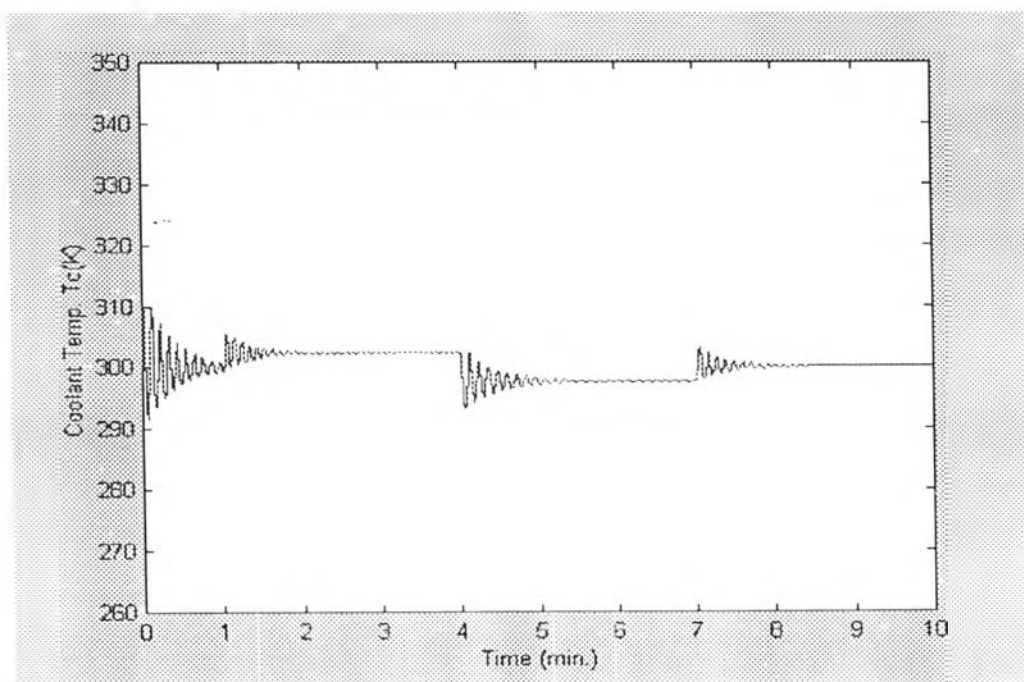
IMC ($H=2$) กรณีที่มีตัวรบกวน

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



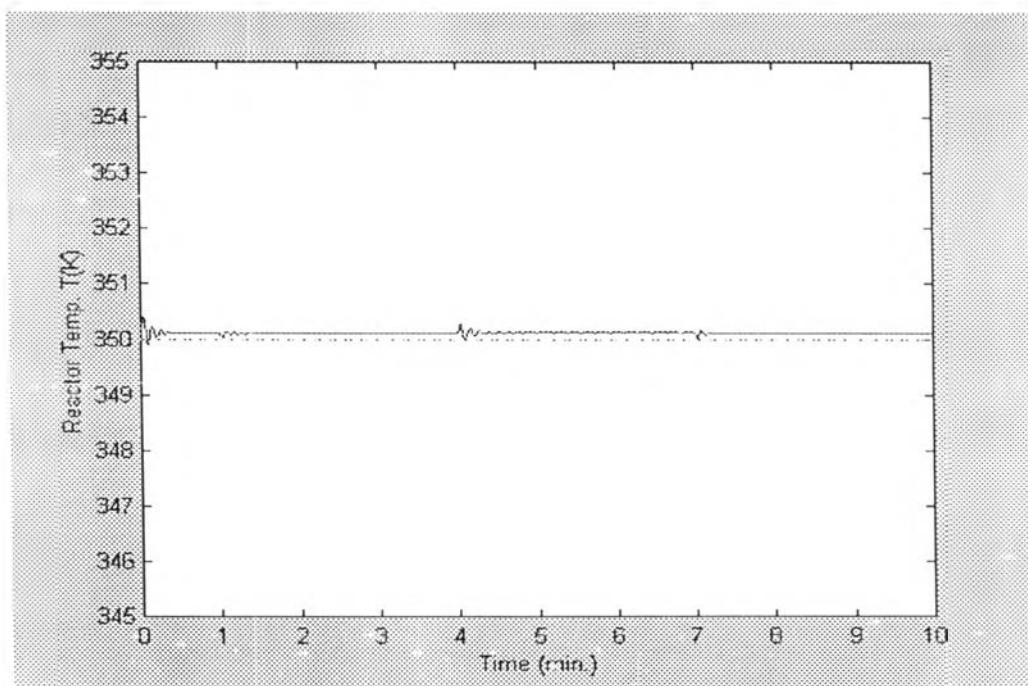
(b)

รูปที่ 6.4-33 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

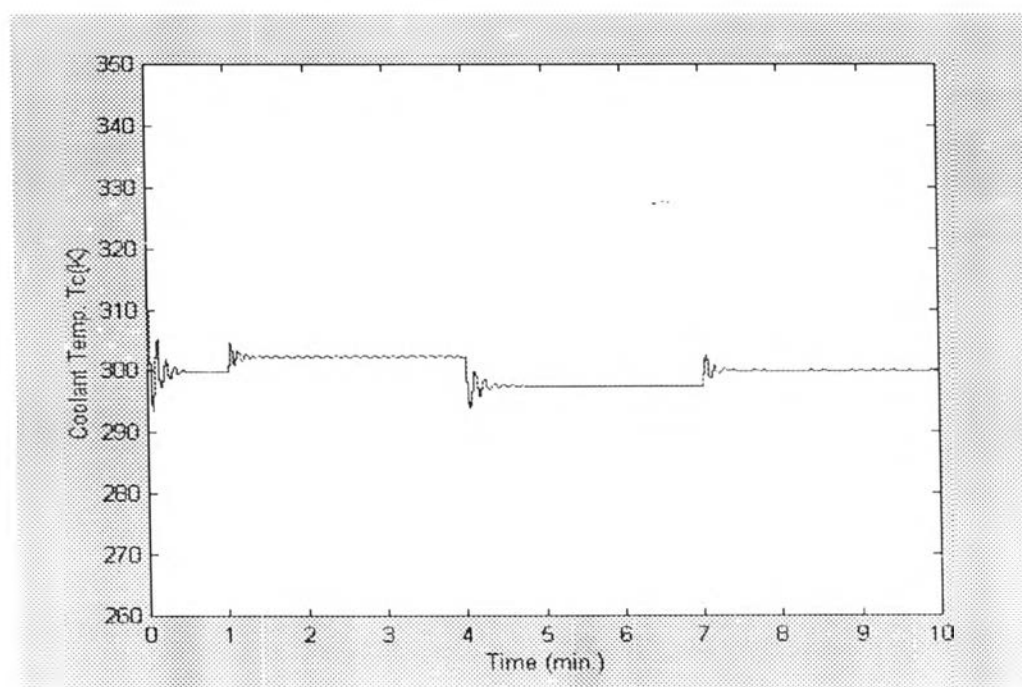
FIMC ($H = 1$) กรณีที่มีตัวรบกวน

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ



(a)



(b)

รูปที่ 6.4-34 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง ด้วยตัวควบคุม

FIMC ($H = 2$) กรณีที่มีตัวรบกวน

a.) ตัวแปรควบคุม

b.) ตัวแปรปรับ

6.5 สรุปผลการซิมูเลท

จากการทำ Simulation เพื่อหาโครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีที่เหมาะสม และนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการควบคุม คือใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีเป็นแบบจำลองภายในสำหรับตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองฟัซซีภายใน (FIMC) ซึ่งเป็นตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานแบบจำลองอย่างหนึ่ง ทำการทดสอบตัวควบคุมโดยใช้ควบคุมระดับของของเหลวของกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้นและการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบดั้งเดิม (PI และ PID) และตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองภายใน ในกรณีการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายเป็นแบบสเต็ป และการควบคุมกรณีที่มีตัวรบกวนกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบสเต็ป ได้ผลดังแสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.2 หัวข้อที่ 6.3 และ หัวข้อที่ 6.4 จากผลต่างๆที่ได้ สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

6.5.1 การหาแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีที่เหมาะสม

การหาโครงสร้างของแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีทำได้โดยการลองจัดกลุ่มของอินพุทของแบบจำลองที่สัมพันธ์กับเอาต์พุท ด้วยการทดลองดู ซึ่งสำหรับกระบวนการที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น โครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซีที่เหมาะสมสำหรับคือ โครงสร้าง

$$H(k) = R \circ H(k-1) \circ F1(k-1)$$

โดยที่ใช้ ฟัซซีเซตอ้างอิงแบบสามเหลี่ยม 6 เซ็ต เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ให้ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดต่ำสุด

สำหรับกระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่องนั้น โครงสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ฟัซซี ที่ให้ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดต่ำสุดคือ โครงสร้าง

$$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ T(k-4) \circ T(k-5) \circ Tc(k-1)$$

ซึ่งใช้จำนวนฟัซซีเซตอ้างอิงแบบสามเหลี่ยม 5 เซ็ต แต่เนื่องจากว่าเป็นโครงสร้างที่ทำให้แบบจำลองมีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นแบบจำลองภายในสำหรับการควบคุม โครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นแบบจำลองภายในเพื่อใช้กับตัวควบคุมฟัซซีแบบฐานแบบจำลองคือ โครงสร้างที่ใช้ฟัซซีเซตอ้างอิงจำนวน 5 เซ็ต ของ

$$T(k) = R \circ T(k-1) \circ T(k-2) \circ T(k-3) \circ Tc(k-1)$$

6.5.2 การทดสอบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ป

ทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมแบบดั้งเดิมแบบการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของแบบจำลอง การควบคุมทั้ง 2 แบบมีหลักการควบคุมที่ต่างกัน กล่าวคือ การควบคุมแบบดั้งเดิมอาศัยการลดค่าความผิดพลาดในการควบคุมตามแกนสัดส่วนของตัวควบคุม ตัวควบคุมจะทำการปรับค่าตัวแปรปรับไปตามความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตามสัดส่วนของแกน ค่าคงที่เวลา และเวลารีเซ็ตที่ใช้ ส่วนการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในนั้น จะทำการออฟติไมซ์หาค่าตัวแปรปรับที่เหมาะสมที่จะทำให้ตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายในเวลาที่ต้องการได้ ดังนั้น จากหลักการควบคุมที่ต่างกันนี้ การควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในจึงมีคุณสมบัติในการทำให้ตัวแปรควบคุมสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ในเวลาอันรวดเร็ว

สำหรับการควบคุมระดับของของเหลวภายในถังที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวควบคุมพีซีแบบฐานแบบจำลองสามารถควบคุมได้ดีกว่าทั้ง 2 ช่วงปฏิบัติการ คือ บริเวณด้านล่างของถังที่มีความสูง 10 ถึง 15 เซนติเมตร และ บริเวณปากถัง คือ ที่ช่วงความสูง 75 ถึง 80 เซนติเมตร ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมก็สามารถควบคุมได้ดีทั้ง 2 ช่วงการปฏิบัติการแต่มีการโอเวอร์ชูตด้วย การควบคุมแบบดั้งเดิมใช้เวลาตอบสนอง (Response time) ที่นานมากกว่ามากการควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีภายใน (FIMC)

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบถึงกวนต่อเนื่องซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นมากกว่า ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมสามารถควบคุมได้ในช่วงที่ค่อนข้างจำกัด คือ ควบคุมได้ในช่วง 345 K กับ 350 K เท่านั้น และในกรณีนี้ที่ตัวแปรปรับมีการปรับที่แคบลง การควบคุมแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการที่รวดเร็ว ในขณะที่การควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีภายในยังคงสามารถควบคุมได้ดีในช่วงที่ค่าเป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลงที่กว้างกว่า แม้ในตัวแปรปรับจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่แคบลง การควบคุมแบบดั้งเดิมยังให้ค่าอินทิกรัลของค่าความผิดพลาดที่สูงกว่าการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีภายใน การควบคุมพีซีแบบใช้แบบจำลองภายในสามารถควบคุมได้ในช่วงที่กว้างกว่า คือ ที่อุณหภูมิระหว่าง 350 K และ 340 K หรือแม้ที่อุณหภูมิ 350 ไปจนถึง 360 K โดยที่การใช้ Prediction Horizon เป็น 1 นั้นได้ผลดีกว่า Prediction Horizon เป็น 2 เพราะว่าการทำนายไปอนาคตของแบบจำลองพีซีมีความคลาดเคลื่อนอยู่ Prediction Horizon ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความคลาดเคลื่อนนั้นสะสม ส่งผลให้เกิดออฟเซตในการควบคุม

ส่วนการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายใน IMC นั้นนำมาใช้เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีภายในเนื่องจากว่า ต้องการให้การจำลองการควบคุมดังกล่าว เป็นการควบคุม

คุมที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการจำลองเลยเพื่อผลของการควบคุมในกรณีที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนของกระบวนการหรือกรณีที่เราสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาใช้ในการควบคุม เพราะใช้แบบจำลองแบบเดียวกับแบบจำลองที่ใช้ในการเลียนแบบกระบวนการ แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น การเอาการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในเป็นนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จำไม่สามารถจำลองกระบวนการได้สมบูรณ์แบบ เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนต่างๆ และตัวรบกวนกระบวนการอื่นๆที่กระบวนการจริงไม่สามารถระบุไว้ได้อย่างครอบคลุม ในขณะที่แบบจำลองพีซีซีที่ใช้เป็นแบบจำลองที่สร้างมาจากข้อมูลของอินพุทเอาต์พุทของกระบวนการจริงที่ได้รวมเอาผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณรบกวน ตัวรบกวนอื่นๆที่อยู่ภายในกระบวนการจริงเอาไว้แล้ว จึงน่าจะสมารถจะจำลองกระบวนการได้ดีกว่า

6.5.3 การทดสอบกรณีที่มีตัวรบกวนกระบวนการ

การทดสอบกรณีที่มีตัวรบกวน เป็นการทดสอบเพื่อดูว่า กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลทำให้การควบคุมของตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีซีภายในยังสามารถควบคุมให้ตัวแปรรับอยู่ในค่าเป้าหมายที่ต้องการได้อยู่หรือไม่

กระบวนการสำหรับกระบวนการควบคุมระดับที่มีการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกันทั้งการควบคุมที่ระดับความสูงบริเวณด้านล่างและด้านบนของถัง แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดสูงกว่ามากเมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายใน (IMC) และตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีซีภายใน (FIMC) และเมื่อดูจากรูปแสดงผลการควบคุมจะเห็นว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิมใช้เวลานานกว่าตัวควบคุมแบบฐานแบบจำลอง ในการกำจัดผลของตัวรบกวนที่เกิดขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายใน (IMC) กับตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองพีซีซีภายใน (FIMC) พบว่าให้ผลการควบคุมดีกันทั้ง 2 ช่วงการปฏิบัติการคือสามารถกำจัดการรบกวนนั้นได้ทันที แต่ก็มีออฟเซ็ทเล็กน้อยไม่เกิน 1% ของระดับความสูงที่ต้องการควบคุม การควบคุมของตัวควบคุม FIMC มีการแกว่งเกิดขึ้นเล็กน้อยในช่วงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนกระบวนการในขณะที่ตัวควบคุม IMC นั้นไม่เกิดการแกว่ง เมื่อใช้ Prediction Horizon ที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 ของตัวควบคุม FIMC ทำให้เกิดออฟเซ็ทมากขึ้นกว่า IMC

สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ควบคุมแบบดั้งเดิมสามารถทำการควบคุมในกรณีที่มีตัวรบกวนได้ดีกว่าตัวควบคุมพีซีซีแบบฐานแบบจำลอง เพราะมีค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดต่ำกว่าอยู่มาก แต่ตัวควบคุมแบบฐานแบบจำลองก็ยังคงมีคุณสมบัติใน

การกำจัดอิทธิพลของตัวรบกวนที่เกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิมอยู่ ส่วนตัวควบคุมแบบใช้แบบจำลองฟuzzyภายใน (FIMC) ถึงแม้จะเกิดการแกว่งอยู่บ้างในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนที่เข้ามาในกระบวนการ แต่ก็ยังสามารถควบคุมกระบวนการได้ดีในกรณีที่มีตัวรบกวน เนื่องจากว่า แบบจำลองฟuzzyที่ใช้ในตัวควบคุมนี้เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าอินพุทย้อนหลังไป 3 ตัวทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีกว่าแบบจำลองที่ใช้ในตัวควบคุม FIMC สำหรับกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ที่ใช้อินพุทย้อนหลังไปค่าเดียวเท่านั้น มีข้อจำกัดสำหรับการควบคุมแบบฐานแบบจำลองตรงที่การควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบฐานแบบจำลองนั้นมีออฟเซ็ทเล็กน้อยเมื่อใช้ Prediction Horizon ที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ใช้

6.6 บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

- 6.6.1 ตัวควบคุมด้วย FIMC ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่า ตัวควบคุมควบคุมแบบดั้งเดิมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายแบบสเต็ป สามารถจะทำให้ตัวแปรควบคุมไปสู่ค่าเป้าหมายได้รวดเร็วกว่า
- 6.6.2 ตัวควบคุมแบบ FIMC และ IMC สามารถควบคุมกระบวนการได้ในช่วงที่กว้างกว่า ตัวควบคุมแบบดั้งเดิม
- 6.6.3 ในกรณีที่ตัวแปรปรับสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงที่แคบลง ตัวควบคุม FIMC และ IMC สามารถควบคุมได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิม
- 6.6.4 ในการทดสอบตัวควบคุมกรณีที่มีการรบกวนกระบวนการ พบว่า ตัวควบคุมแบบ FIMC และ IMC สามารถกำจัดตัวรบกวนได้เร็วกว่าการควบคุมแบบดั้งเดิม มีออฟเซ็ทเล็กน้อย ในขณะที่ตัวควบคุมแบบดั้งเดิมนั้นเกิด โอเวอร์ชูทที่มาก แต่ไม่มีออฟเซ็ท
- 6.6.5 สำหรับ FIMC ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบกล่องดำแล้ว การกำหนด Prediction Horizon มากขึ้นทำให้เกิดออฟเซ็ทและใช้เวลาในการควบคุมในสัดส่วนที่มากกว่า IMC อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากการที่แบบจำลองฟuzzyนี้มีค่าความผิดพลาดอยู่ และความผิดพลาดนี้สะสมอยู่ในการควบคุม
- 6.6.6 ข้อมูลอินพุท-เอ้าท์พุทของกระบวนการที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองมีความสำคัญ และมีผลต่อความแม่นยำและความสามารถในการระบุหาของแบบจำลองความสัมพันธ์ฟuzzyที่ได้มาก ถ้าช่วงของข้อมูลไม่ได้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการระบุหาแบบจำลอง เมื่อนำไปใช้เป็นแบบจำลองกระบวนการจะมีผลทำให้มีบางช่วงที่ไม่สามารถระบุหาเอ้าท์พุทของกระบวนการได้ ดังนั้น จึงต้องเลือกข้อมูลที่ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการจำลอง ต้องมีข้อมูลอินพุท-เอ้าท์พุทที่สภาวะคงตัวต่างๆในบริเวณที่ต้องการควบคุม
- 6.6.7 แบบจำลองฟuzzyจะมีขนาดใหญ่ตามความซับซ้อนของกระบวนการที่ต้องการจำลอง จะเห็นได้ว่าอินพุทของกระบวนการไหลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมี 2 ตัว เป็นอินพุทเดียวกันกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่

ใช้ ในขณะที่กระบวนการของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนกว่ามีการใช้ค่าของความเข้มข้นของสาร A และอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ ย้อนหลังไป 1 ค่ามาเป็นอินพุทของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ในแบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซีไม่ได้ใช้ความเข้มข้นของสาร A ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการตัวแปรหนึ่งมาเป็นอินพุทของแบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซี เนื่องจากตัวแปรนี้เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถติดตามค่าของตัวแปรนี้ได้ในกระบวนการจริง จึงใช้อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ย้อนหลังไป 3 ค่า มาเป็นอินพุทในแบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซี

- 6.6.8 แบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซีเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการหรือใช้ประมาณค่าตัวแปรที่ไม่สามารถหาค่าได้ เช่น ค่าความเข้มข้นของสาร ค่าพีเอช ค่าสัมประสิทธิ์หรือพารามิเตอร์ต่างๆในกระบวนการเคมี
- 6.6.9 จากคุณสมบัติในการระบุหาแบบจำลองพีซีซีจากข้อมูลอินพุทเอาต์พุทโดยตรง การควบคุมในลักษณะนี้ เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับกาควบคุมความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ ของเครื่องปฏิกรณ์แบบถึงกวนต่อเนื่องได้โดยตรง โดยไม่ต้องควบคุมความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ผ่านการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์อีกทีหนึ่ง
- 6.6.10 นอกจากจะใช้แบบจำลองความสัมพันธ์พีซีซีนี้เป็นแบบจำลองภายในสำหรับการควบคุมแบบใช้แบบจำลองภายในแล้ว ยังสามารถใช้เป็นตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์และพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อนำพารามิเตอร์นั้นไปใช้อีกทีหนึ่งได้