

บทที่ 6

การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการขีมูลเลขแบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการ 2 กระบวนการ ซึ่งได้แก่ถังที่มีของของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ค่าอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากการขีมูลเลขจะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง และตัวควบคุมของกระบวนการ โดยใช้ขงงานนิวรรต หลังจากนั้นจะทำการทดสอบตัวควบคุมที่ได้จากขงงานนิวรรตโดยซึ่งมี 5 โครงสร้าง กับตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งได้แก่เซ็ทพอยท์ มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเค็พ ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเค็พ และพารามิเตอร์ของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง

6.1 การขีมูลเลขแบบจำลองกระบวนการคณิตศาสตร์

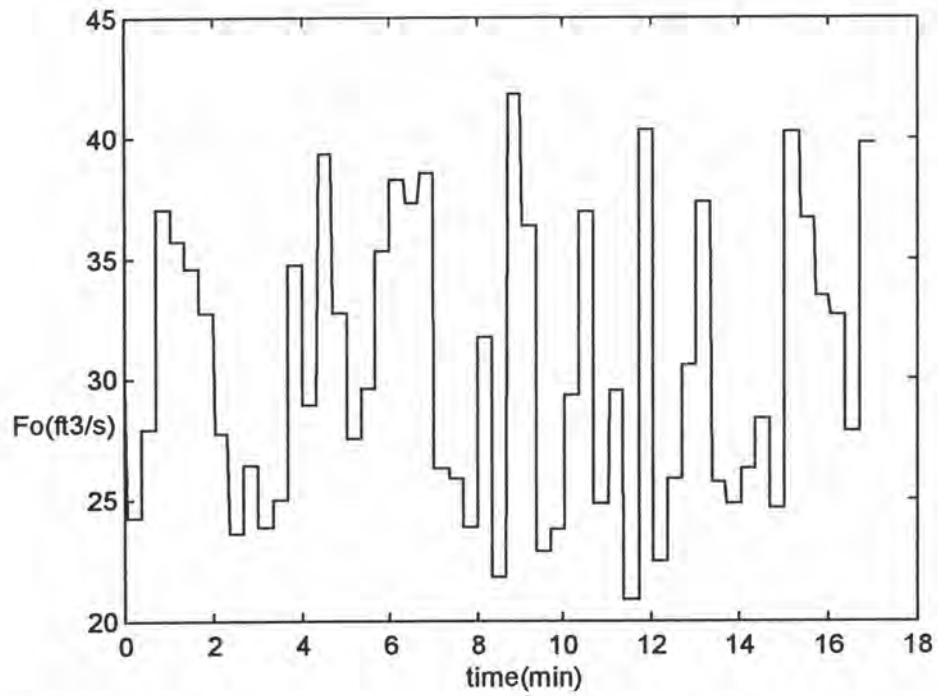
กระบวนการที่ใช้ในการทดลองคือกระบวนการถังที่มีของของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และ เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ซึ่งกระบวนการทั้งสองเป็นกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น การขีมูลเลขกระบวนการจะใช้วิธีเชิงตัวเลข (numerical method) โดยวิธีรั้งกัตาอันดับ 4 ซึ่งกล่าวไว้ในภาคผนวก ข.

6.1.1 ถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง (Gravity flow tank)

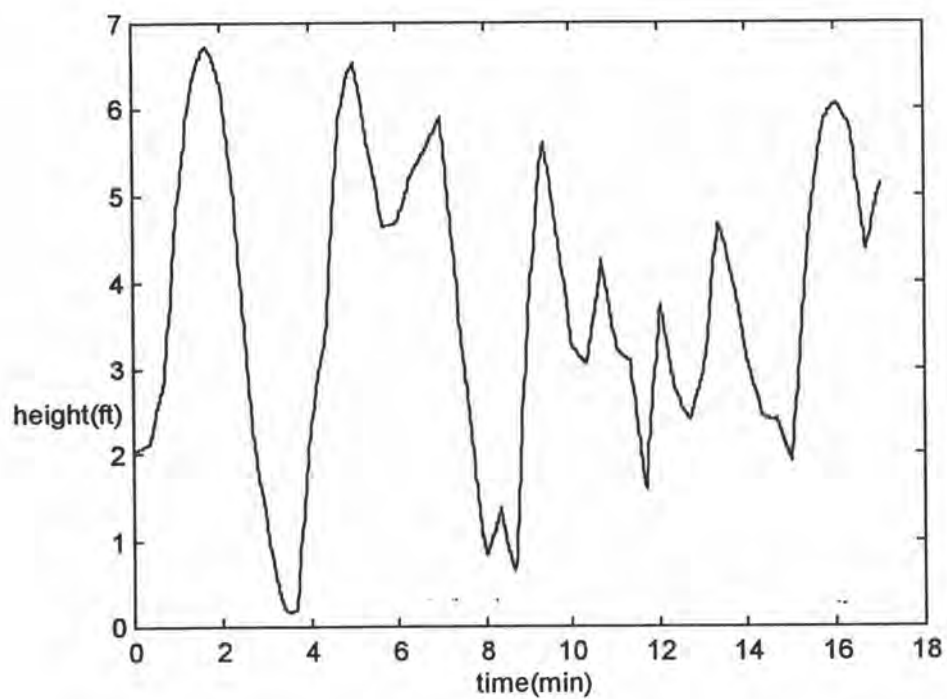
การไหลของเหลวจากถังตามแรงโน้มถ่วง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ไดนามิกส์ของกระบวนการอธิบายได้ด้วยสมการอนุพันธ์ 2 สมการคือ สมการ (5.5) และ (5.6) โดยให้อัตราการไหลของเหลวขาเข้า, F_0 เป็นอินพุตให้แก่กระบวนการ โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสตีพอย่างสุ่มทุก ๆ 30 วินาที ให้มีค่าอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของค่าที่สภาวะคงตัว แล้วบันทึกค่าเอาต์พุตของกระบวนการซึ่งคือ ระดับความสูงของของเหลวในถัง, h ในทุก ๆ 1 วินาทีเป็นเวลา 17 นาที ดังนั้นเราจะได้ข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างค่าอินพุต และเอาต์พุต จำนวน 1020 ค่า โดยทำข้อมูลอีกชุดหนึ่งมี 1020 ค่าเช่นเดียวกัน ข้อมูลในชุดแรกใช้เพื่อฝึกข่ายงานนิเวรล ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 6.1 และ 6.2 ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.3 และ 6.4 ใช้เพื่อทดสอบข่ายงาน (cross validation)

6.1.2 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (CSTR)

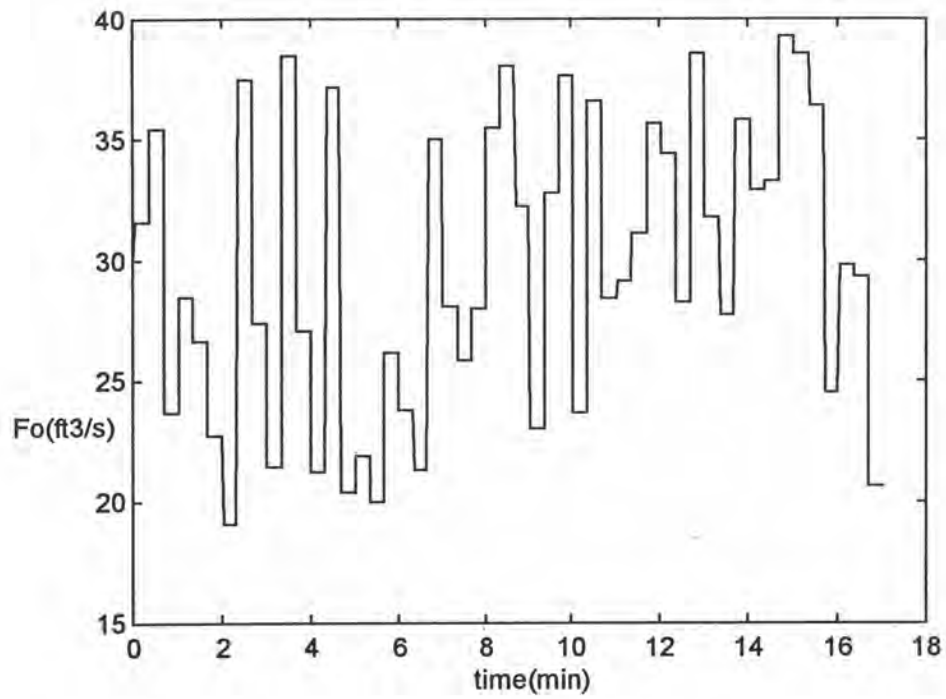
เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ซึ่งแสดงในหัวข้อที่ 5.2 โดยตราการไหลของน้ำหล่อเย็นในขดลวด, q_c เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพอย่างสุ่มทุก ๆ 10 วินาที อยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของค่าที่สภาวะคงตัว บันทึกค่าความเข้มข้นของสาร A ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์, C_A ในทุก ๆ 0.01 นาทีเป็นเวลา 15 นาที จะได้ชุดข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างค่าอินพุต กับเอาต์พุต จำนวน 1500 ค่า ทำข้อมูลอีกชุดหนึ่งให้มีค่า 1500 ค่าเช่นเดียวกัน ข้อมูลในชุดที่แรกใช้เพื่อฝึกข่ายงานนิเวรลซึ่งแสดงในรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ และข้อมูลในชุดที่ 2 ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.7 และ 6.8 ใช้เพื่อทดสอบข่ายงาน (cross validation)



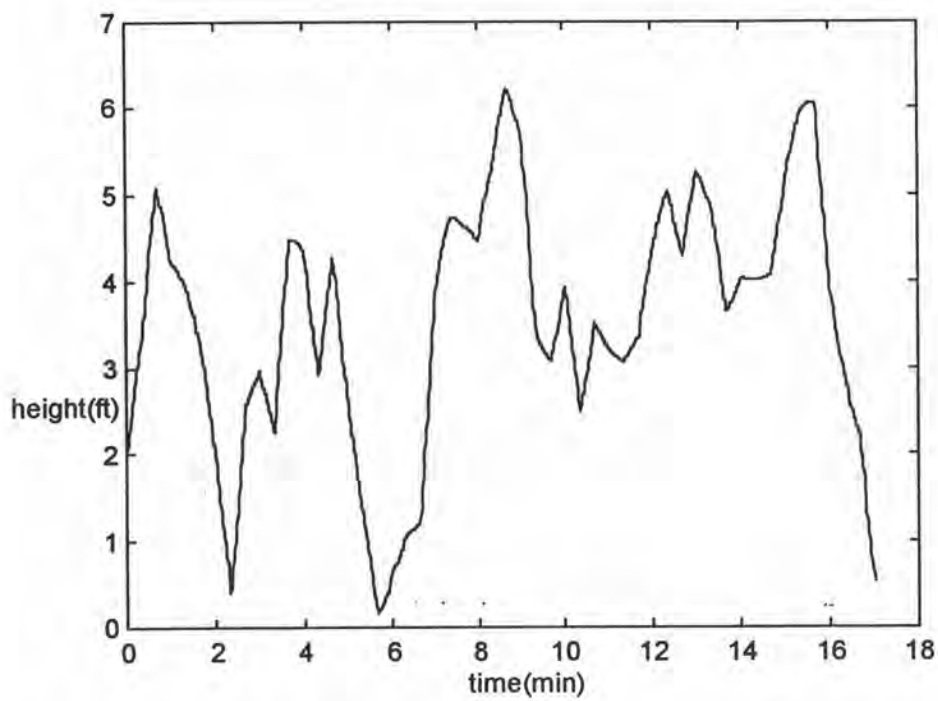
รูปที่ 6.1 อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า ใช้เป็นอินพุทให้ช่างงานสำหรับการเรียนรู้



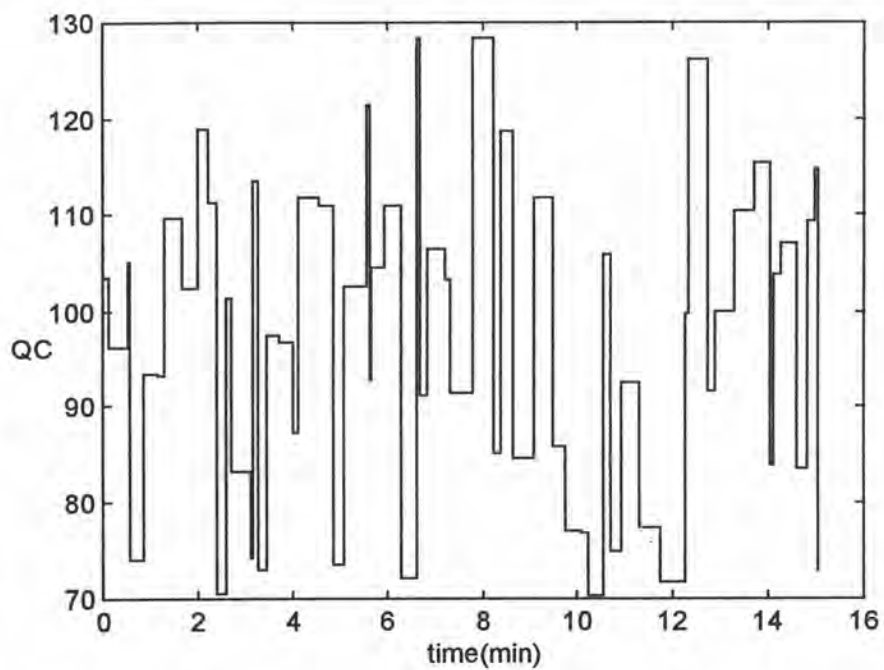
รูปที่ 6.2 ระดับความสูงของของเหลวในถังเป็นข้อมูลเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้



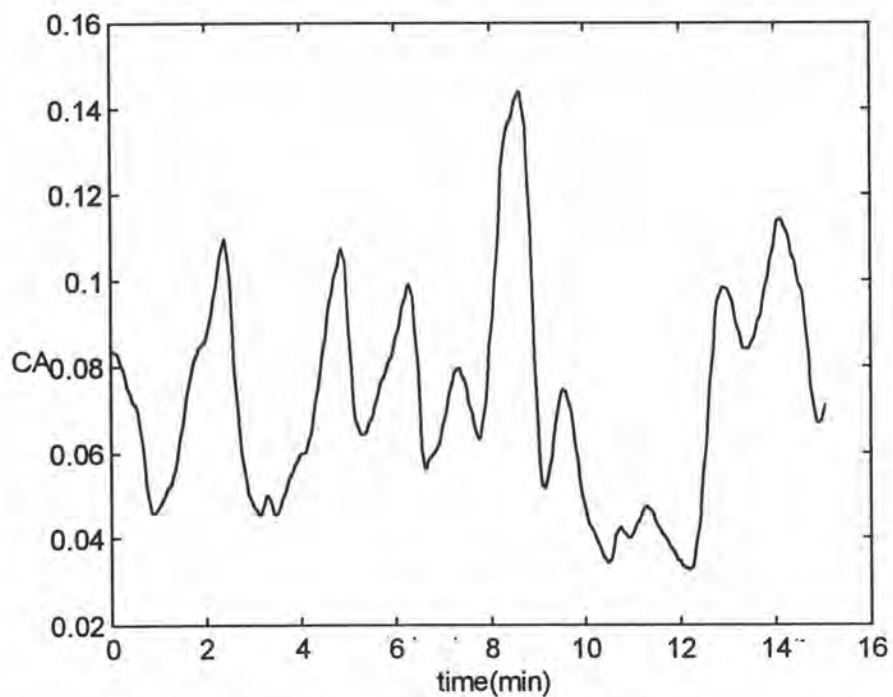
รูปที่ 6.3 อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า ใช้เป็นอินพุตในการทดสอบข่ายงาน



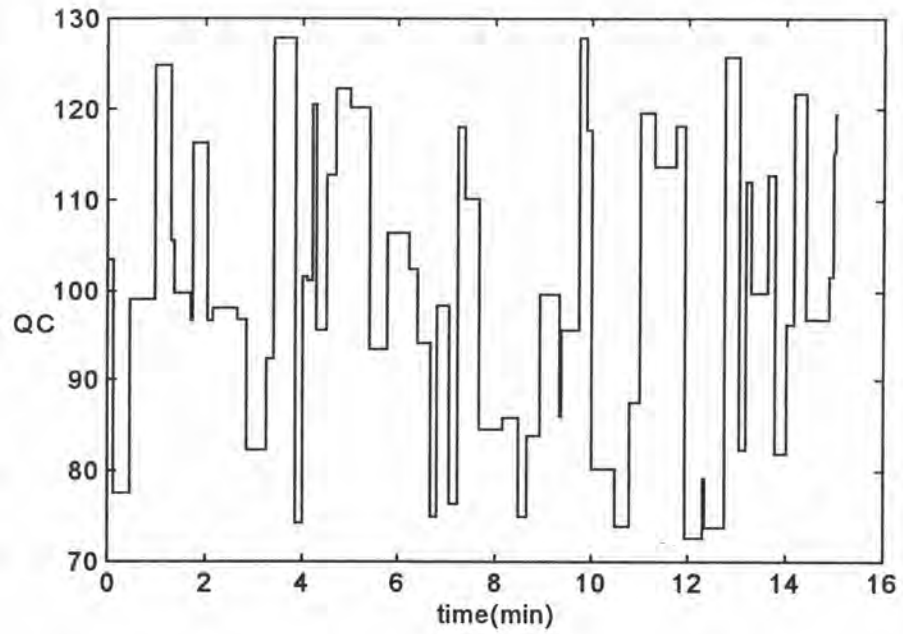
รูปที่ 6.4 ระดับความสูงของของเหลวในถังเป็นข้อมูลเป้าหมายสำหรับทดสอบข่ายงาน



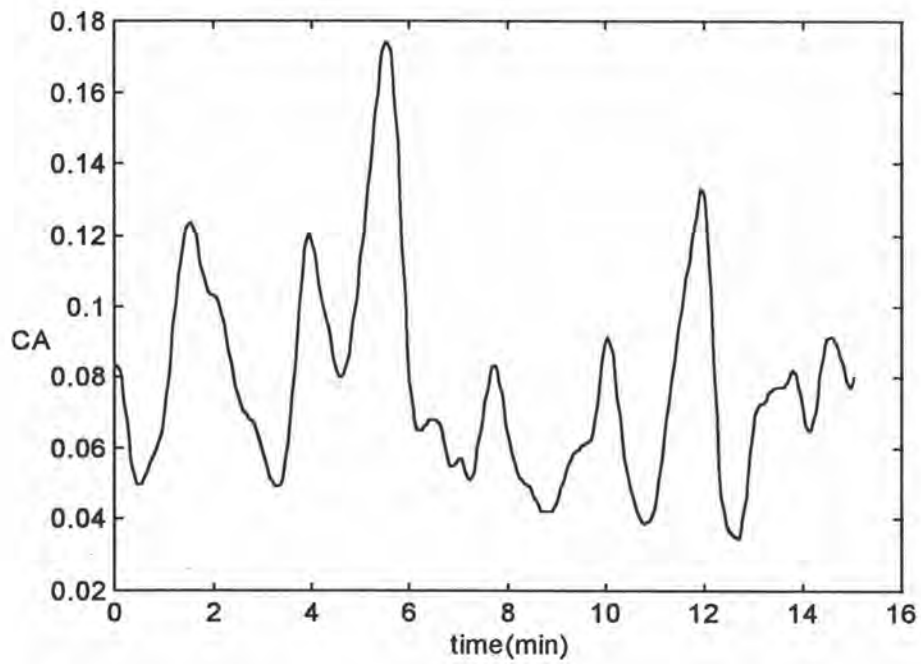
รูปที่ 6.5 อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นใช้เป็นอินพุทให้ช่างงานสำหรับการเรียนรู้



รูปที่ 6.6 ความเข้มข้นของสาร A ใช้เป็นข้อมูลเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้



รูปที่ 6.7 อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ใช้เป็นอินพุทในการทดสอบข่ายงาน



รูปที่ 6.8 ความเข้มข้นของสาร A ใช้เป็นข้อมูลเป้าหมายสำหรับทดสอบข่ายงาน

6.2 โครงสร้างของข่ายงานนิเวศ

โครงสร้างของข่ายงานนิเวศที่ต้องพิจารณาคือ จำนวนนิเวศในชั้นอินพุตซึ่งขึ้นอยู่กับอินพุตเวกเตอร์ จำนวนนิเวศในชั้นซ่อน จำนวนนิเวศในชั้นเอาต์พุตซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนเอาต์พุตของกระบวนการ และจำนวนชั้นซ่อน

1. จำนวนนิเวศในชั้นอินพุต

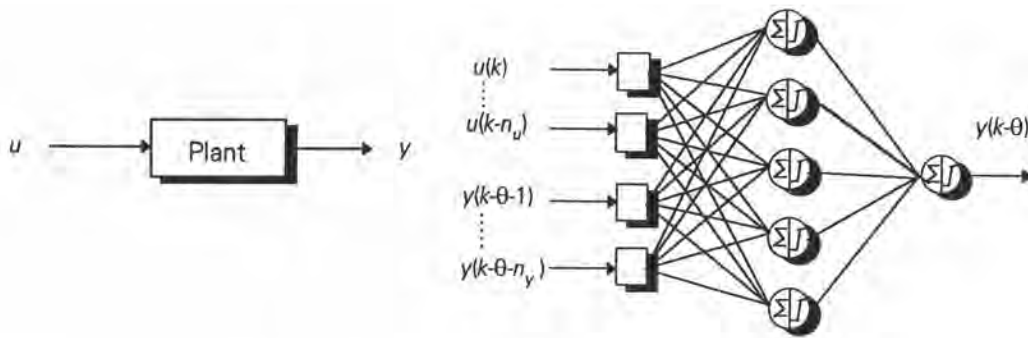
จำนวนนิเวศในชั้นอินพุตนี้จะขึ้นอยู่กับอินพุตเวกเตอร์ที่ป้อนให้แก่ข่ายงานนิเวศ อินพุตเวกเตอร์ประกอบไปด้วยค่าอินพุตของกระบวนการ และค่าเอาต์พุตของกระบวนการ โดยอินพุตเวกเตอร์ของแบบจำลอง กับแบบจำลองผกผันมีความแตกต่างกันดังนี้คือ

ก. อินพุตเวกเตอร์ของแบบจำลอง

อินพุตเวกเตอร์ของแบบจำลองประกอบไปด้วยค่าอินพุตของกระบวนการในปัจจุบัน และอินพุตของกระบวนการในอดีต, n_u และค่าเอาต์พุตของกระบวนการในอดีต, n_y ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.9 โดยค่าเหล่านี้จะเป็นอินพุตให้แก่ข่ายงาน ดังนั้นในชั้นอินพุตของข่ายงานจึงมีนิเวศ, $N_I = n_u + n_y + 1$ หน่วย ในรูปที่ 6.9 เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจจะใช้สัญลักษณ์อินพุตเวกเตอร์ (I) ซึ่งมีสมาชิก N_I ตัวโดยกำหนดเป็นสัญลักษณ์ดังนี้

$$I(k) = \{u(k), \dots, u(k-n_u), y(k-\theta-1), \dots, y(k-\theta-n_y)\}$$

เมื่อ $u(k)$ คือค่าอินพุตของกระบวนการที่เวลา k และ $y(k)$ คือเอาต์พุตของกระบวนการที่เวลา k และ θ คือเดดไทม์



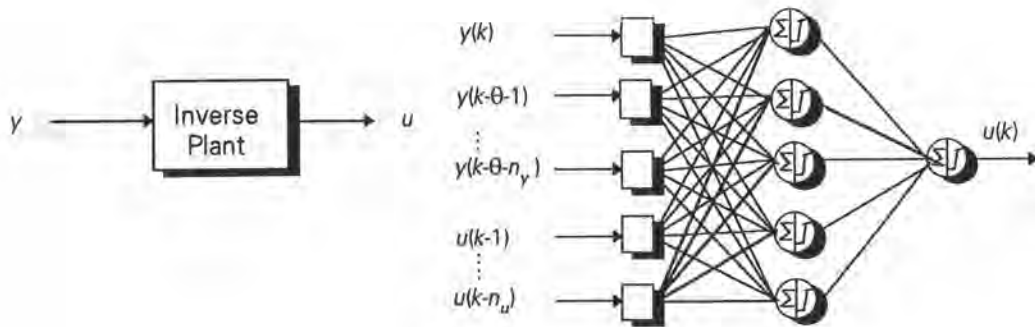
รูปที่ 6.9 องค์ประกอบของอินพุทเวกเตอร์ของแบบจำลอง

ข. อินพุทเวกเตอร์ของแบบจำลองผกผัน

อินพุทเวกเตอร์ของแบบจำลองผกผันประกอบไปด้วยค่าเอาต์พุทของกระบวนการที่ไม่มีเดดไทม์ และเอาต์พุทของกระบวนการที่มีเดดไทม์ในอดีต, n_y และค่าอินพุทของกระบวนการในอดีต, n_u ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.10 โดยค่าเหล่านี้จะเป็นอินพุทให้แก่ข่ายงาน ดังนั้นในชั้นอินพุทของข่ายงานจึงมีนิวรอน, $N_2 = n_u + n_y + 1$ หน่วย ในรูปที่ 6.10 เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจง่าย เราจะใช้สัญลักษณ์อินพุทเวกเตอร์ (I) ซึ่งมีสมาชิก N_2 ตัวโดยกำหนดเป็นสัญลักษณ์ดังนี้

$$I(k) = f\{y(k), y(k-\theta-1), \dots, y(k-\theta-n_y), u(k-1), \dots, u(k-n_u)\}$$

เมื่อ $u(k)$ คือค่าอินพุทของกระบวนการที่เวลา k และ $y(k)$ คือเอาต์พุทของกระบวนการที่เวลา k และ θ คือเดดไทม์



รูปที่ 6.10 องค์ประกอบของอินพุทเวกเตอร์ของแบบจำลองผกผัน

2. จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน

จำนวนของนิวรอนในชั้นซ่อนหาได้จากการทดลอง ในการทดลองนี้จะใช้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเป็น 3, 5, 7, 9, และ 11 นิวรอนตามลำดับ โครงสร้างที่เหมาะสมคือจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ทำให้ค่าผิดพลาดระหว่างเอาต์พุทของข่ายงานกับค่าเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด

6.2.1 โครงสร้างของแบบจำลอง

ในการทดลองนี้ข่ายงานนิวรัลจะนำมาใช้สร้างแบบจำลองของกระบวนการถั่งที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และเครื่องปฏิกรณ์ถั่งกวนแบบต่อเนื่อง โครงสร้างของแบบจำลองทั้งสองกระบวนการนี้ ประกอบด้วยจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุทซึ่งขึ้นอยู่กับอินพุทเวกเตอร์ และจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน สำหรับจำนวนนิวรอนในชั้นเอาต์พุทจะมี 1 นิวรอน เนื่องจากกระบวนการทั้งสองนี้มีเอาต์พุท 1 ค่า

6.2.1.1 ถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง

ก. อินพุทเวกเตอร์

ในการศึกษาจำนวนอินพุทเวกเตอร์นี้ จะทำการทดลองโดยหาจำนวนการหน่วงเวลาของอินพุท, n_u และของเอาต์พุทของกระบวนการ, n_y เกณฑ์ในการเลือกอินพุทเวกเตอร์คือ ถ้าโครงสร้างของอินพุทเวกเตอร์ใดให้ค่าผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (sum square error, SSE) น้อยที่สุดแสดงว่าเป็นโครงสร้างที่ดีที่สุดในการนำไปฝึกข่ายงานนิเวรัล และต้องคำนึงถึงขนาดของข่ายงานนิเวรัล ในตารางที่ 6.1 อินพุทเวกเตอร์ที่ให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดมีหลายโครงสร้าง และเมื่อคำนึงถึงขนาดของข่ายงานด้วย ดังนั้นอินพุทเวกเตอร์ที่เหมาะสมก็คือ $n_u = 0$ และ $n_y = 2$ เนื่องจากเป็นข่ายงานที่มีขนาดเล็กที่สุดในบรรดาโครงสร้างที่ให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

ข. จำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อน

ในทำนองเดียวกับการหาอินพุทเวกเตอร์ ถ้าโครงสร้างของอินพุทเวกเตอร์ใดให้ค่าผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุดแสดงว่าเป็นโครงสร้างที่ดีที่สุดในการนำไปฝึกข่ายงานนิเวรัล ในตารางที่ 6.1 จำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อนมีค่าเท่ากับ 5 และ 9 ทำให้ค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุด และเมื่อคำนึงถึงขนาดของข่ายงานพบว่า จำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อนเท่ากับ 5 เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า

ตารางที่ 6.1 ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของกระบวนการถั่งที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วงโดยมีอินพุทเวกเตอร์ และจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน

จำนวนการหน่วงเวลา		ค่าผิดพลาด				
		จำนวนนิรอนในชั้นซ่อน				
อินพุท	เอ๊าท์พุท	3	5	7	9	11
0	0	8.9646	8.5578	6.579	6.6674	5.5034
0	1	0.0561	0.0539	0.0412	0.0276	0.0331
0	2	0.0227	0.0002	0.0006	0.0002	0.0054
0	3	0.0288	0.0006	0.0004	0.0003	0.0046
0	4	0.0318	0.026	0.0035	0.0033	0.0044
1	0	8.2968	6.1491	6.4406	5.3373	3.8832
1	1	0.0503	0.0492	0.0258	0.0223	0.0324
1	2	0.0306	0.0045	0.0032	0.0028	0.0051
1	3	0.0245	0.001	0.0028	0.0017	0.0046
1	4	0.0265	0.0011	0.0022	0.0015	0.0047
2	0	8.1062	5.5228	6.5099	6.0578	3.8066
2	1	0.0531	0.0509	0.0254	0.0217	0.0309
2	2	0.0247	0.0002	0.0007	0.0002	0.0051
2	3	0.0242	0.0003	0.0004	0.0003	0.0046
2	4	0.0213	0.0145	0.0004	0.0003	0.0046
3	0	7.7737	5.8487	5.5875	4.0843	2.2367
3	1	0.0531	0.048	0.0222	0.021	0.0304
3	2	0.0229	0.0003	0.0007	0.0003	0.0045
3	3	0.0208	0.0003	0.0002	0.0003	0.0046
3	4	0.0202	0.0003	0.0004	0.0003	0.0046
4	0	6.5387	6.0147	3.9357	3.8505	2.8293
4	1	0.0542	0.0451	0.0202	0.0195	0.03
4	2	0.0227	0.0007	0.0012	0.0002	0.0045
4	3	0.0021	0.0003	0.0005	0.0003	0.0046
4	4	0.0186	0.0003	0.0004	0.0003	0.0046

ตารางที่ 6.2 ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง โดยมี อินพุทเวกเตอร์ และจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน

จำนวนการหน่วงเวลา		ค่าผิดพลาด				
		จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน				
อินพุท	เอาต์พุท	3	5	7	9	11
0	0	6.3443	5.5124	5.5275	5.2159	5.6099
0	1	0.288	0.2622	0.1635	0.1578	0.1379
0	2	0.0241	0.0048	0.0053	0.0024	0.0066
0	3	0.0194	0.0071	0.0079	0.0062	0.0069
0	4	0.022	0.008	0.0069	0.0054	0.0055
1	0	6.3148	5.3345	5.2088	4.908	5.2221
1	1	0.2778	0.2628	0.157	0.152	0.1403
1	2	0.024	0.0141	0.0093	0.0099	0.0098
1	3	0.0194	0.0066	0.0061	0.0051	0.0053
1	4	0.0355	0.0065	0.0059	0.0049	0.0056
2	0	5.7053	5.4549	5.4822	5.0932	4.7334
2	1	0.2038	0.1817	0.1604	0.1457	0.1681
2	2	0.0307	0.0051	0.0055	0.0033	0.0068
2	3	0.019	0.0062	0.0047	0.0038	0.0039
2	4	0.0176	0.0069	0.0041	0.0039	0.0041
3	0	6.4714	5.114	5.3477	4.4116	4.655
3	1	0.199	0.1882	0.1625	0.1408	0.1449
3	2	0.0238	0.0052	0.0098	0.0091	0.0071
3	3	0.0248	0.0064	0.0044	0.0032	0.0034
3	4	0.0143	0.0057	0.0046	0.0036	0.0042
4	0	6.0592	4.8398	4.3667	3.6766	3.7269
4	1	0.2807	0.2022	0.139	0.1459	0.1566
4	2	0.0305	0.0151	0.0113	0.008	0.0086
4	3	0.0248	0.0057	0.0044	0.0033	0.0039
4	4	0.021	0.0064	0.0038	0.0037	0.0047

6.2.1.2 เครื่องปฏิกรณ์ตั้งกวางแบบต่อเนื่อง

ก. อินพุทเวกเตอร์

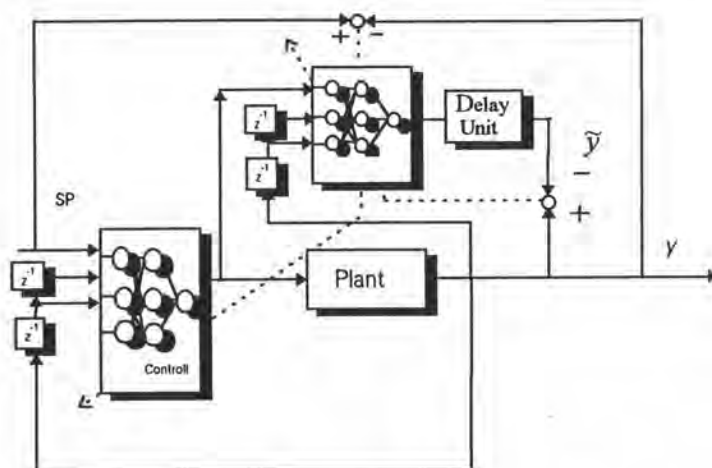
การทดลองทำโดยหาจำนวนการหน่วงเวลาของอินพุท, m_u และของเอาต์พุทของกระบวนการ, m_y โดยถ้าโครงสร้างของอินพุทเวกเตอร์ที่ให้ ค่าผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (sum square error, SSE) น้อยที่สุดแสดงว่าเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปฝึกข่ายงานนิวรัล ในตารางที่ 6.2 อินพุทเวกเตอร์ที่ให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดคือ $m_u = 0$ และ $m_y = 2$ ตามลำดับ

ข. จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน ในตารางที่ 6.2 จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมีค่าเท่ากับ 9 นิวรอน จะให้ค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุด ดังนั้นจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสมเท่ากับ 9 นิวรอน

6.2.2 โครงสร้างของตัวควบคุมโดยใช้ข่ายงานนิวรัล

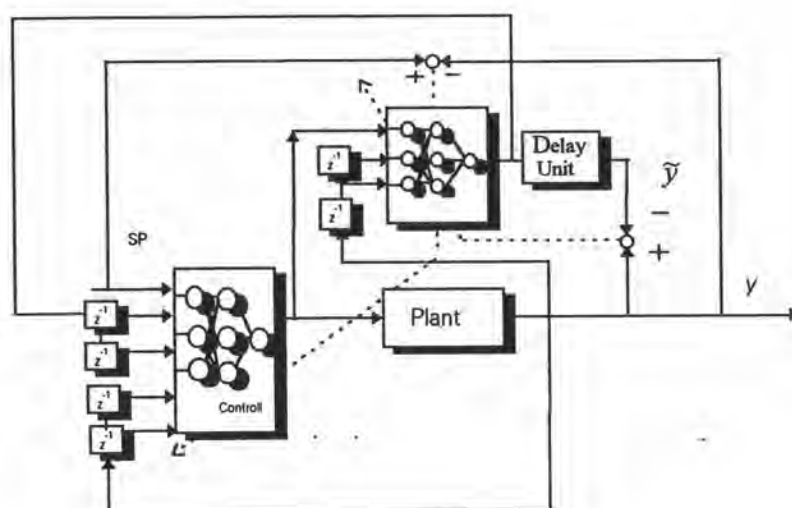
โครงสร้างของการควบคุมที่ใช้ข่ายงานนิวรัลเป็นตัวควบคุมมี 5 โครงสร้างที่จะนำมาทดสอบ โครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 เป็นโครงสร้างแบบนิวรัลอะแดพทีฟที่มีอินพุทเวกเตอร์ของตัวควบคุมแตกต่างกัน โครงสร้างที่ 4 เป็นโครงสร้างแบบเอ็นไอเอ็มซี (nonlinear internal model control) ซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมจากข่ายงานนิวรัล และฟิลเตอร์ และโครงสร้างนี้จะใช้ตัวทำนายสมิตท์ (smith predictor) สำหรับชดเชยเดคไทม์ และโครงสร้างที่ 5 เป็นโครงสร้างที่ใช้ตัวควบคุมเหมือนกับโครงสร้างที่ 4 แต่ไม่ได้ใช้แบบจำลองจากข่ายงานนิวรัล โดยแต่ละโครงสร้างมีรายละเอียดดังนี้

ก. โครงสร้างที่ 1 เป็นโครงสร้างการควบคุมแบบอะแดปทีฟ ซึ่งได้อธิบายในบทที่ 4



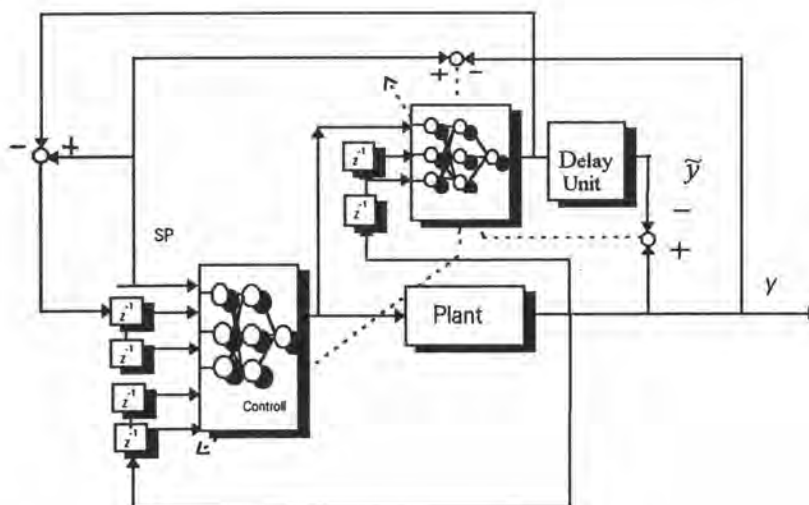
รูปที่ 6.11 โครงสร้างการควบคุมที่ 1

ข. โครงสร้างที่ 2 เป็นโครงสร้างที่ประยุกต์มาจากโครงสร้างที่ 1 โดยมีค่าเอาต์พุตของแบบจำลองของข่างานที่ไม่มีเดดไทม์เป็นอินพุตให้แก่ตัวควบคุมจากข่างานนิเวศด้วย ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.12



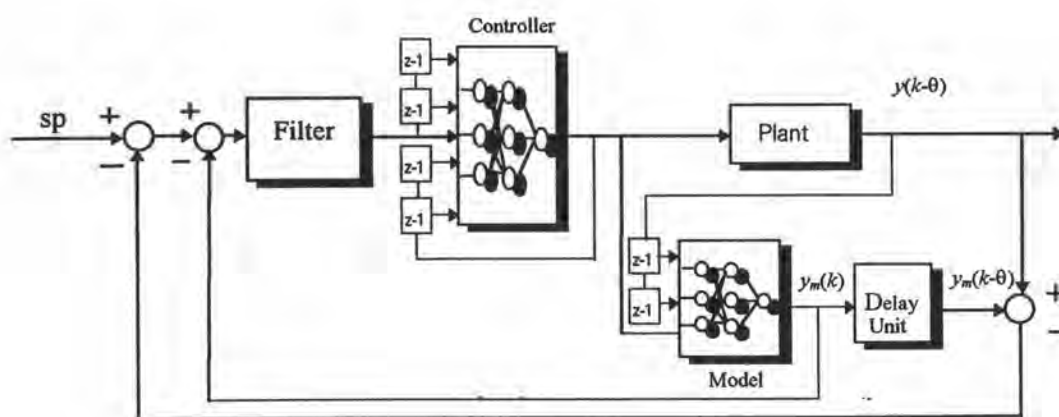
รูปที่ 6.12 โครงสร้างการควบคุมที่ 2

ค. โครงสร้างที่ 3 เป็นโครงสร้างที่คล้ายโครงสร้างที่ 2 แต่ใช้ผลต่างระหว่างเซ็ทพอยท์กับเอาต์พุตของแบบจำลองของข่ายงานที่ไม่มีเคคไทม์เป็นอินพุตให้แก่ตัวควบคุมจากข่ายงานนิวรัลแทน ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.13



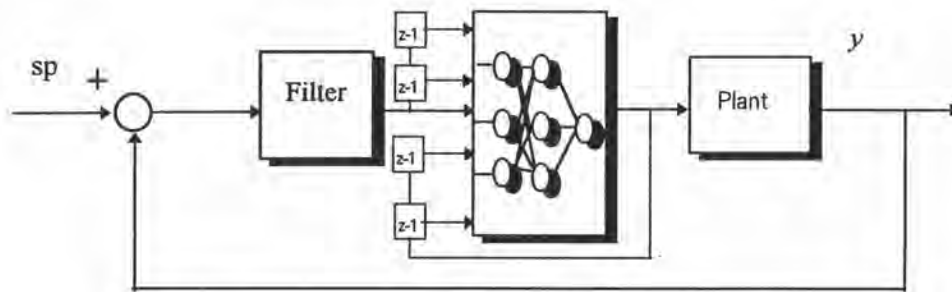
รูปที่ 6.13 โครงสร้างการควบคุมที่ 3

ง. โครงสร้างที่ 4 เป็นโครงสร้างแบบเอ็นไอเอ็มซี ซึ่งแสดงในรูป 6.14



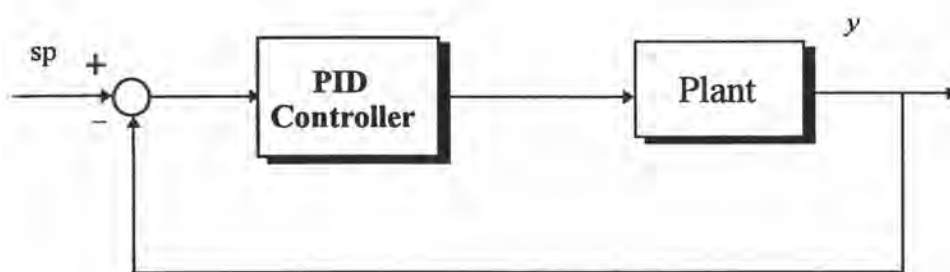
รูปที่ 6.14 โครงสร้างการควบคุมที่ 4

จ. โครงสร้างที่ 5 เป็นโครงสร้างที่ใช้แนวความคิดมาจากโครงสร้างที่ 4 และตัวควบคุมแบบพีไอดีมารวมกัน โดยมีตัวควบคุมจากข่ายงานนิวรัลที่ใช้หลักการเดียวกับโครงสร้างที่ 4 และใช้สัญญาณป้อนกลับที่เหมือนตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.15



รูปที่ 6.15 โครงสร้างการควบคุมที่ 5

จ. ตัวควบคุมแบบพีไอดีซึ่งแสดงในรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 6.3 ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองพหุคูณของถั่งที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วงโดยมีจำนวนนิรอนในชั้นช้อนที่แตกต่างกัน

โครงสร้างที่	ค่าผิดพลาด (SSE)				
	จำนวนนิรอนในชั้นช้อน				
	3	5	7	9	11
1	10.2	9.5	7.7	8.5	11.2
2	12.1	8.3	5.5	6.8	7.9
3	14.1	10.8	7.1	8.5	11.5
4	14.4	12.1	6.9	7.8	9.9
5	15.2	12.0	6.3	7.0	14.2

ตารางที่ 6.4 ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองพหุคูณของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องโดยมีจำนวนนิรอนในชั้นช้อนที่แตกต่างกัน

โครงสร้างที่	ค่าผิดพลาด (SSE)				
	จำนวนนิรอนในชั้นช้อน				
	3	5	7	9	11
1	15.9	15.4	19.39	11.43	12.1
2	14.3	13.2	20.1	11.2	15.7
3	12.1	10.8	15.1	10.4	11.5
4	13.4	12.1	14.9	9.9	10.5
5	15.2	12.0	13.1	10.3	14.2

จากโครงสร้างการควบคุมทั้ง 5 เราจำเป็นต้องหาโครงสร้างของข่ายงานที่เหมาะสมกับกระบวนการทั้งสอง อินพุทเวกเตอร์จะถูกกำหนดโดยโครงสร้างของการควบคุม ดังนั้นโครงสร้างที่ต้องการหาคือจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนซึ่งหาได้จากการทดลอง ในการทดลองจะใช้จำนวนนิรอนเป็น 3, 5, 7, 9 และ 11 นิรอนตามลำดับ

ก. ถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง

จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสมของแต่ละโครงสร้างแสดงในตารางที่ 6.3 พบว่าทั้ง 5 โครงสร้างจะให้ค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยสุด เมื่อจำนวนนิรอนเท่ากับ 7 นิรอน

ข. เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสมของแต่ละโครงสร้างแสดงในตารางที่ 6.4 พบว่าทั้ง 5 โครงสร้างจะให้ค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยสุดเมื่อจำนวนนิรอนเท่ากับ 9 นิรอน

6.3 การทดสอบตัวควบคุมจากข่ายงานนิรวล

ในการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ใช้ข่ายงานนิรวลทั้ง 5 โครงสร้างจะเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยจะทดสอบในสภาวะที่เซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ และพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลง

เกณฑ์ในการตัดสินสมรรถนะการทำงานของตัวควบคุมทั้งหมดจะใช้หลักของการอินทิกรัลของความผิดพลาด (integral error) วิธีที่เลือกใช้คืออินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE)

6.3.1 ผลการทดลอง

การทดลองจะทำการทดสอบทั้งสองโครงสร้างนี้ในสถานะที่ค่าเช้ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป ตัวรับกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป และพารามิเตอร์ของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง กระบวนการที่ใช้ในการทดสอบคือกระบวนการถั่งที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และเครื่องปฏิกรณ์ถั่งกวนแบบต่อเนื่อง

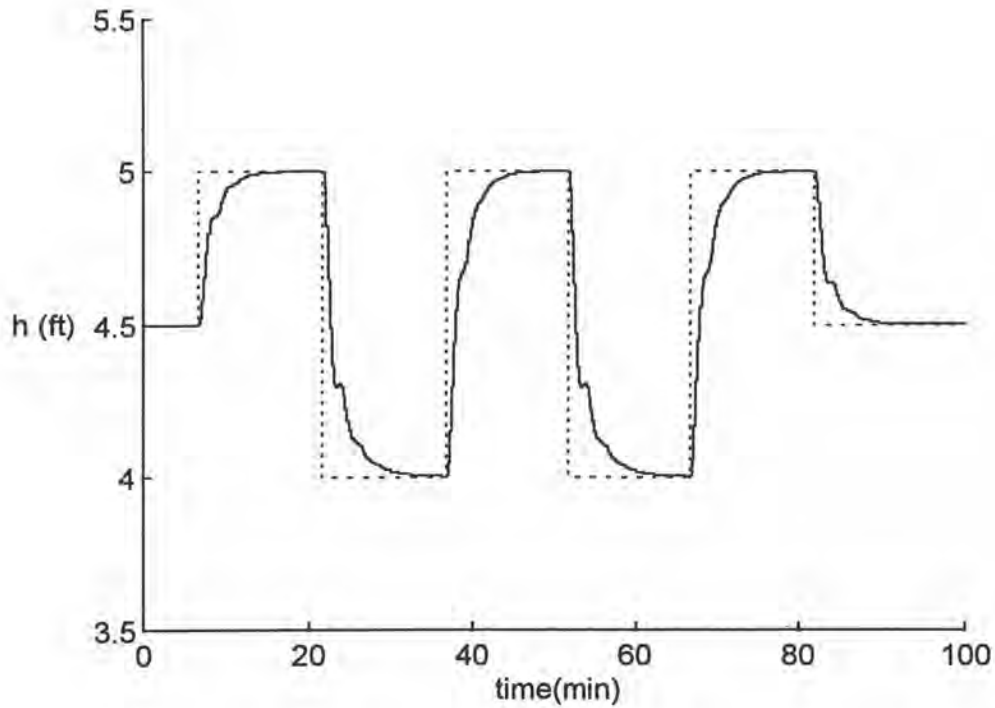
6.3.1.1 ถั่งที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง

1. เช้ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป

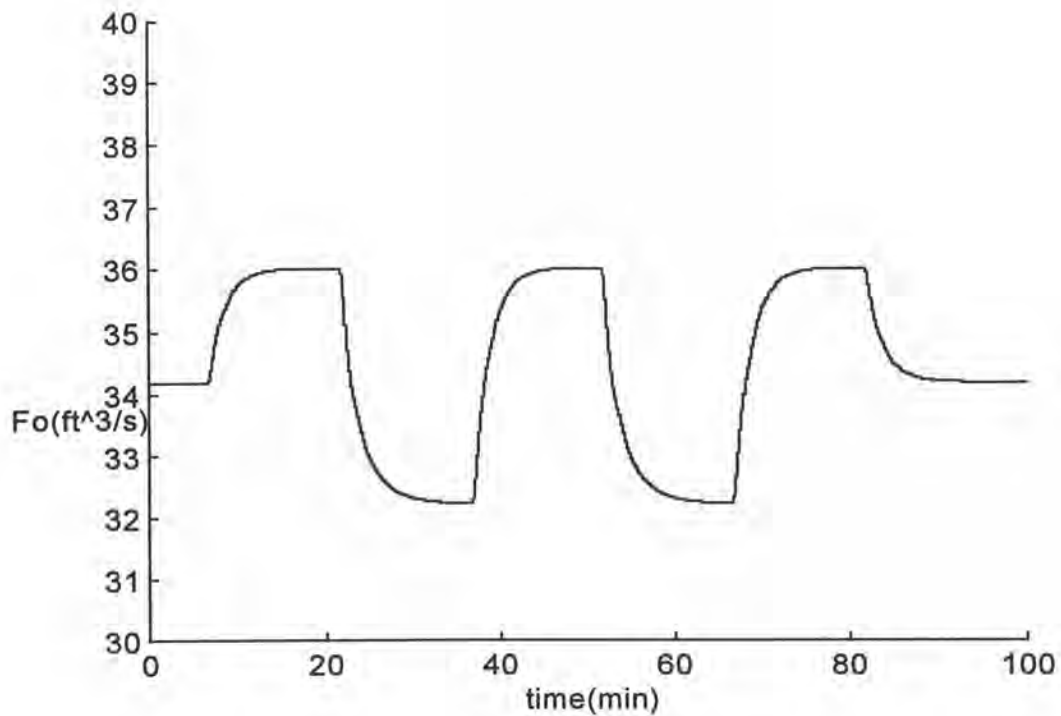
สำหรับการทดลองที่เช้ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป โดยเช้ทพอยท์จะเปลี่ยนจากระดับความสูงของของเหลวที่ 4.5 ฟุต ไปเป็น 5 ฟุตที่เวลา 5 นาที, 4 ฟุตที่เวลา 20 นาที, 5 ฟุตที่เวลา 35 นาที, 4 ฟุตที่เวลา 50 นาที, 5 ฟุตที่เวลา 65 นาที และ 4.5 ฟุตที่เวลา 80 นาที โดยมีค่าเดคไทม์เป็น 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ ผลการของการควบคุมแสดงในตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.17 - 6.34 ตามลำดับ

2. ตัวรับกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป

สำหรับการทดลองตัวรับกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป โดยมีอัตราการไหลของของเหลวเข้ามา $1 \text{ ft}^3/\text{s}$ ที่เวลา 10 นาที $-1 \text{ ft}^3/\text{s}$ ที่เวลา 25 นาที และ $1 \text{ ft}^3/\text{s}$ ที่เวลา 40 นาที ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.35 โดยมีค่าเดคไทม์เป็น 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ ผลการของการควบคุมแสดงในตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.36 - 6.53 ตามลำดับ

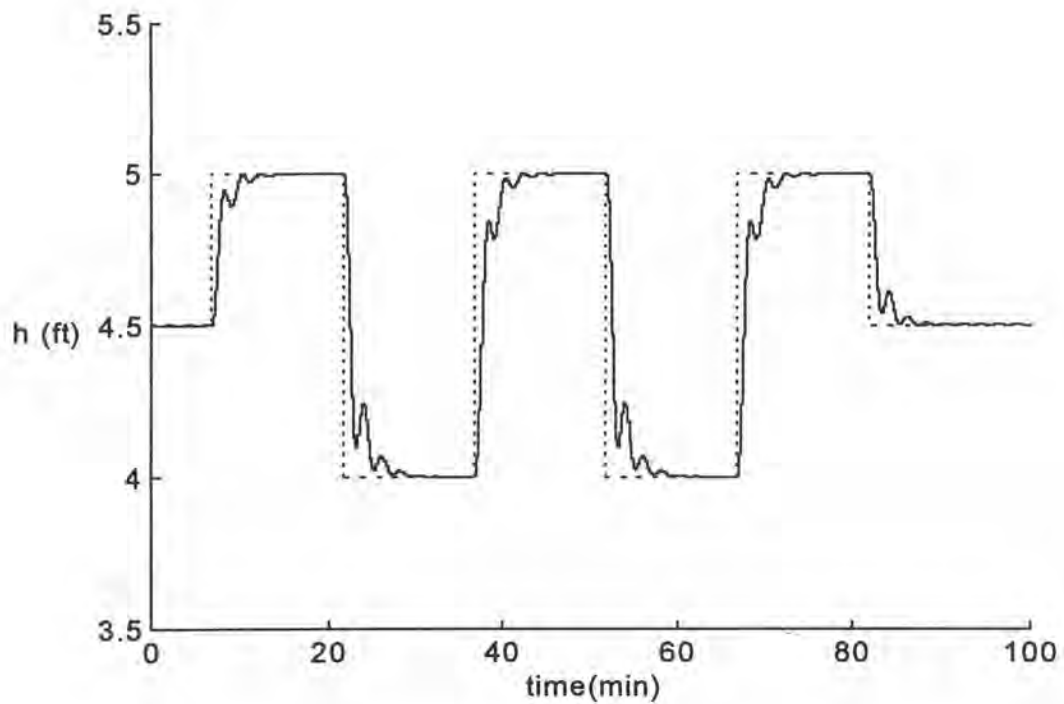


(a)

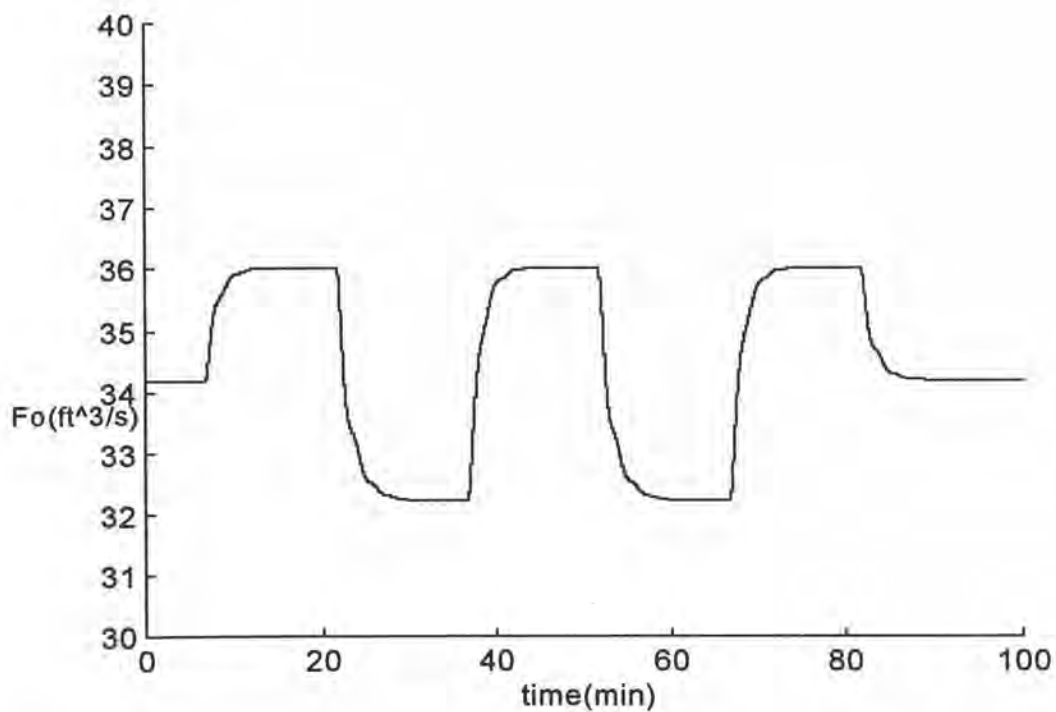


(b)

รูปที่ 6.17 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

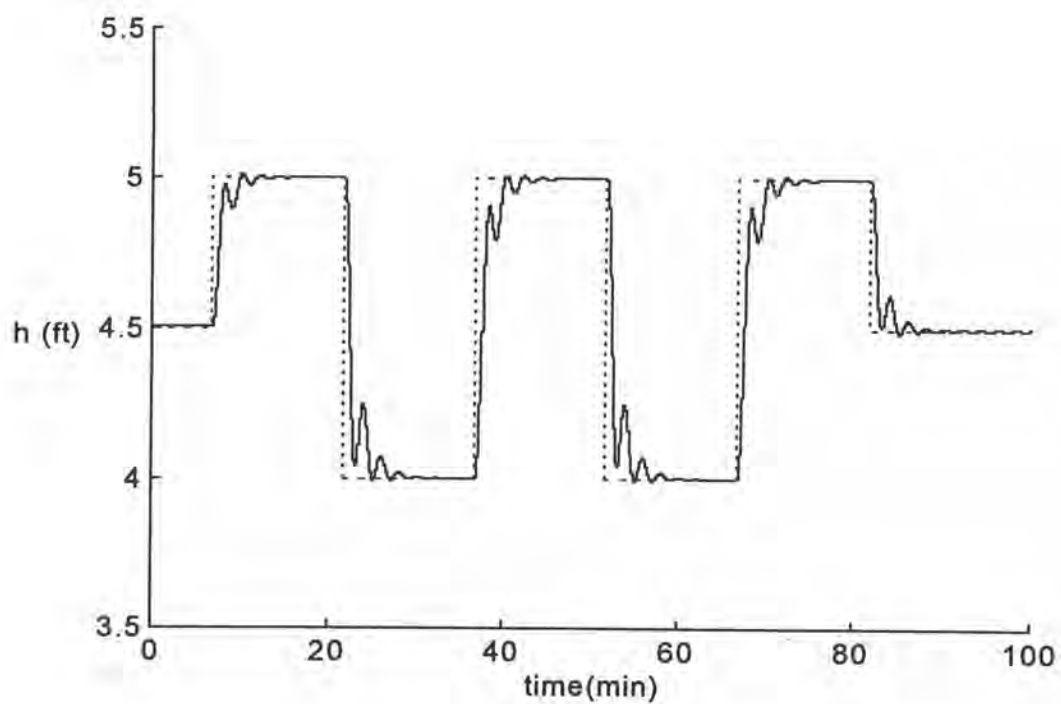


(a)

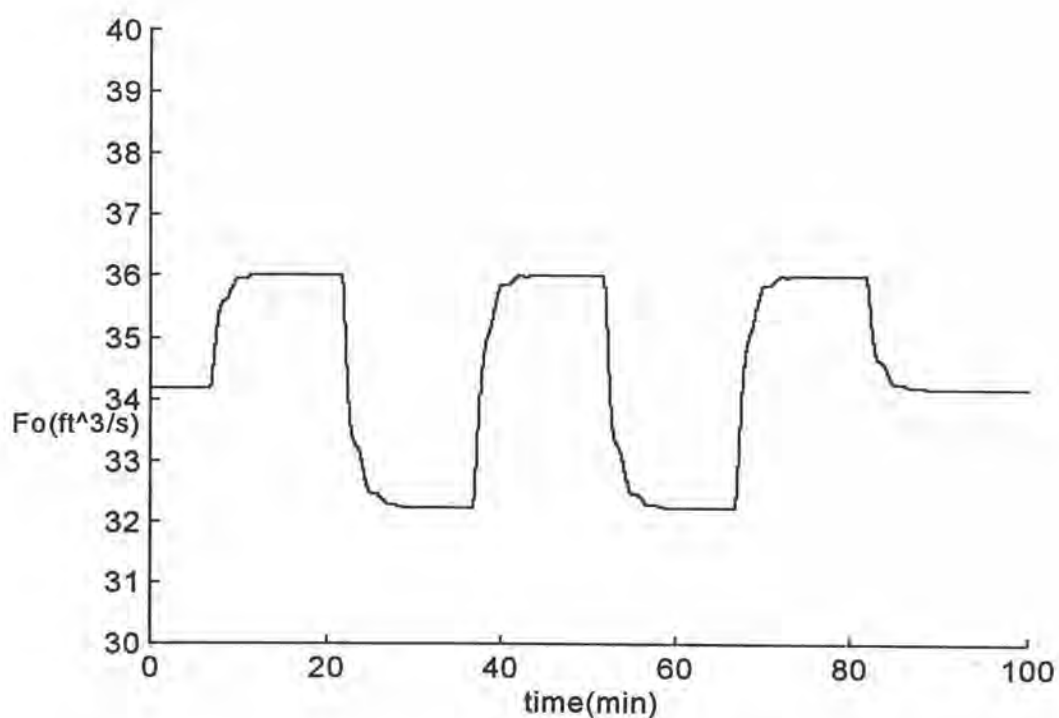


(b)

รูปที่ 6.18 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสตีพ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

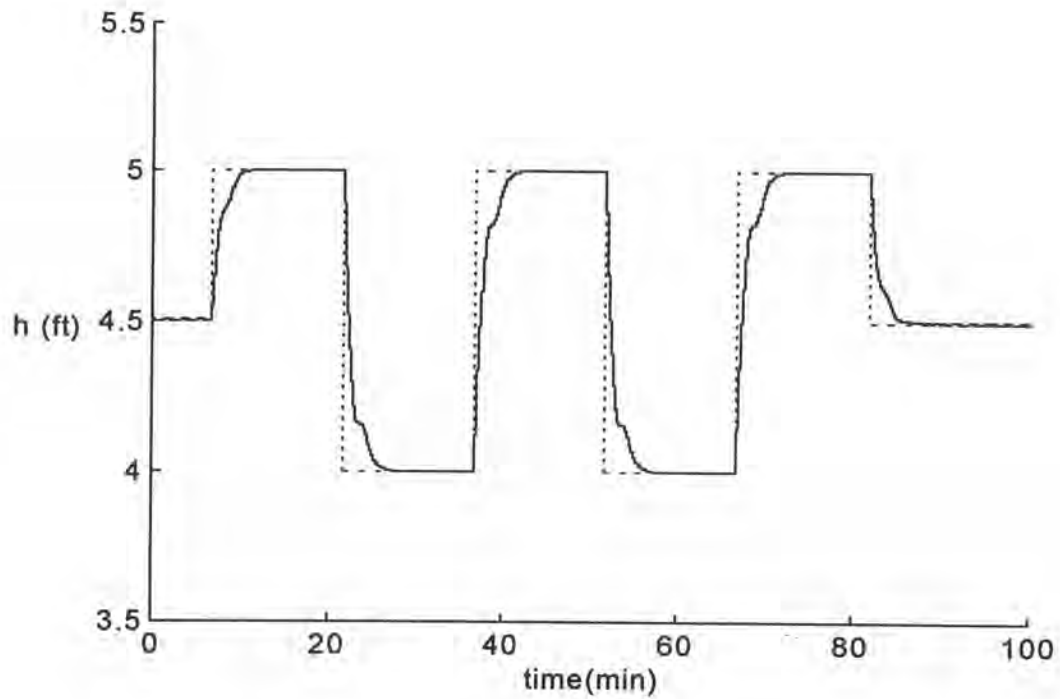


(a)

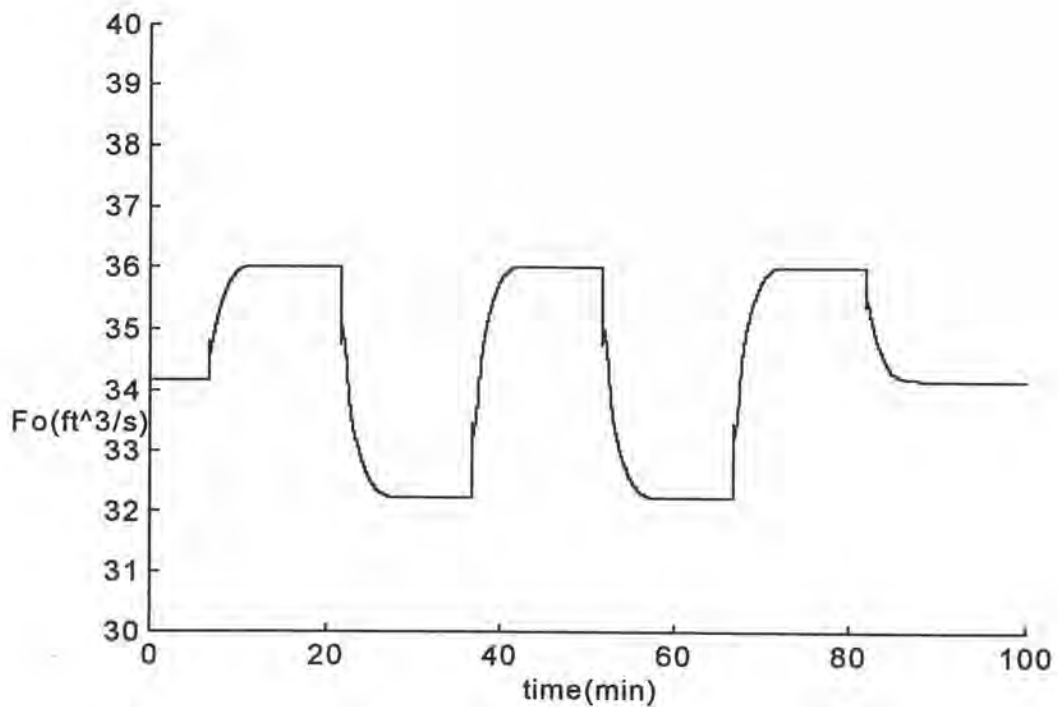


(b)

รูปที่ 6.19 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสตีพ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

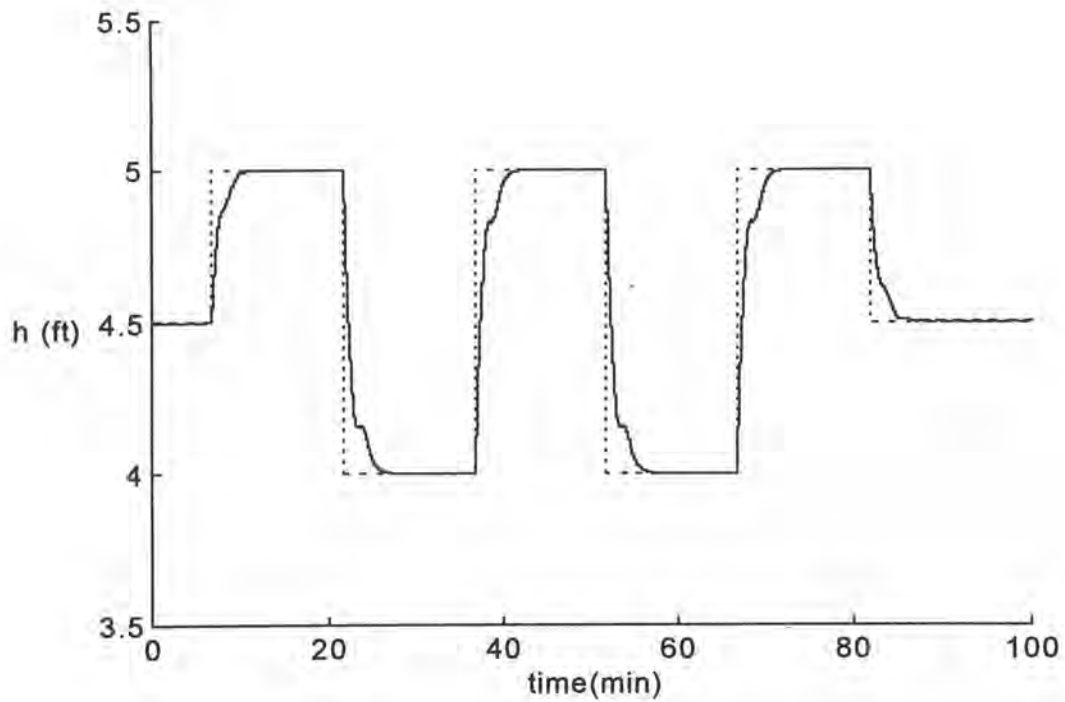


(a)

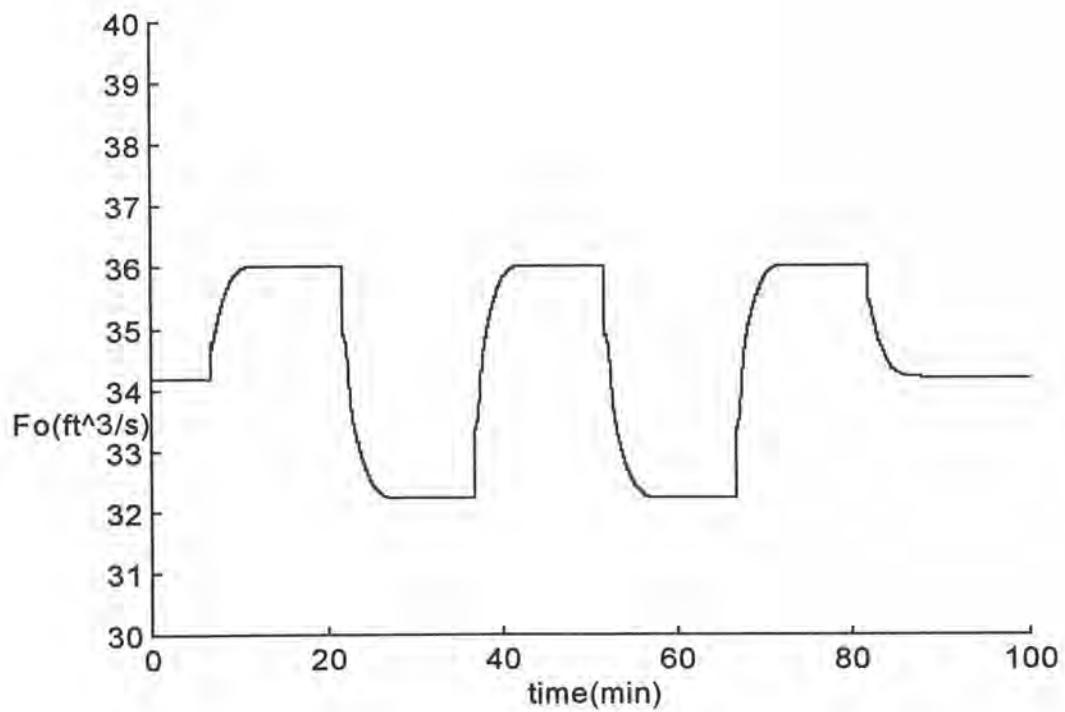


(b)

รูปที่ 6.20 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมี การเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

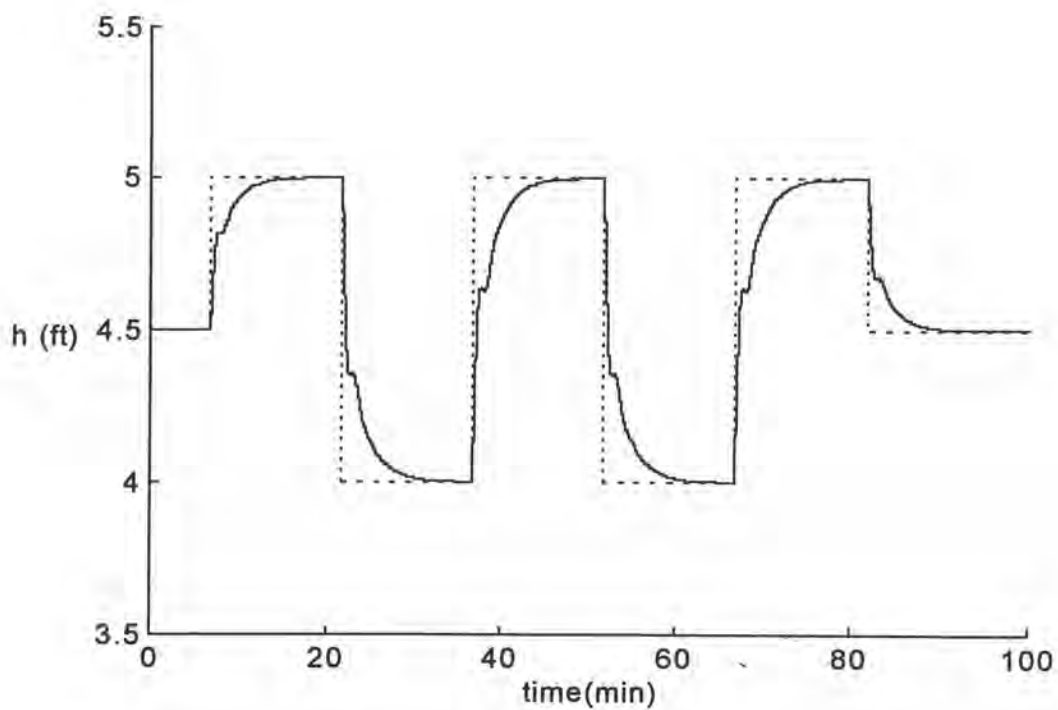


(a)

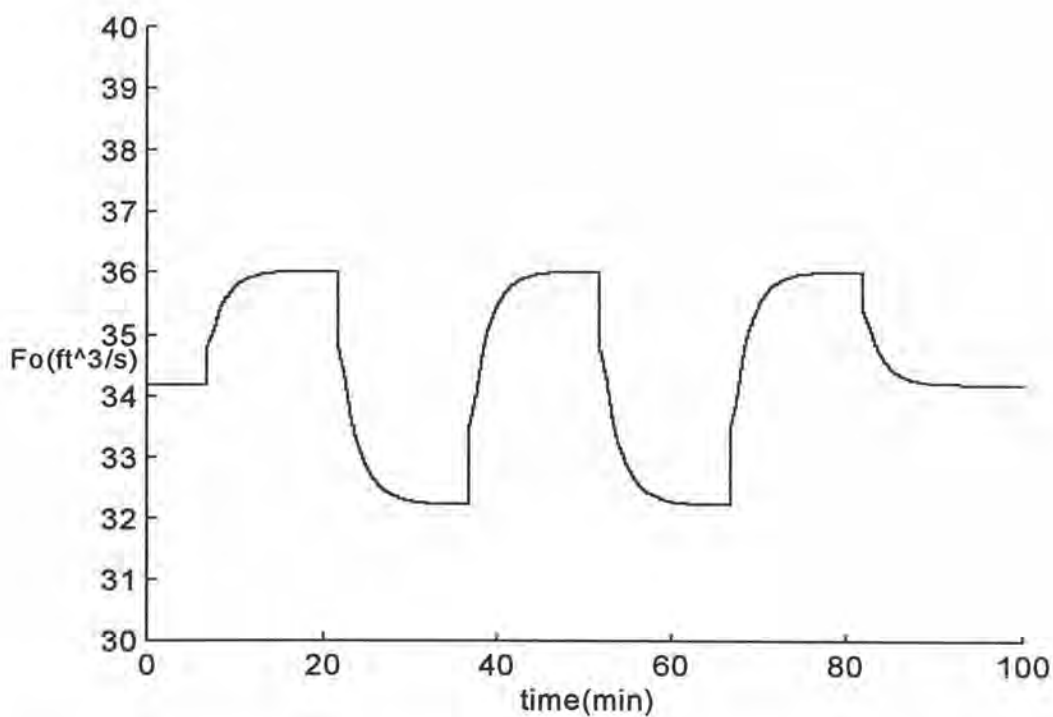


(b)

รูปที่ 6.21 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการดังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

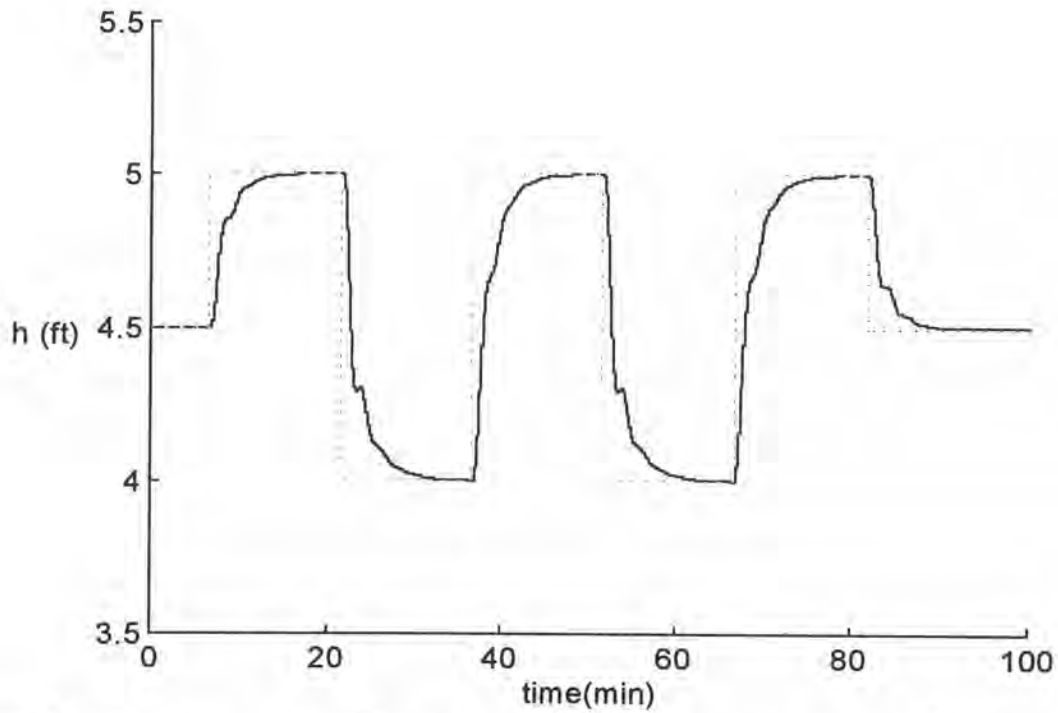


(a)

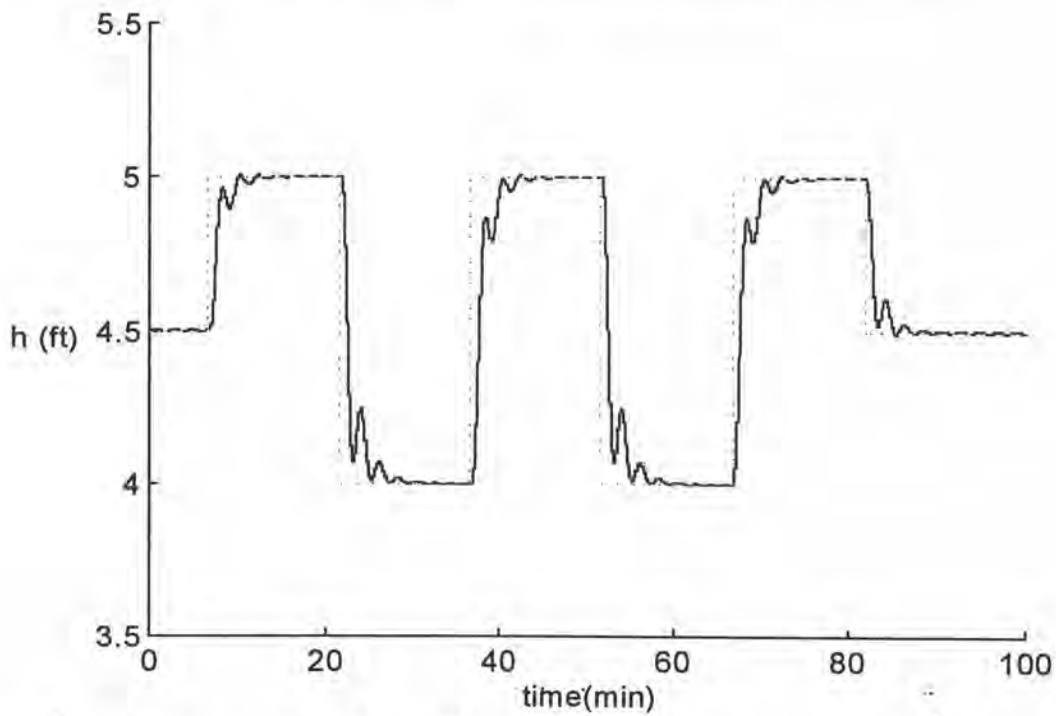


(b)

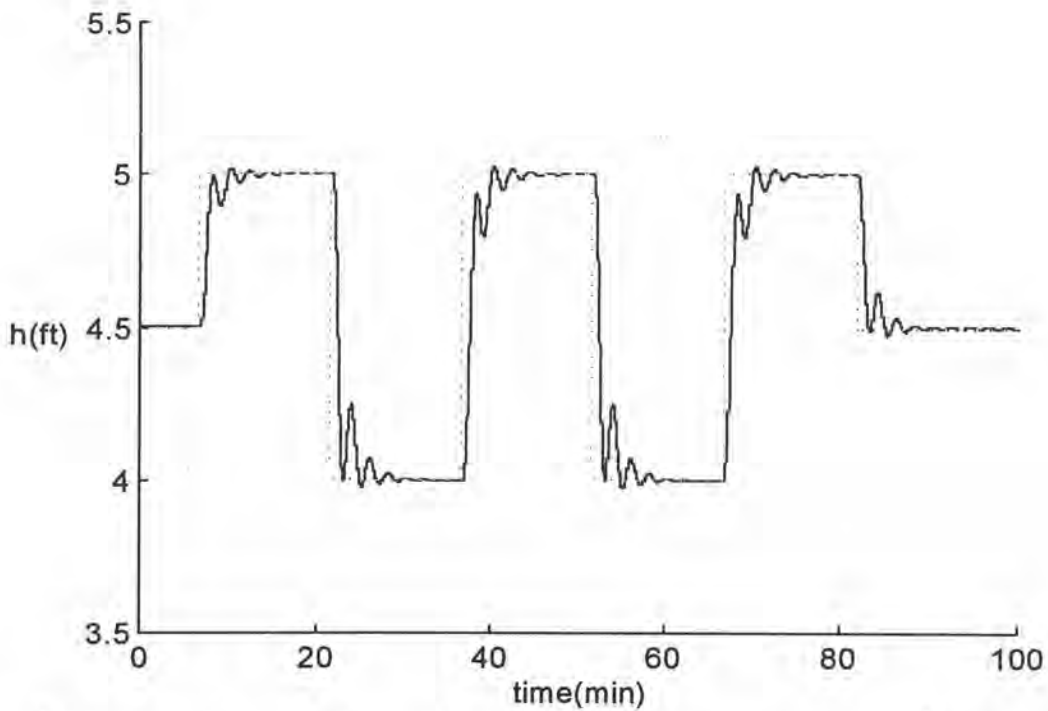
รูปที่ 6.22 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



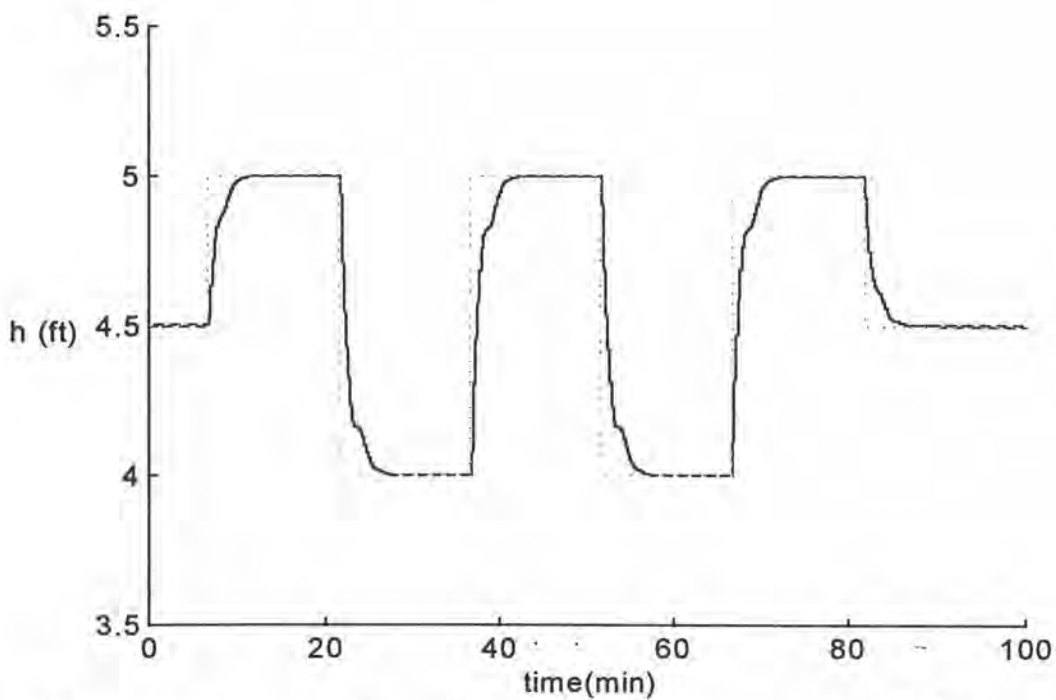
รูปที่ 6.23 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการดังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



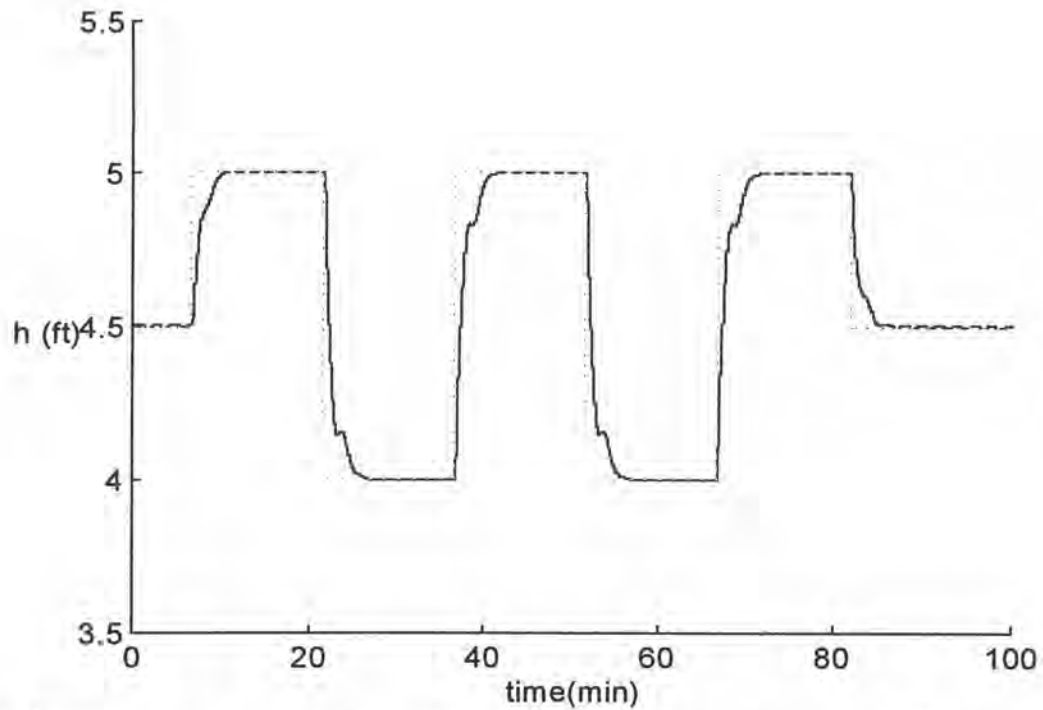
รูปที่ 6.24 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการดังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



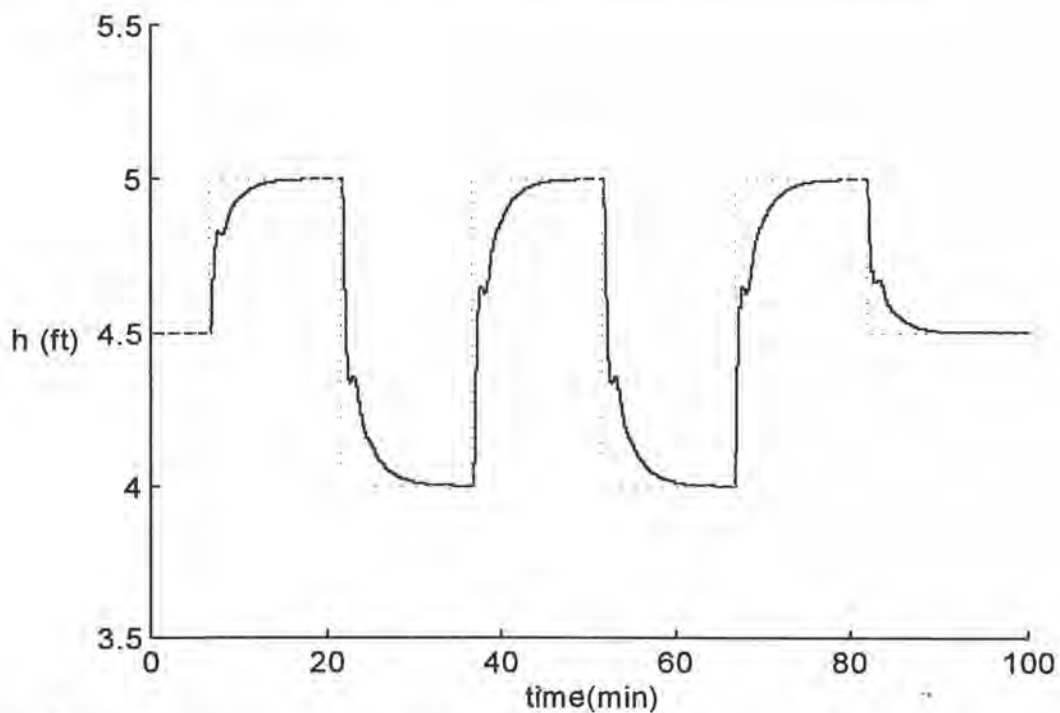
รูปที่ 6.25 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



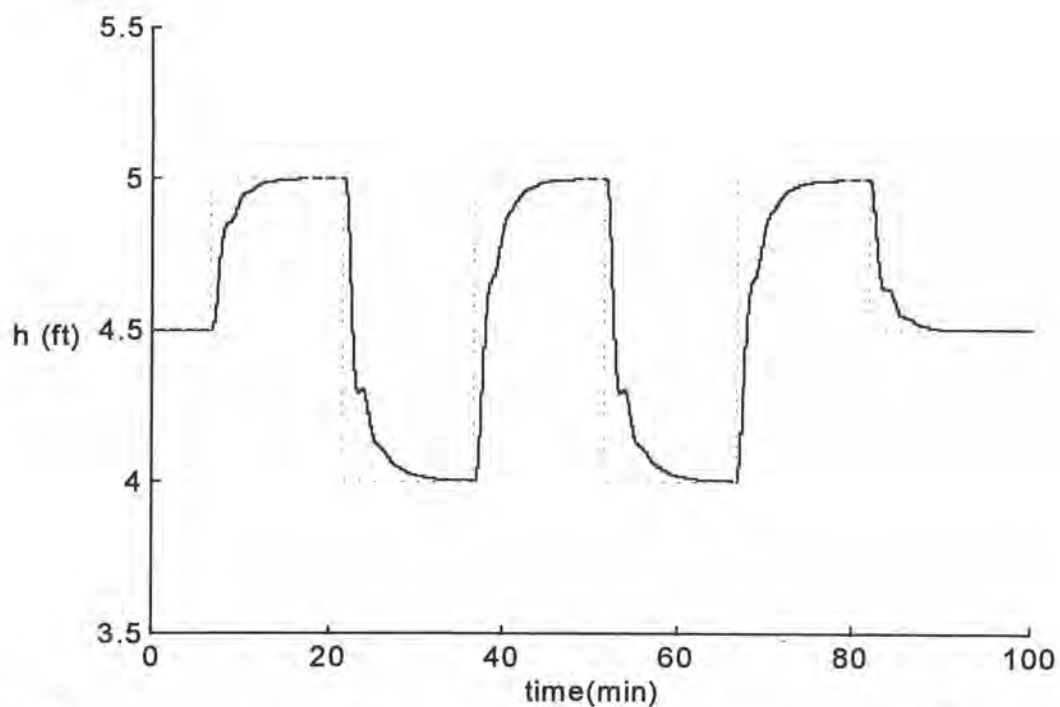
รูปที่ 6.26 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



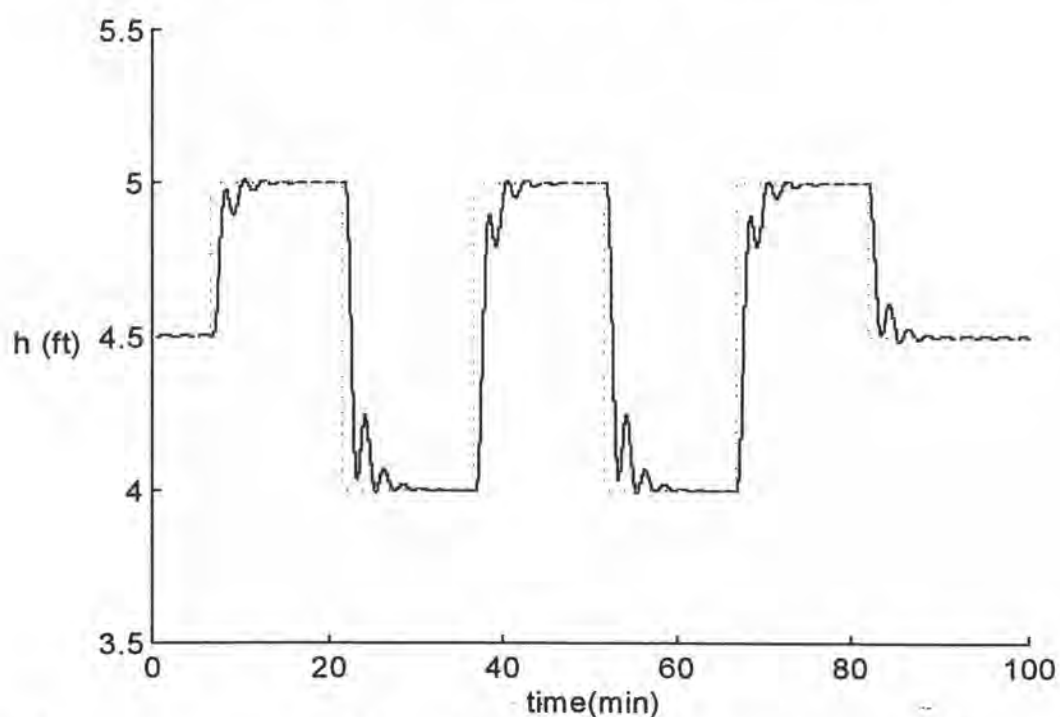
รูปที่ 6.27 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



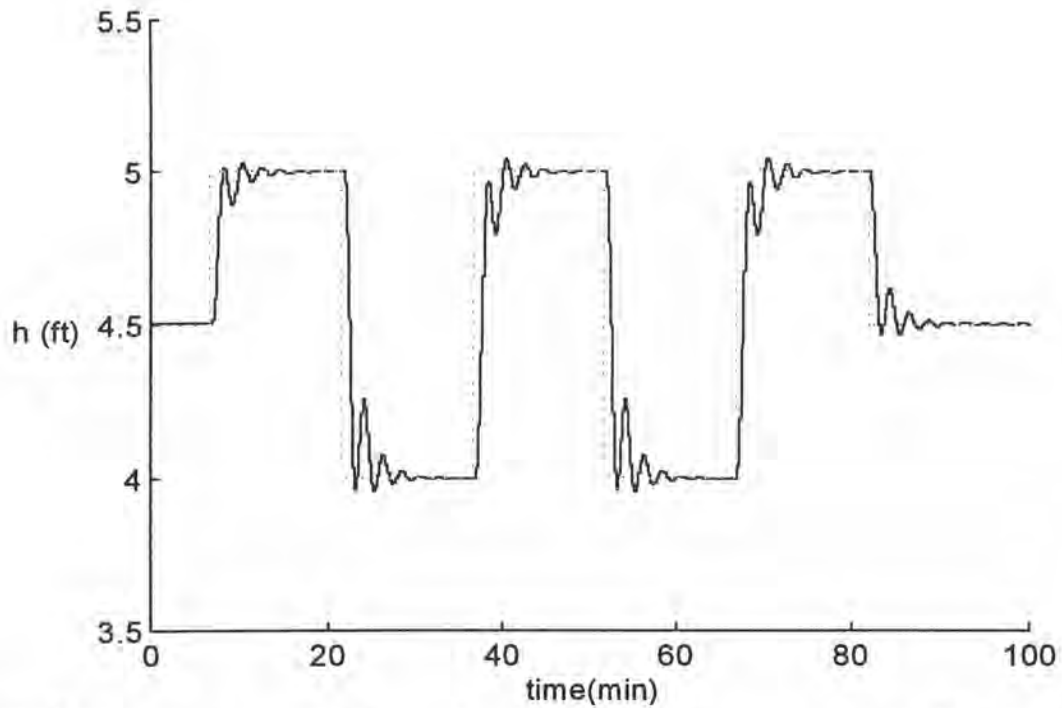
รูปที่ 6.28 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



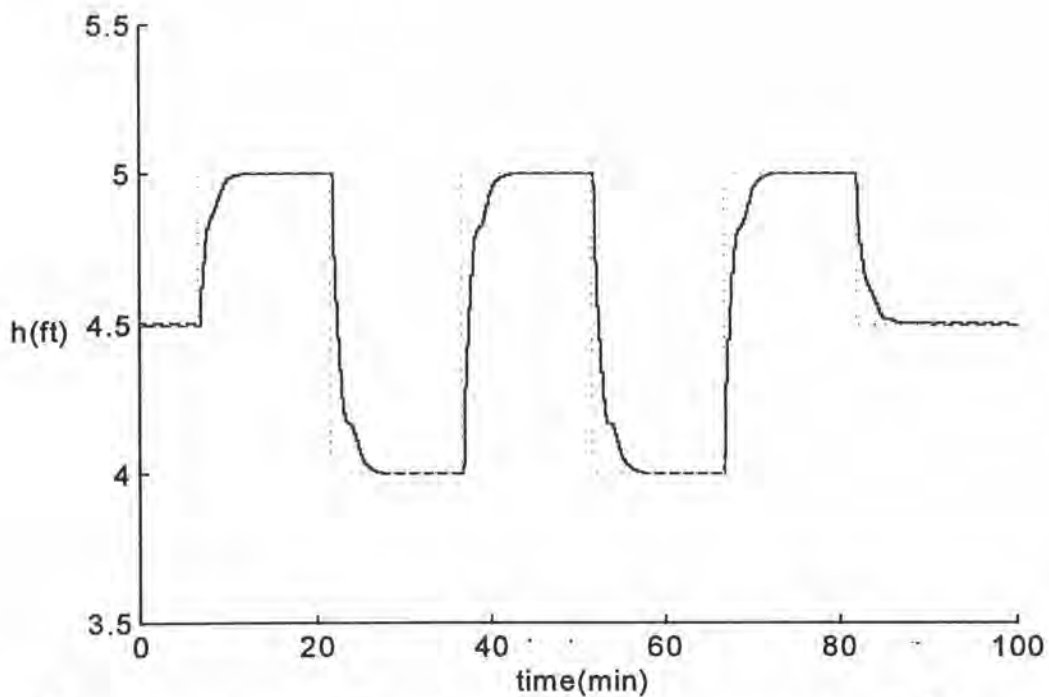
รูปที่ 6.29 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



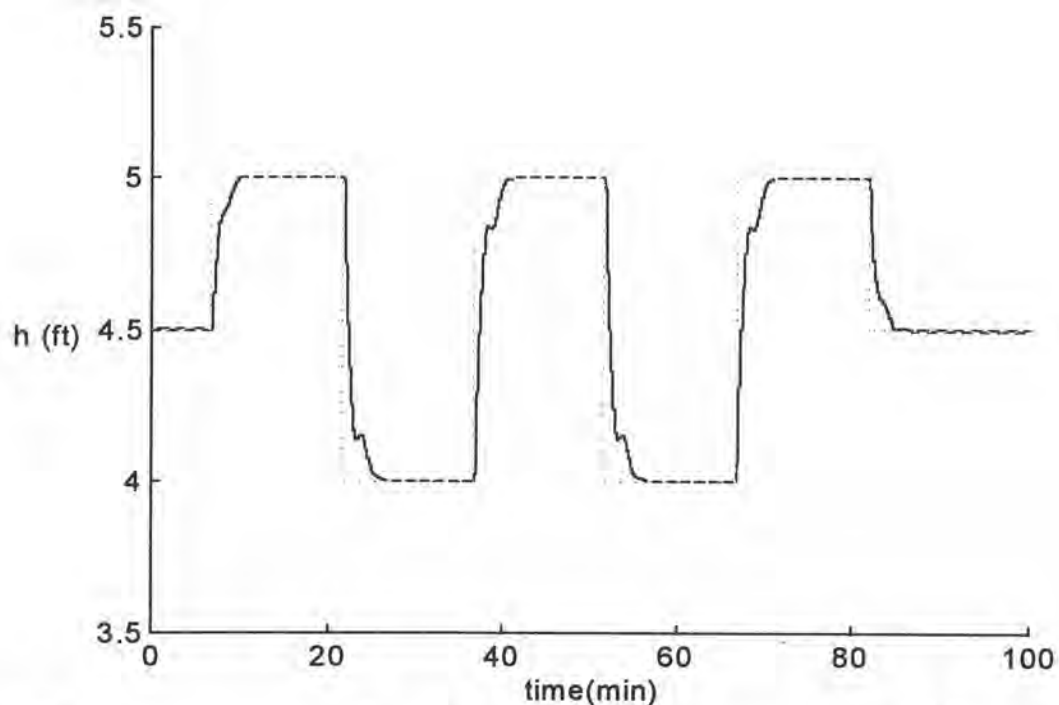
รูปที่ 6.30 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



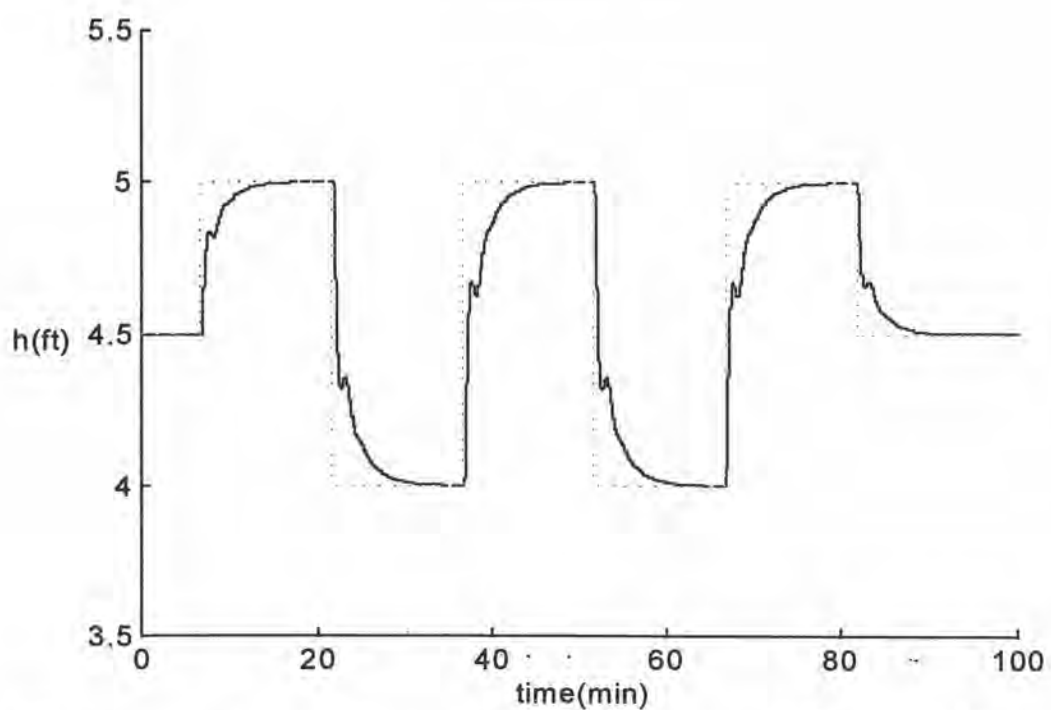
รูปที่ 6.31 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



รูปที่ 6.32 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



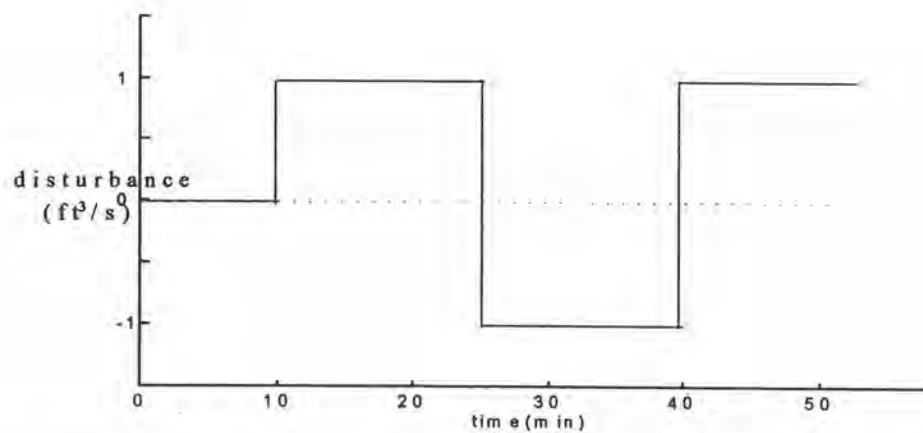
รูปที่ 6.33 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการดังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป



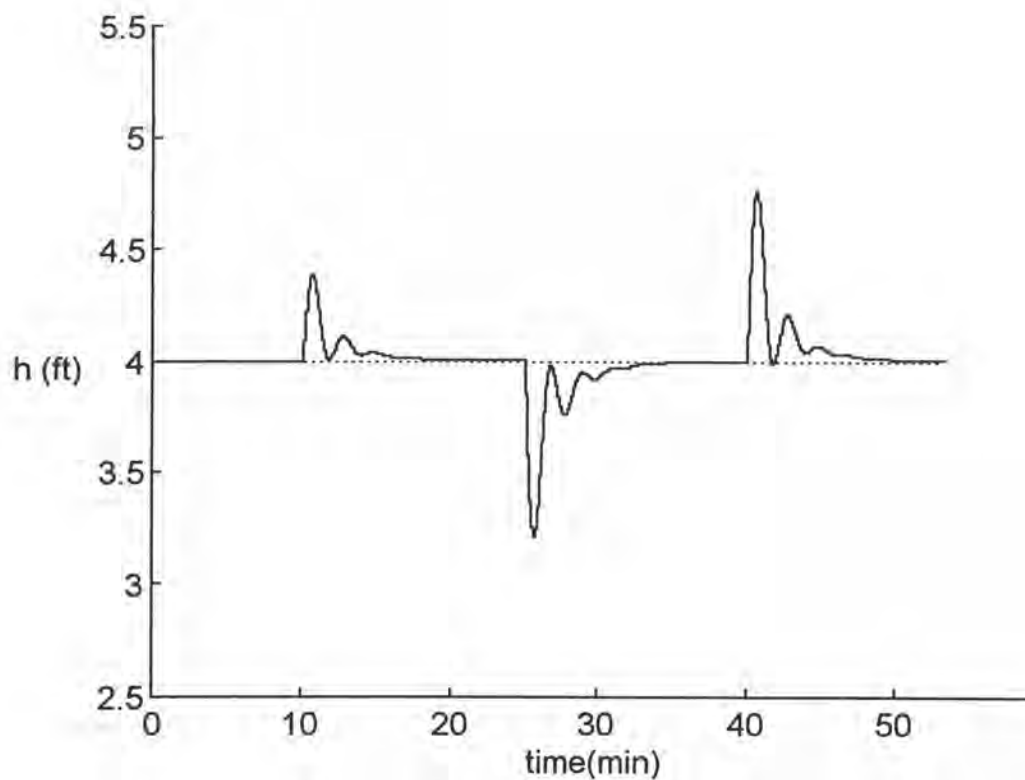
รูปที่ 6.34 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการดังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป

ตารางที่ 6.5 ผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสตีพ
ที่เดดไทม์ 5 วินาที 10 วินาที และ 15 วินาที ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรง
โน้มถ่วง

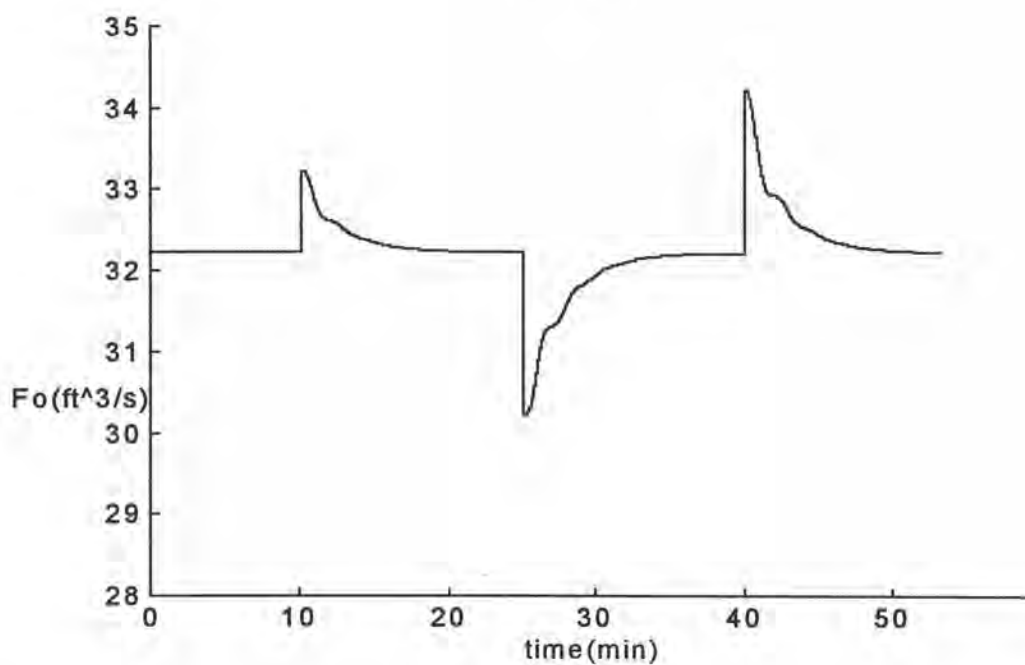
ตัวควบคุม	IAE		
	เดดไทม์ 5 วินาที	เดดไทม์ 10 วินาที	เดดไทม์ 15 วินาที
โครงสร้างที่ 1	964.61	987.25	995.33
โครงสร้างที่ 2	747.68	752.24	760.90
โครงสร้างที่ 3	680.44	700.81	732.29
โครงสร้างที่ 4	600.65	632.67	664.64
โครงสร้างที่ 5	569.02	569.75	570.86
พีไอดี	853.56	855.66	859.75



รูปที่ 6.35 การเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนที่เวลาต่างๆ ของกระบวนการถังที่มีของเหลว
ไหลตามแรงโน้มถ่วง

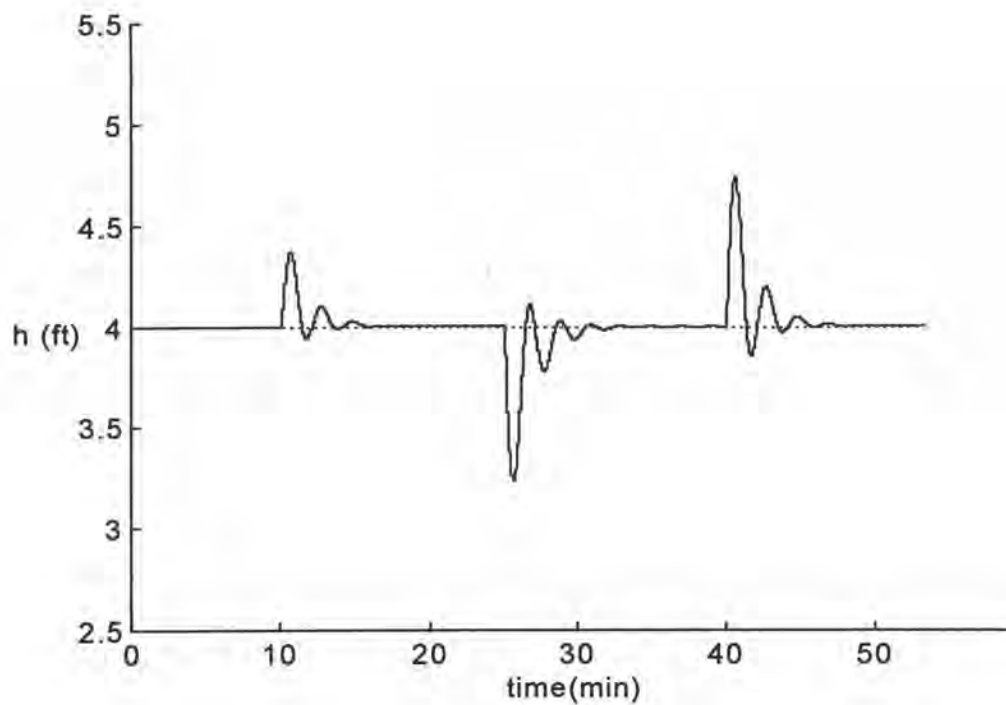


(a)

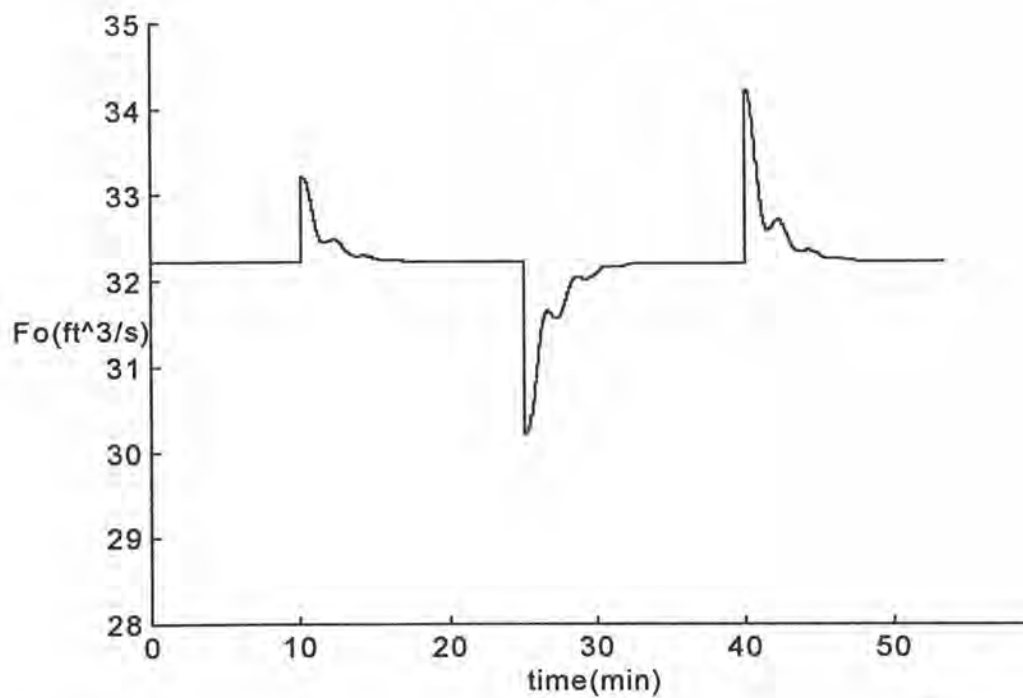


(b)

รูปที่ 6.36 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

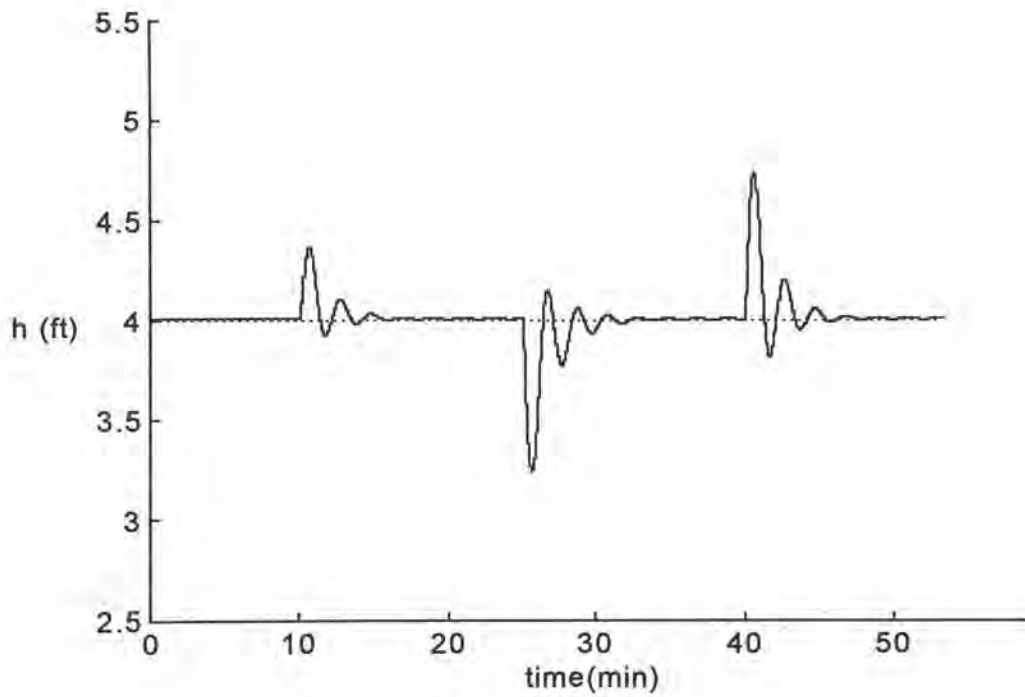


(a)

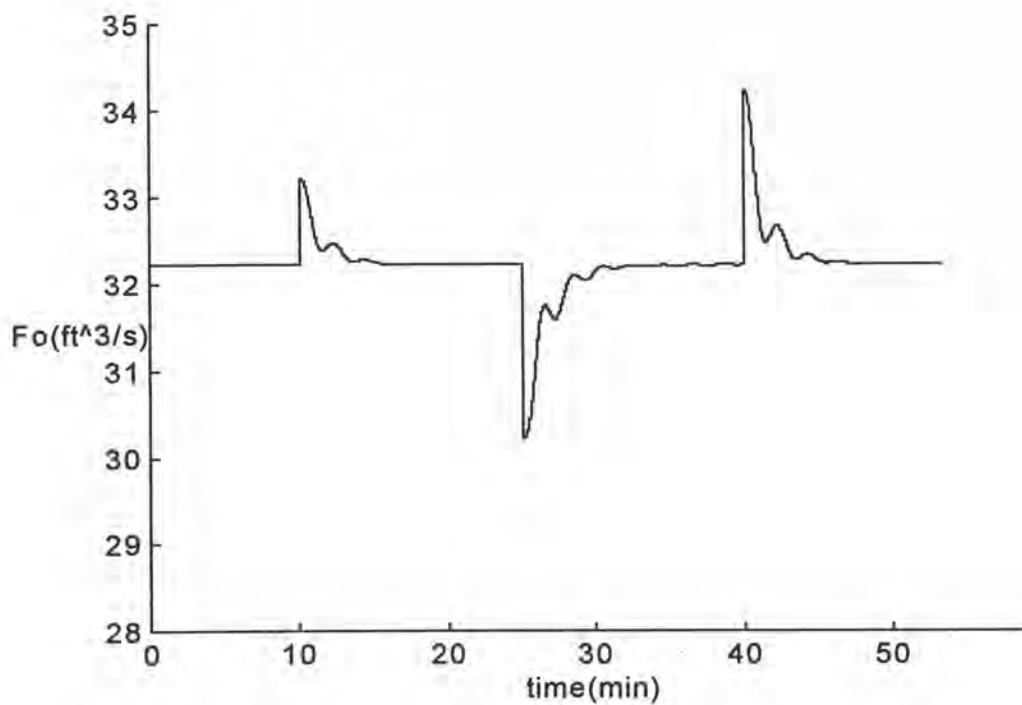


(b)

รูปที่ 6.37 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเคตไทม์ 5 วินาที โดยตัวรับควมมีการเปลี่ยนแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

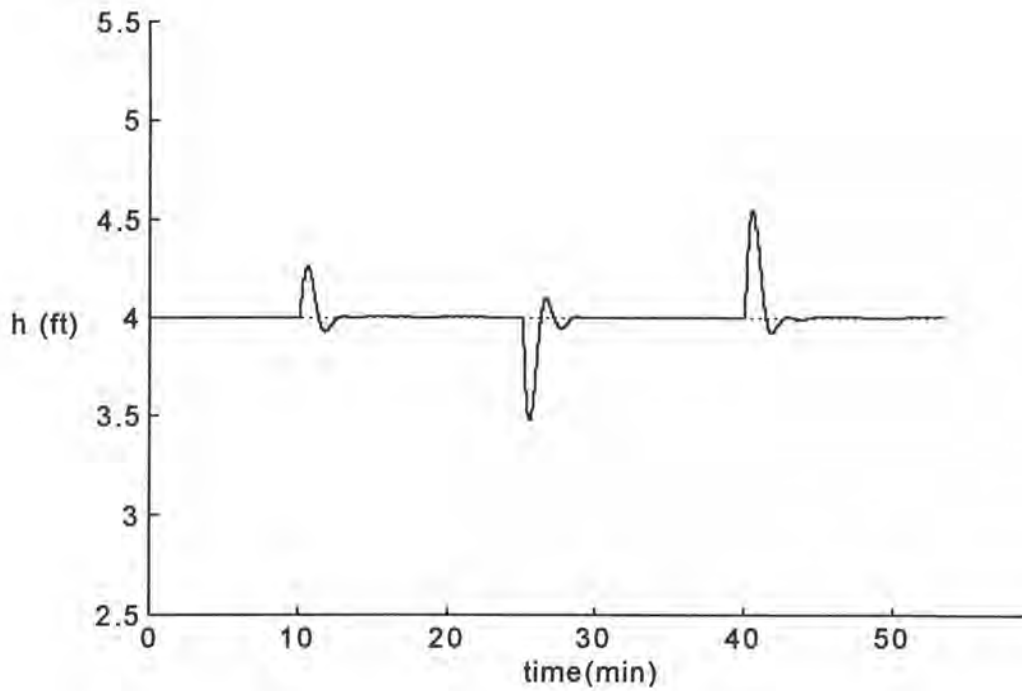


(a)

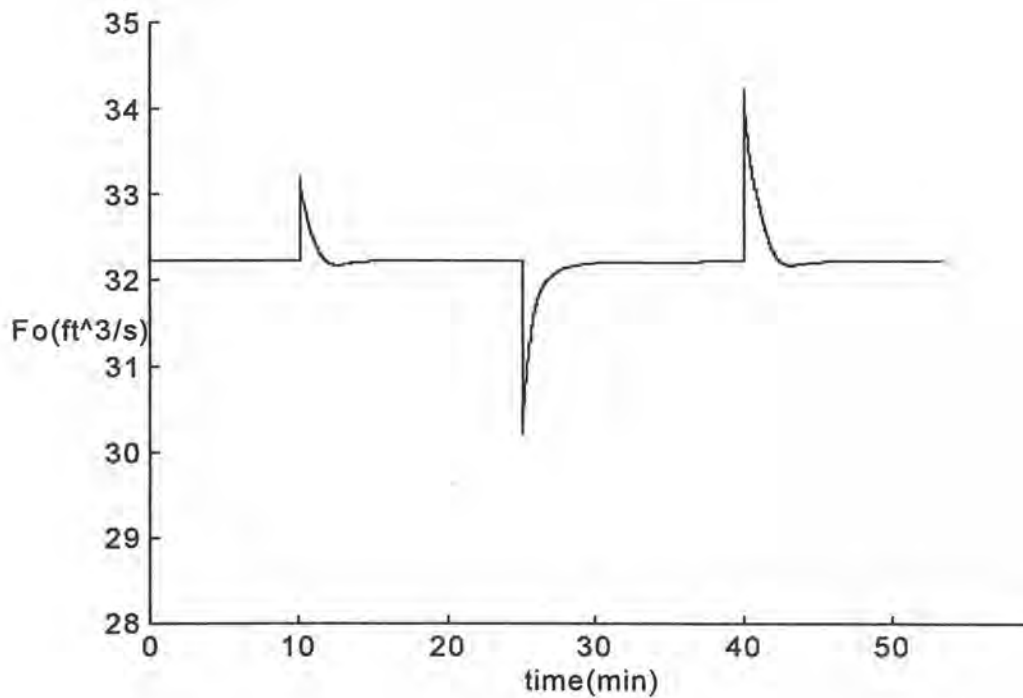


(b)

รูปที่ 6.38 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรับกวนมีการเปลี่ยนแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

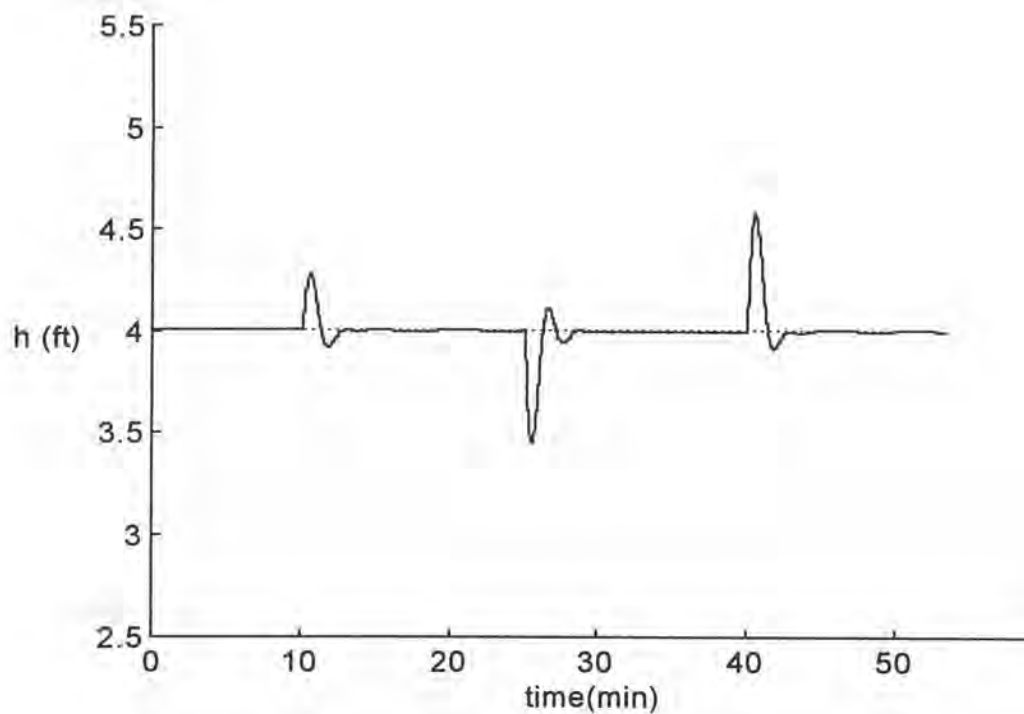


(a)

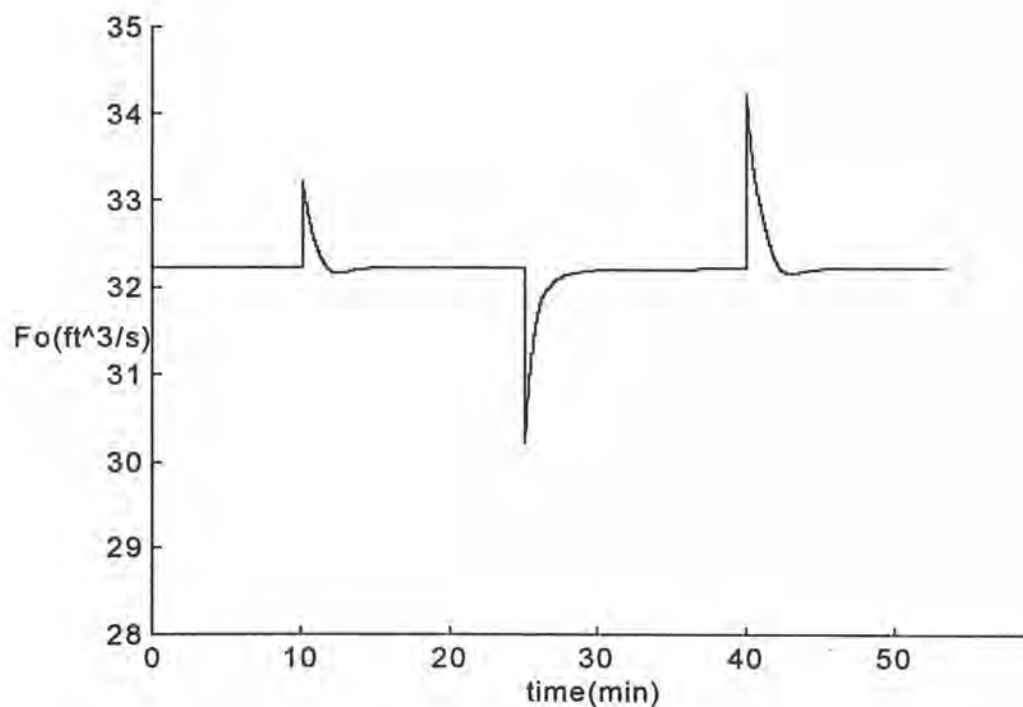


(b)

รูปที่ 6.39 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



(a)

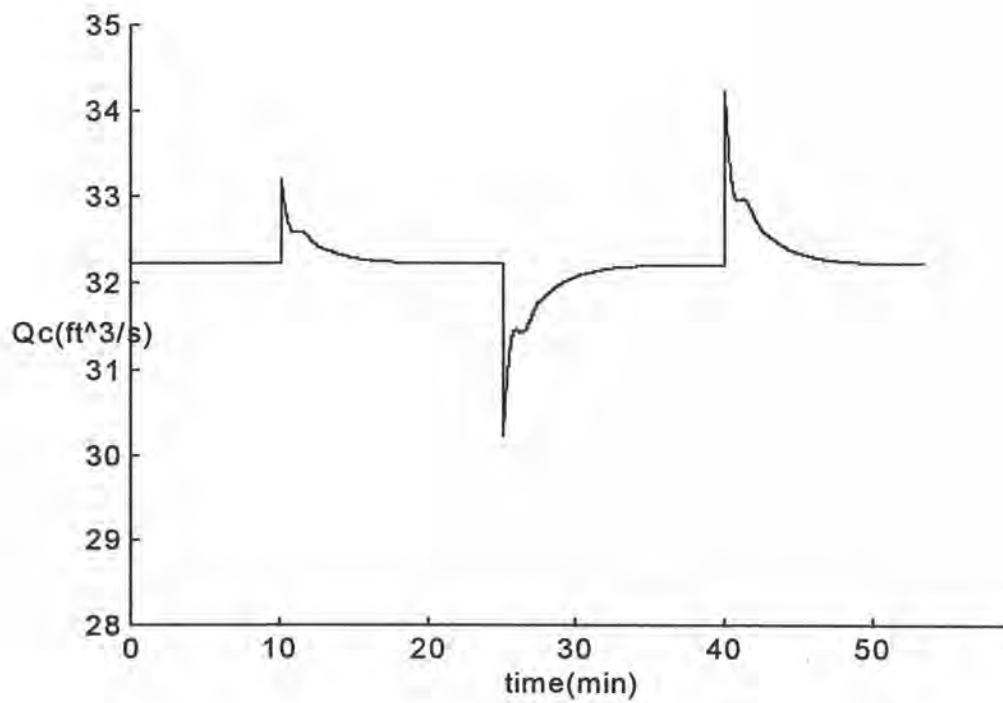


(b)

รูปที่ 6.40 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรับกวนมีการเปลี่ยนแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

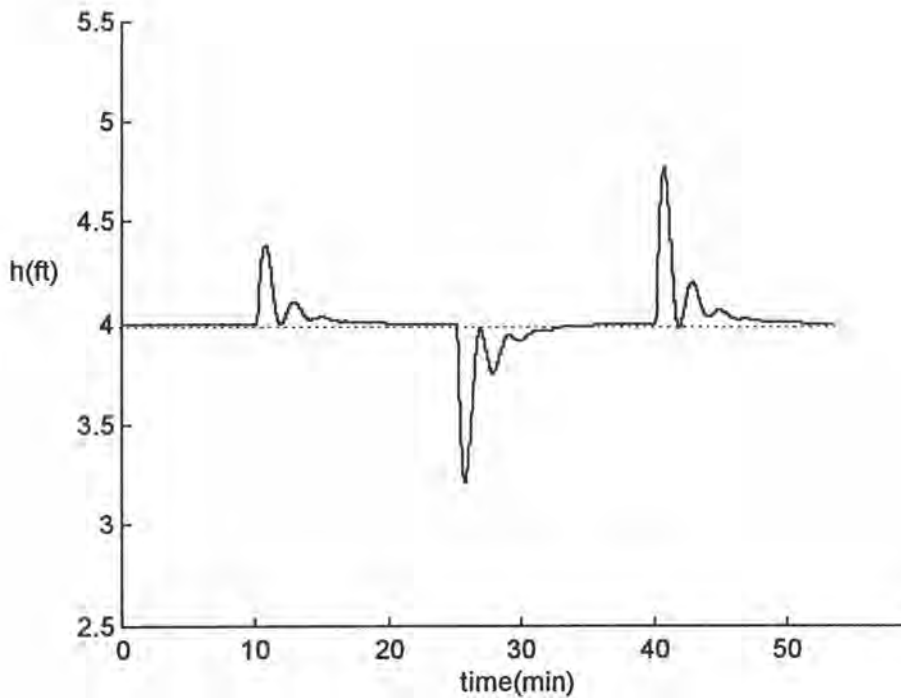


(a)

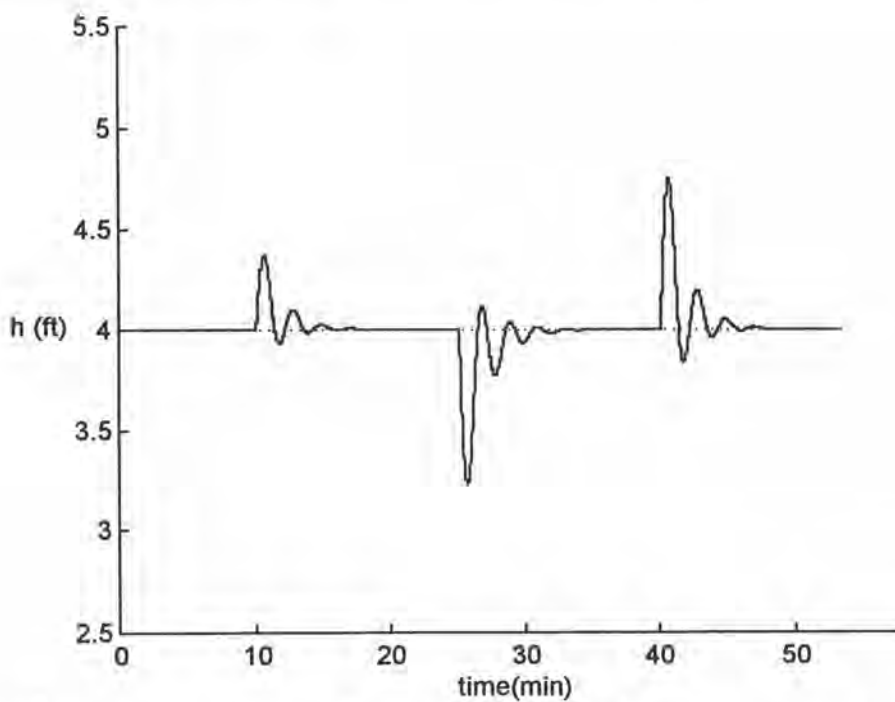


(b)

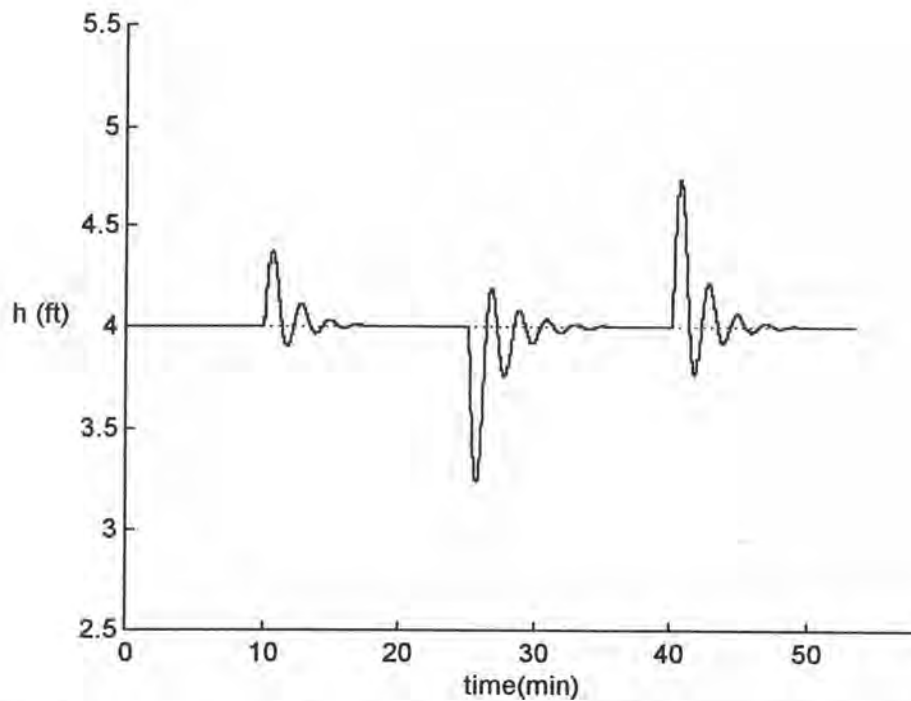
รูปที่ 6.41 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



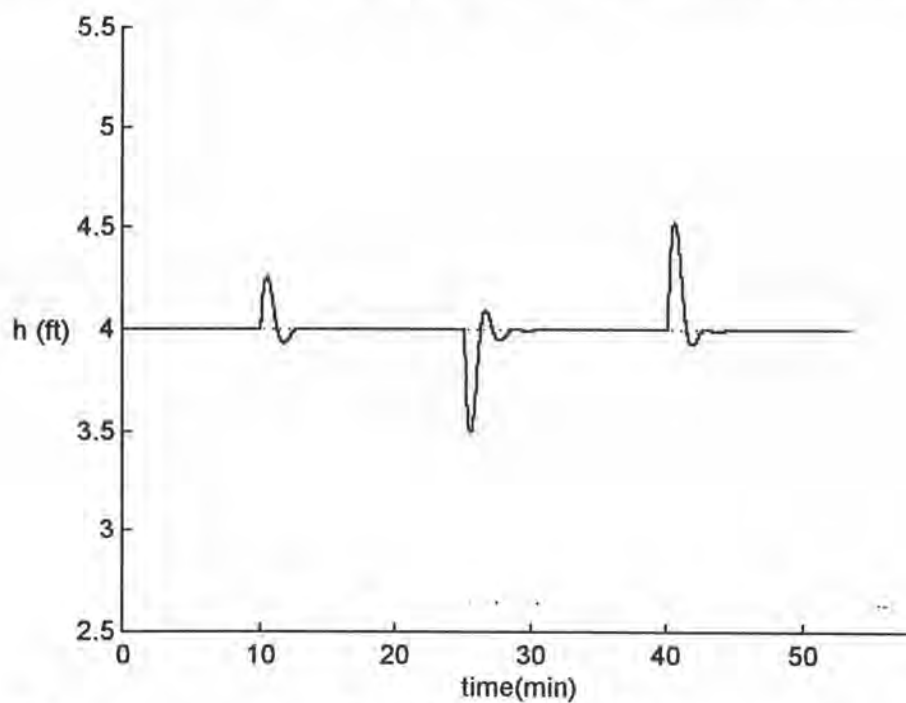
รูปที่ 6.42 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีฟ



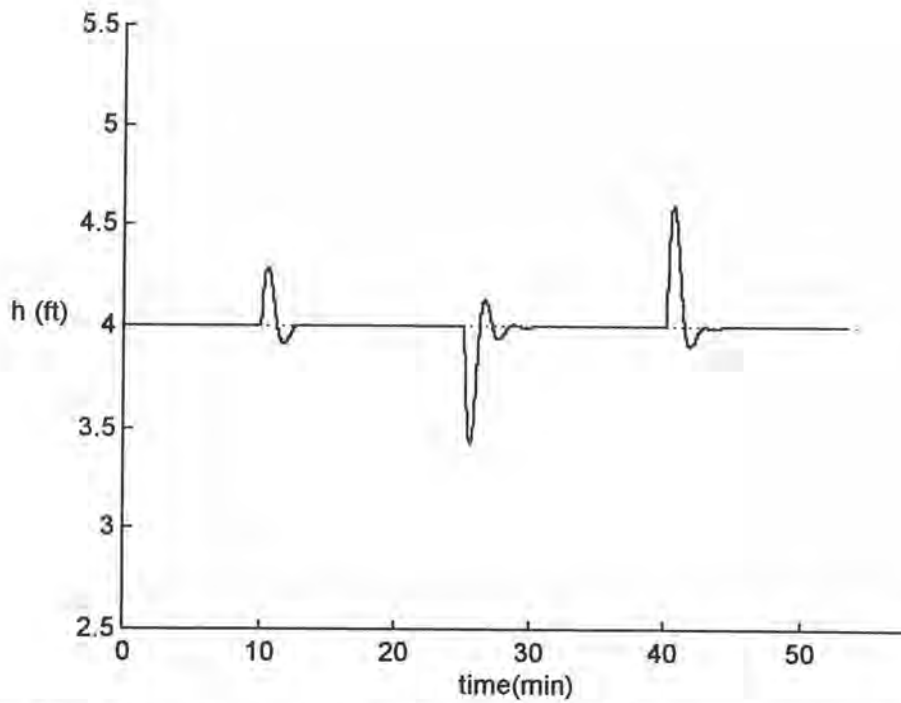
รูปที่ 6.43 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีฟ



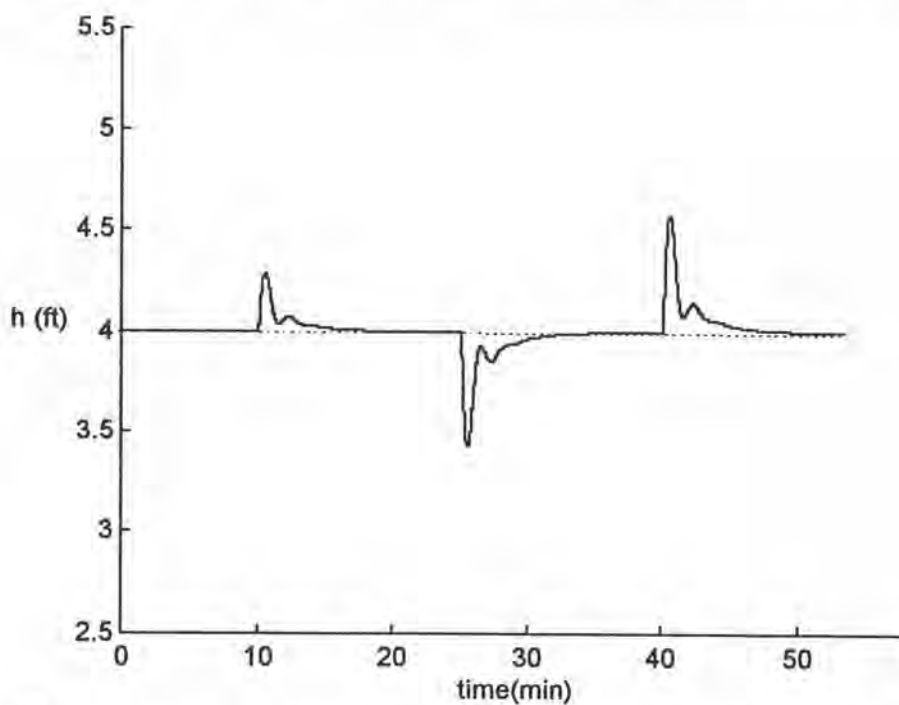
รูปที่ 6.44 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



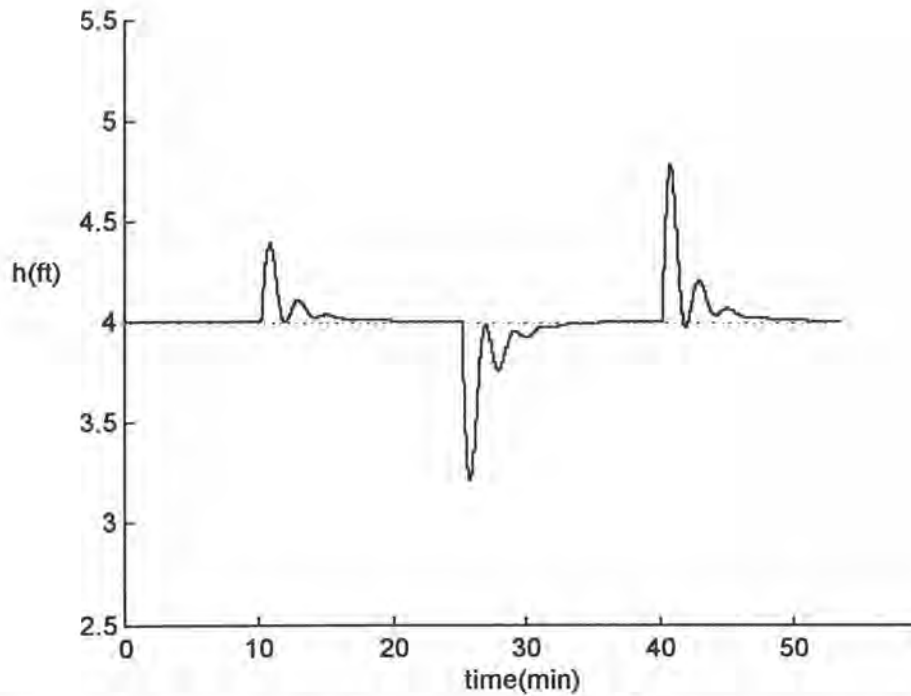
รูปที่ 6.45 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



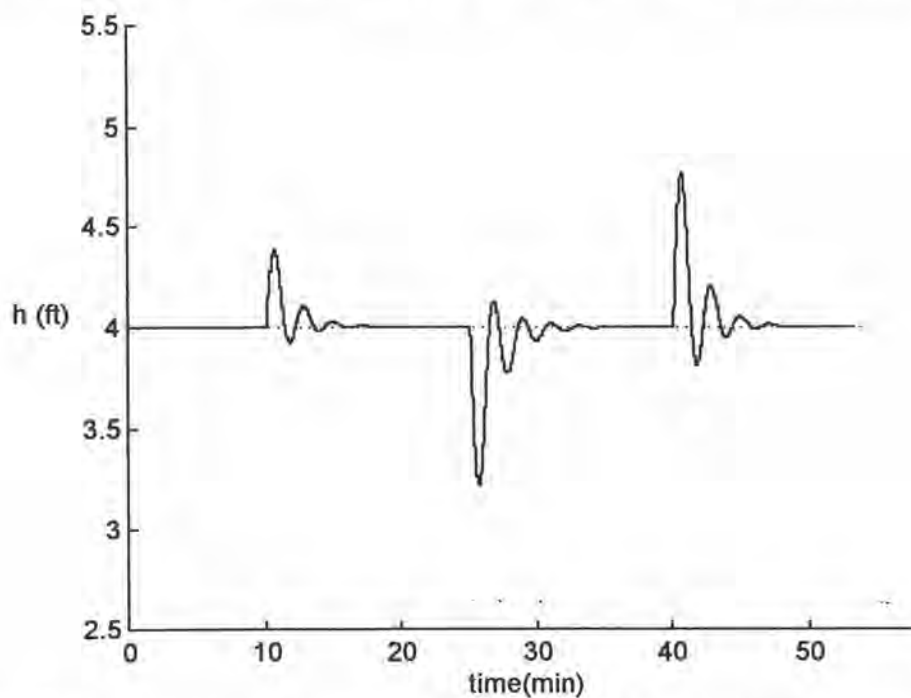
รูปที่ 6.46 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



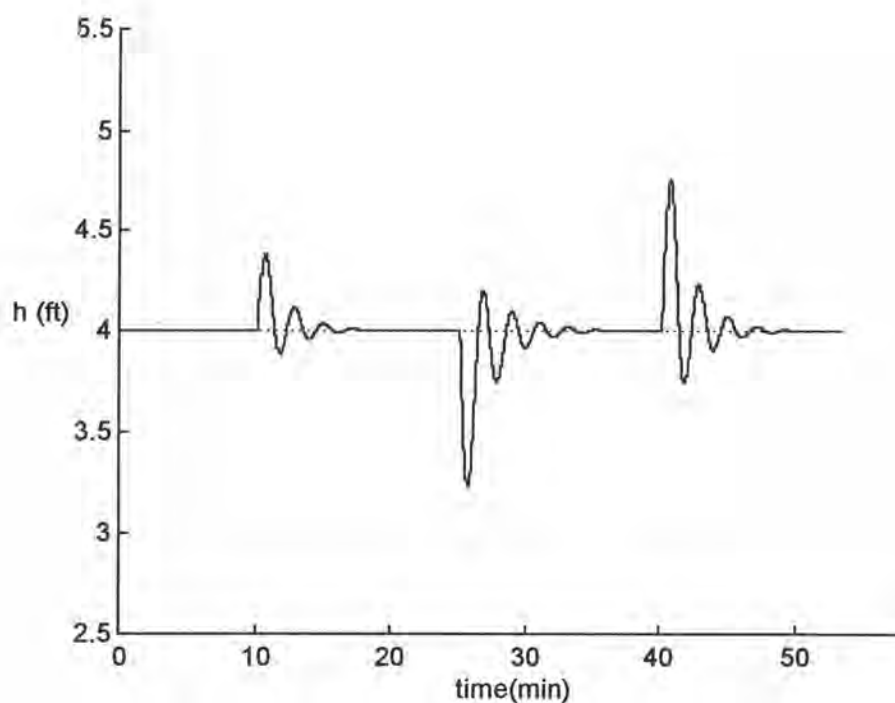
รูปที่ 6.47 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



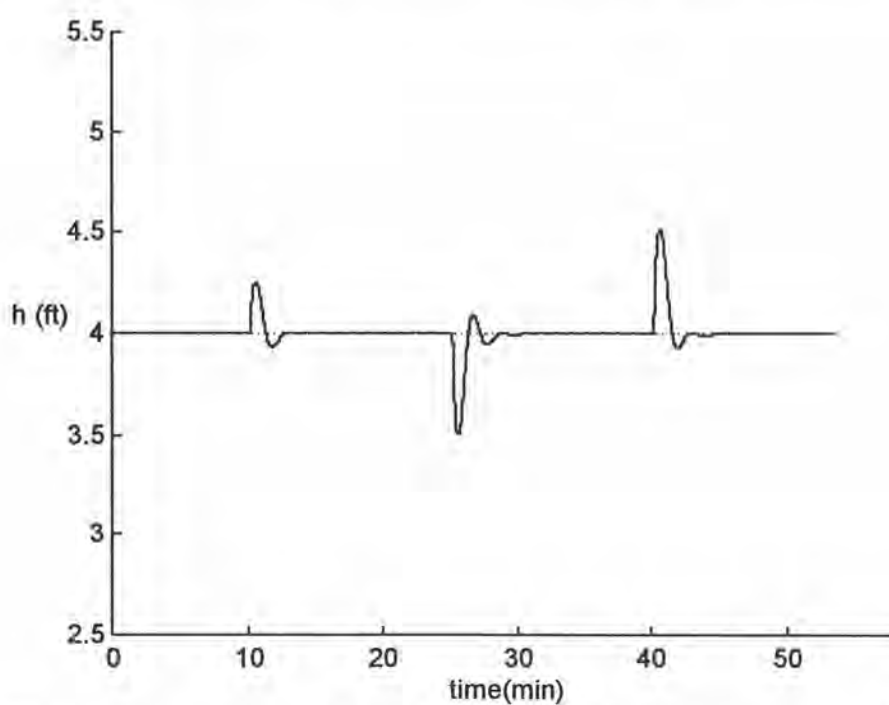
รูปที่ 6.48 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



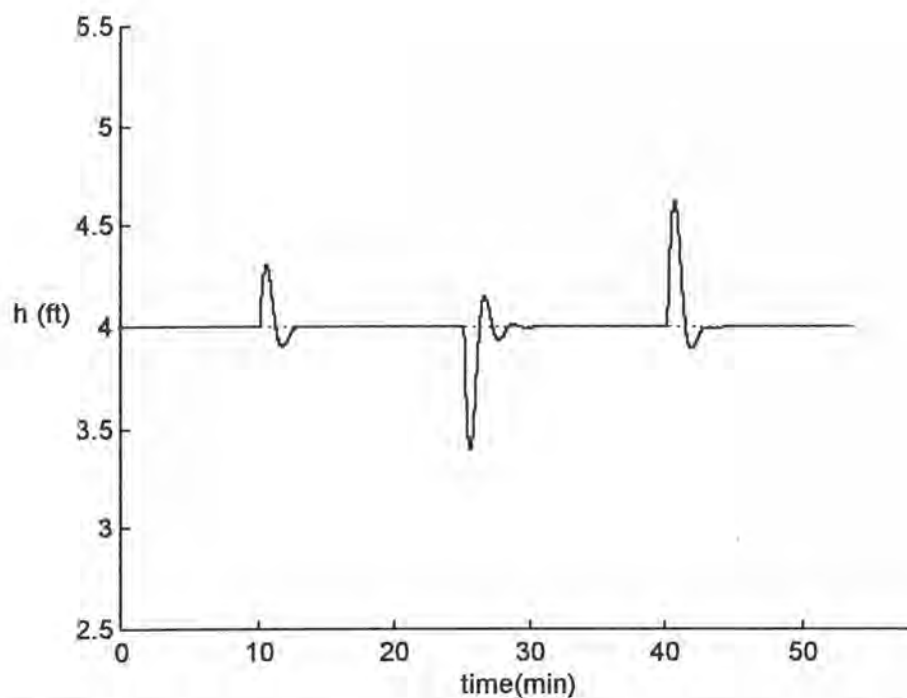
รูปที่ 6.49 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



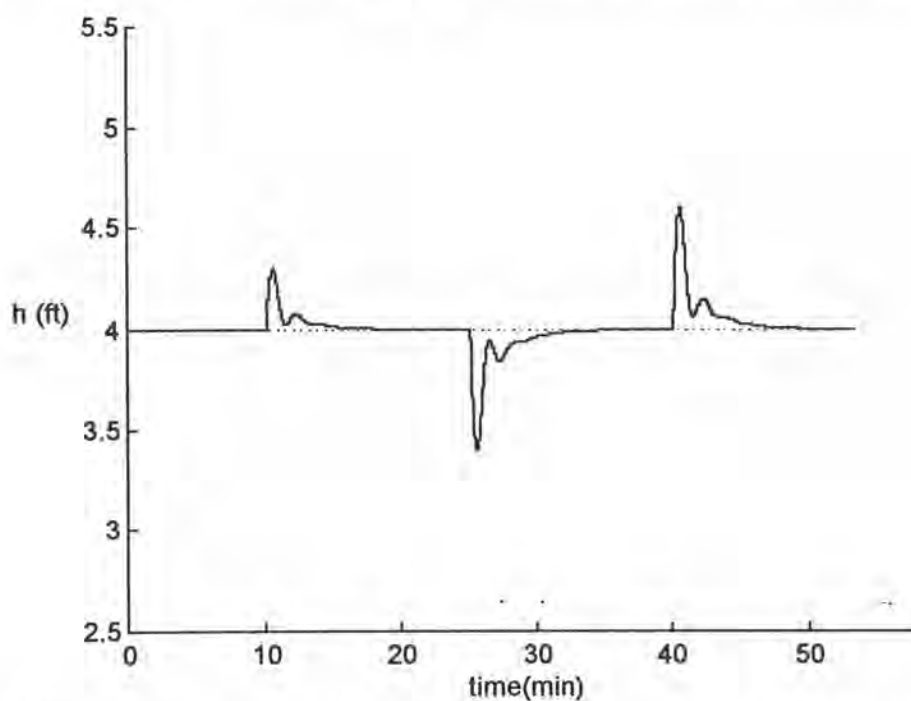
รูปที่ 6.50 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแบบสแต็ป



รูปที่ 6.51 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแบบสแต็ป



รูปที่ 6.52 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



รูปที่ 6.53 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป

ตารางที่ 6.6 ผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนแบบเสถียร

ที่เดดไทม์ 5 วินาที 10 วินาที และ 15 วินาที ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง

ตัวควบคุม	IAE		
	เดดไทม์ 5 วินาที	เดดไทม์ 10 วินาที	เดดไทม์ 15 วินาที
โครงสร้างที่ 1	310.25	322.54	335.54
โครงสร้างที่ 2	279.39	289.65	301.46
โครงสร้างที่ 3	283.62	308.83	328.70
โครงสร้างที่ 4	150.81	152.78	157.54
โครงสร้างที่ 5	153.17	156.08	160.19
พีไอดี	226.91	248.42	249.47

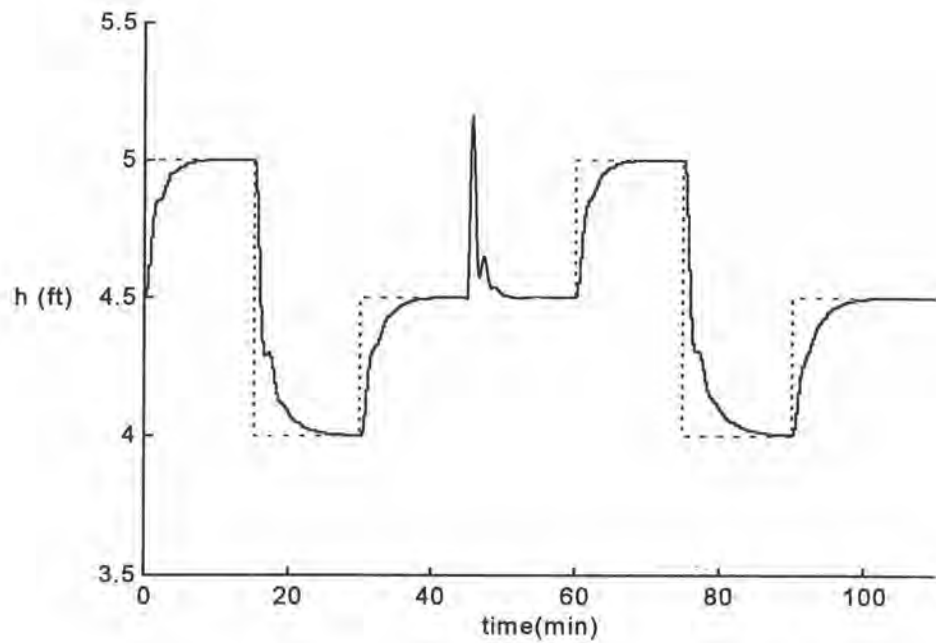
3. พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง

พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงคือค่า K_p ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน โดยให้มีค่าเพิ่มขึ้น 15 % แสดงในสมการที่ (5.2) ในการทดลองจะให้ค่า K_p เปลี่ยนแปลงที่เวลา 45 นาที ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.54-6.59 ตามลำดับ

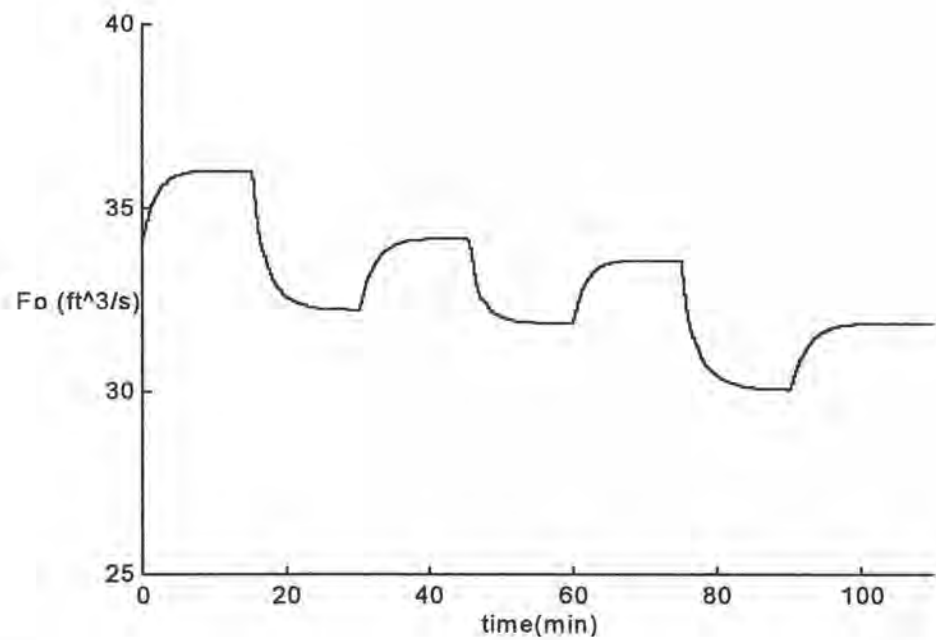
6.3.1.2 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

1. เซ้ทพอยท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเสถียร

สำหรับการทดลองที่เซ้ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบเสถียร โดยเซ้ทพอยท์จะเปลี่ยนความเข้มข้นของสาร A ที่ 0.075 ฟูต ไปเป็น 0.08 ฟูตที่เวลา 10 นาที 0.07 ฟูตที่เวลา 35 นาที, 0.08 ฟูตที่เวลา 60 นาที, 0.07 ฟูตที่เวลา 85 นาที, 0.08 ฟูตที่เวลา 110 นาที และ 0.075

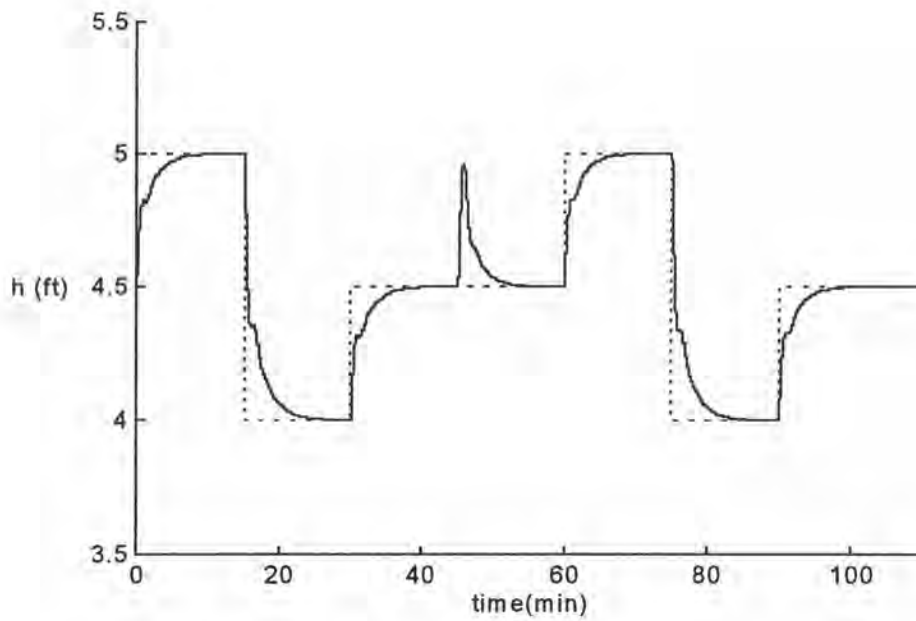


(a)

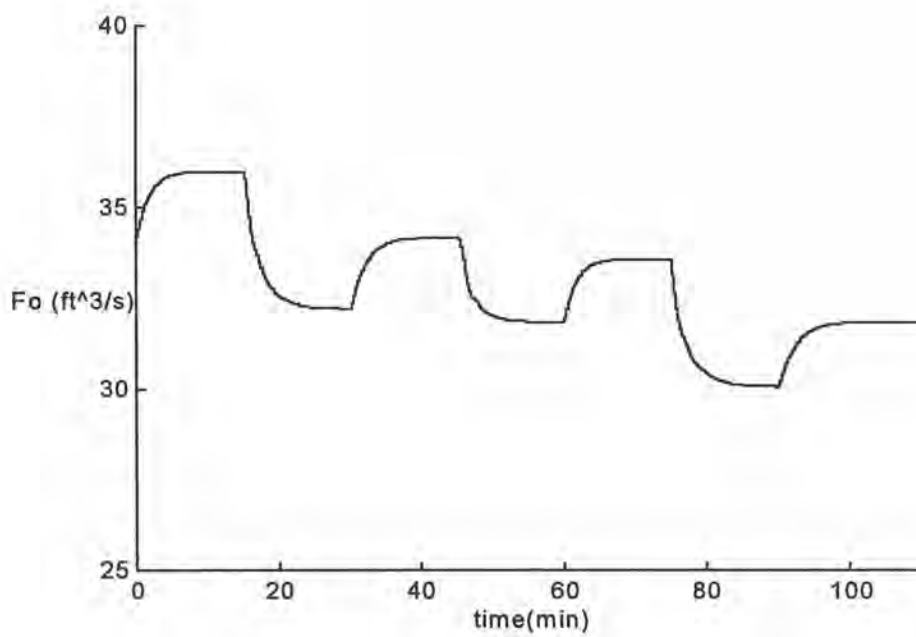


(b)

รูปที่ 6.54 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

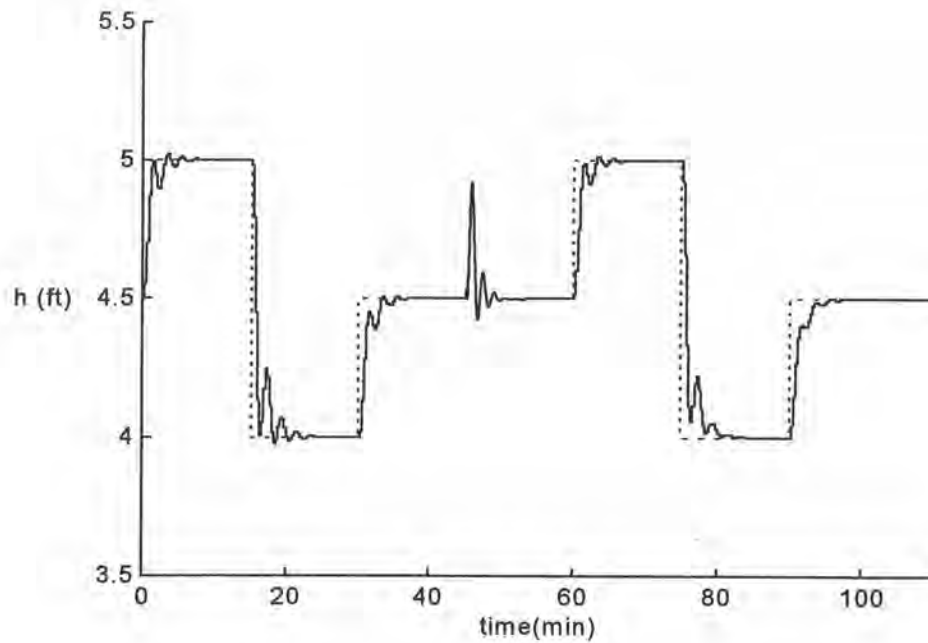


(a)

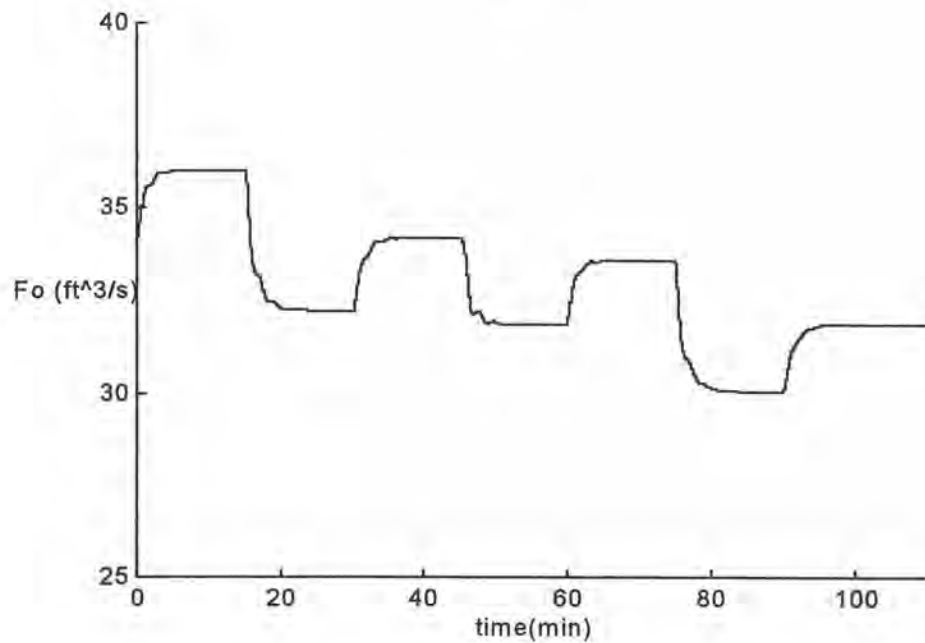


(b)

รูปที่ 6.55 ผลการควบคุมของ โครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

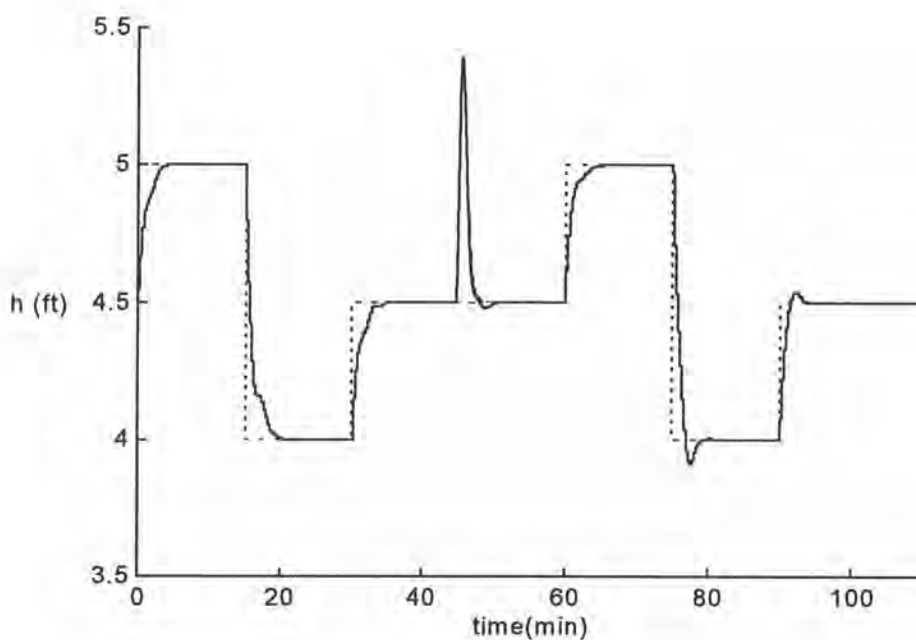


(a)

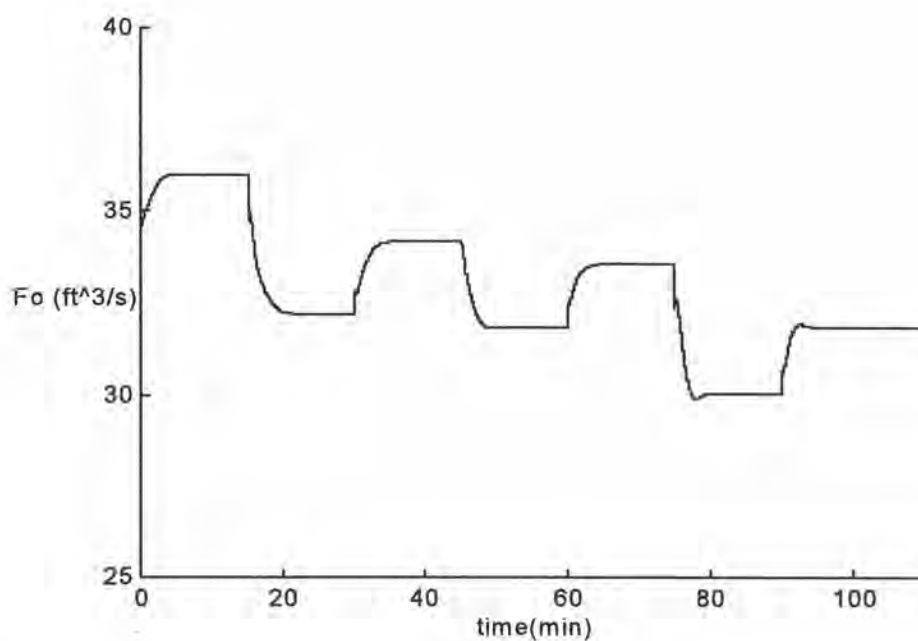


(b)

รูปที่ 6.56 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

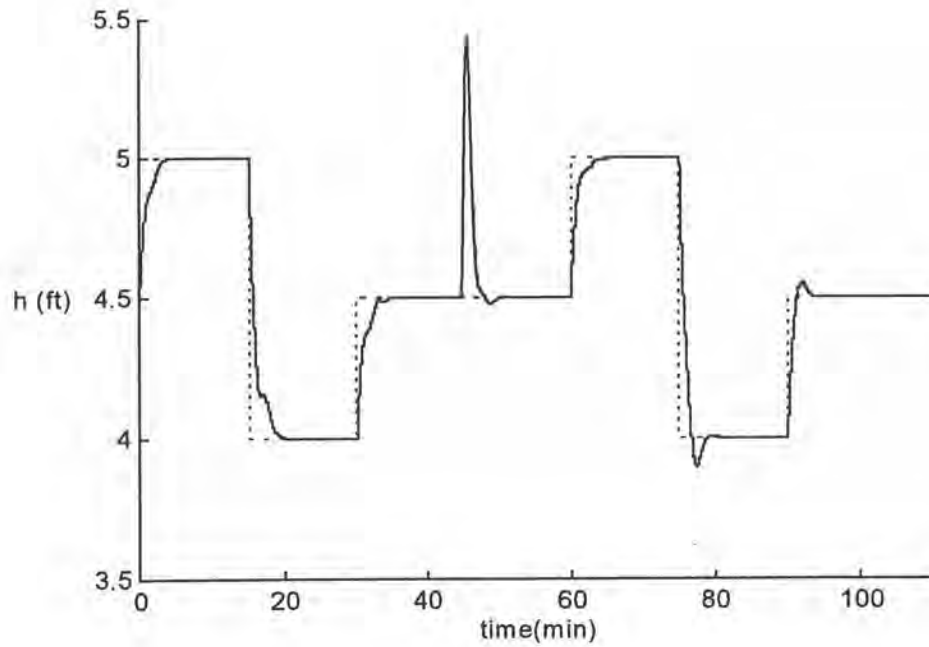


(a)

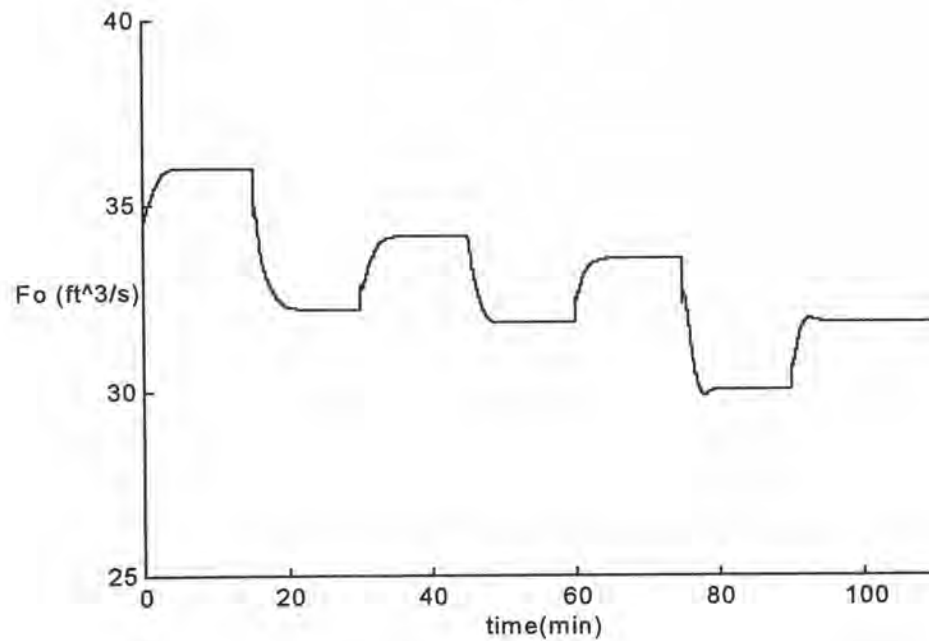


(b)

รูปที่ 6.57 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเคตไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

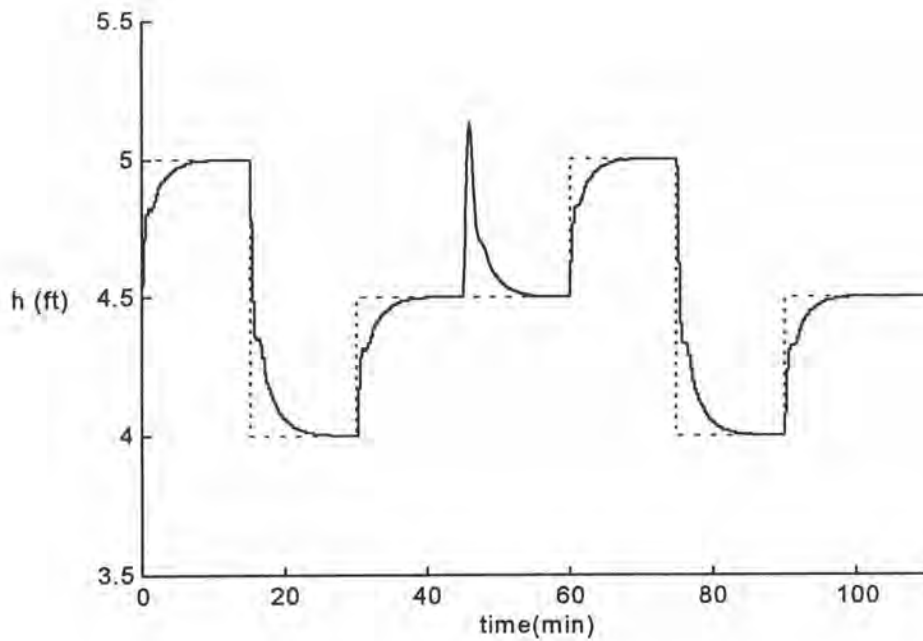


(a)

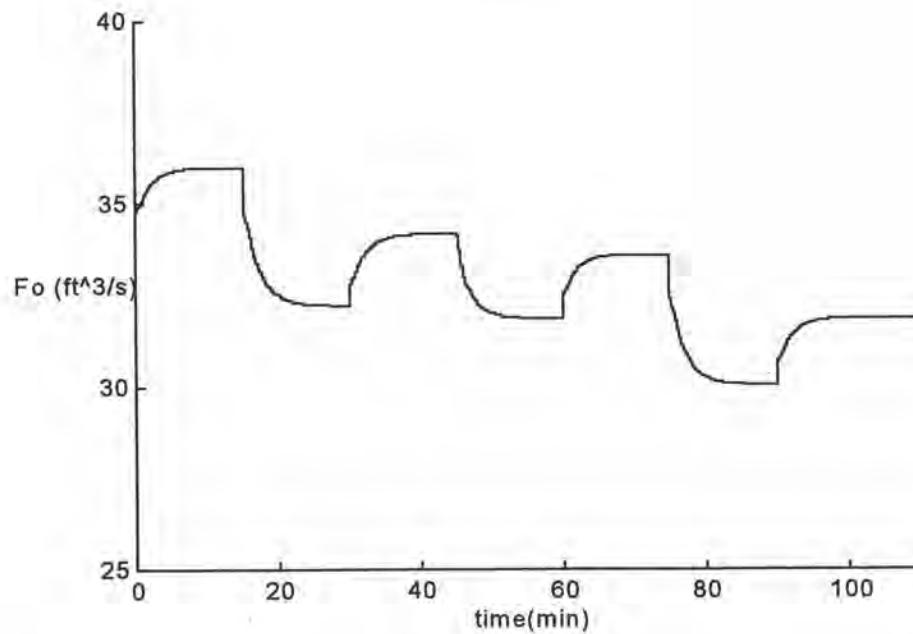


(b)

รูปที่ 6.58 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



(a)



(b)

รูปที่ 6.59 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ
(a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

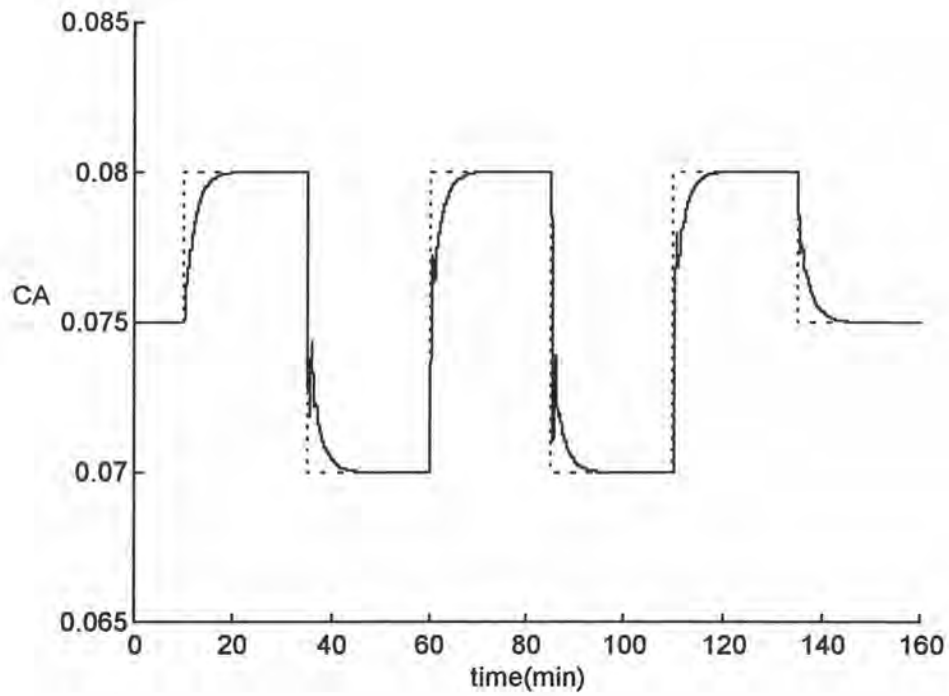
ฟูตที่เวลา 135 นาที โดยมีค่าเดคไทม์เป็น 3, 6 และ 9 วินาทีตามลำดับ ผลการของการควบคุม แสดงในตารางที่ 6.7 และรูปที่ 6.60-6.77 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.7 ผลการควบคุมความเข้มข้นของสาร A ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบ สเต็ปที่เดคไทม์ 3 วินาที 6 วินาที และ 9 วินาที ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

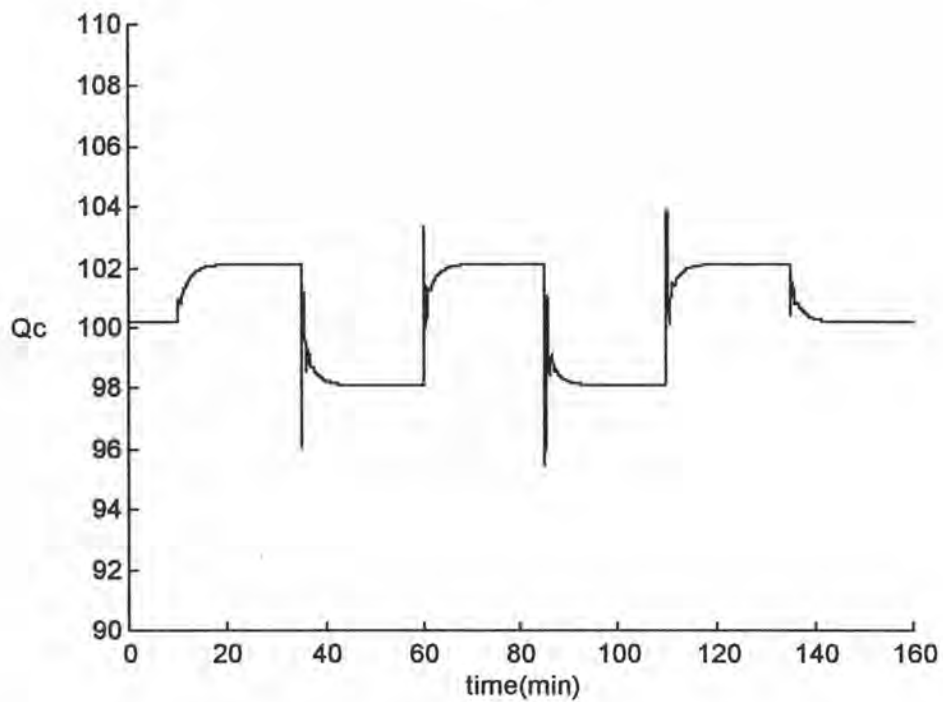
ตัวควบคุม	IAE		
	เดคไทม์ 3 วินาที	เดคไทม์ 6 วินาที	เดคไทม์ 9 วินาที
โครงสร้างที่ 1	6.08	9.53	25.65
โครงสร้างที่ 2	5.82	8.76	19.26
โครงสร้างที่ 3	5.51	7.42	17.24
โครงสร้างที่ 4	4.32	5.34	5.58
โครงสร้างที่ 5	4.875	5.42	5.66
พีไอดี	5.12	5.56	5.93

2. ตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป

สำหรับการทดลองตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป โดยมีอัตราการไหลของของเหลวของสายป้อน 5 l/min ที่เวลา 10 นาที -5 l/min ที่เวลา 35 นาที และ 5 l/min ที่เวลา 60 นาที ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.78 โดยมีค่าเดคไทม์เป็น 3, 6 และ 9 วินาทีตามลำดับ ผลการของการควบคุมแสดงในตารางที่ 6.8 และรูปที่ 6.79 - 6.96 ตามลำดับ

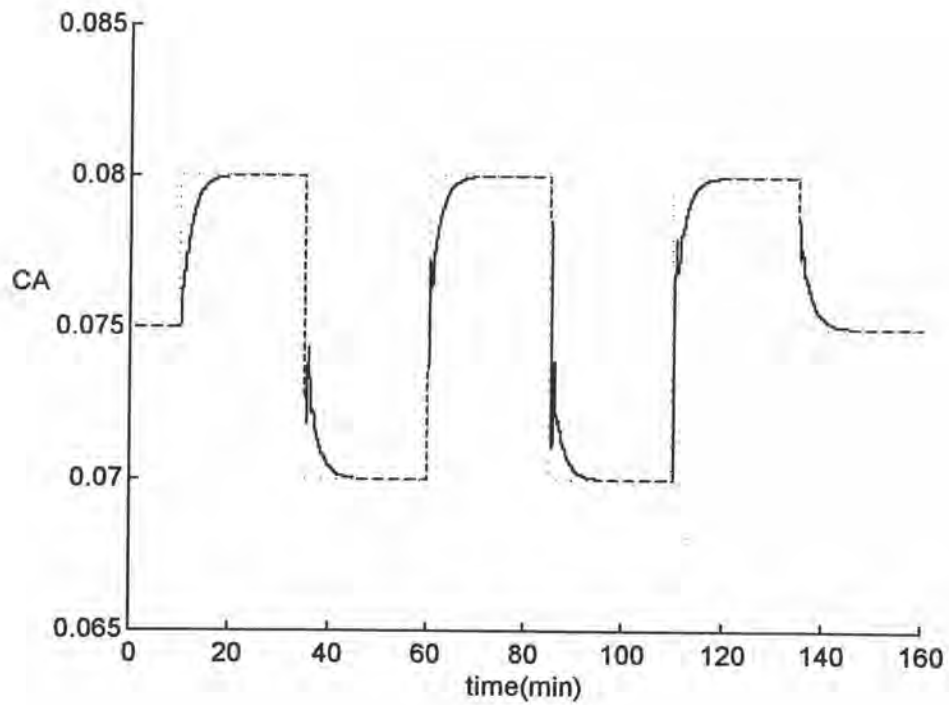


(a)

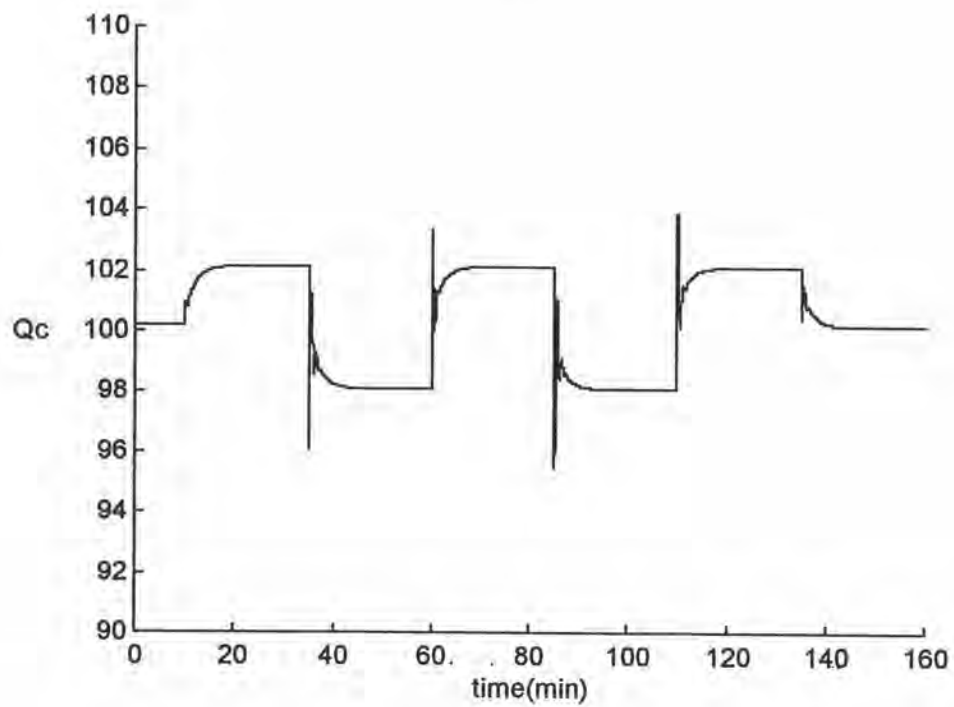


(b)

รูปที่ 6.60 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม

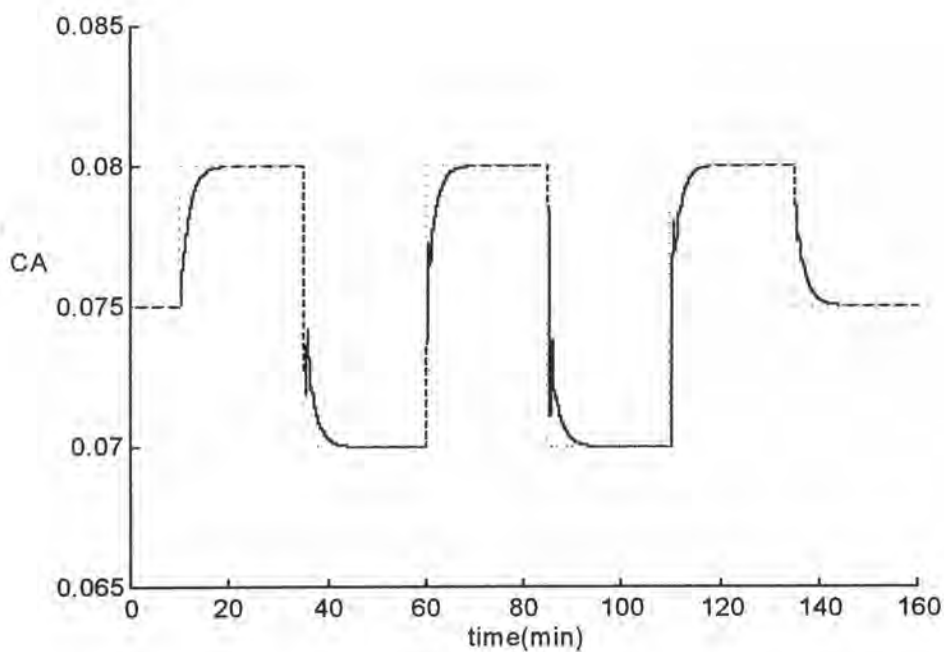


(a)

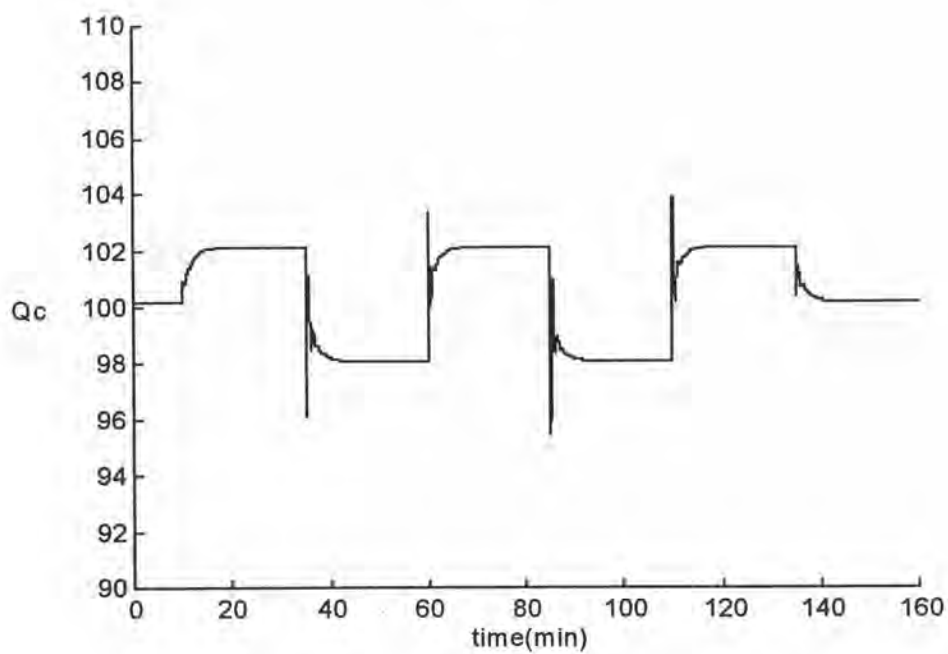


(b)

รูปที่ 6.61 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม

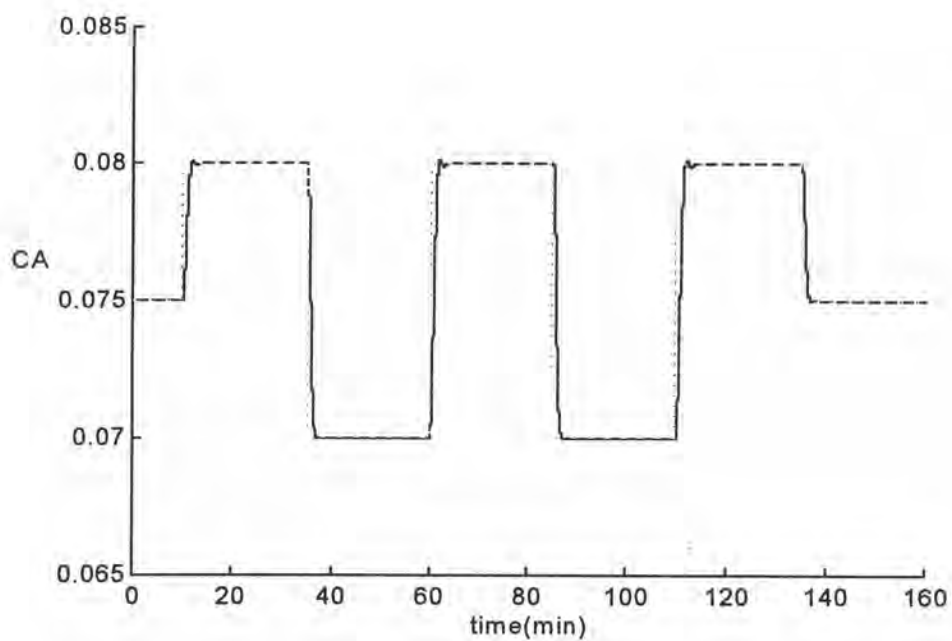


(a)

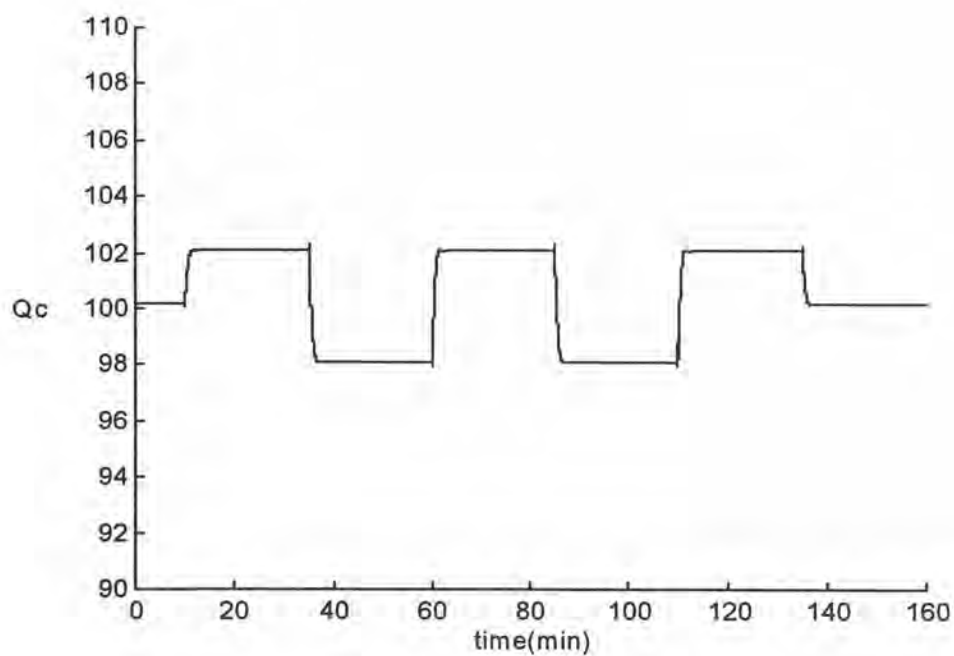


(b)

รูปที่ 6.62 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม

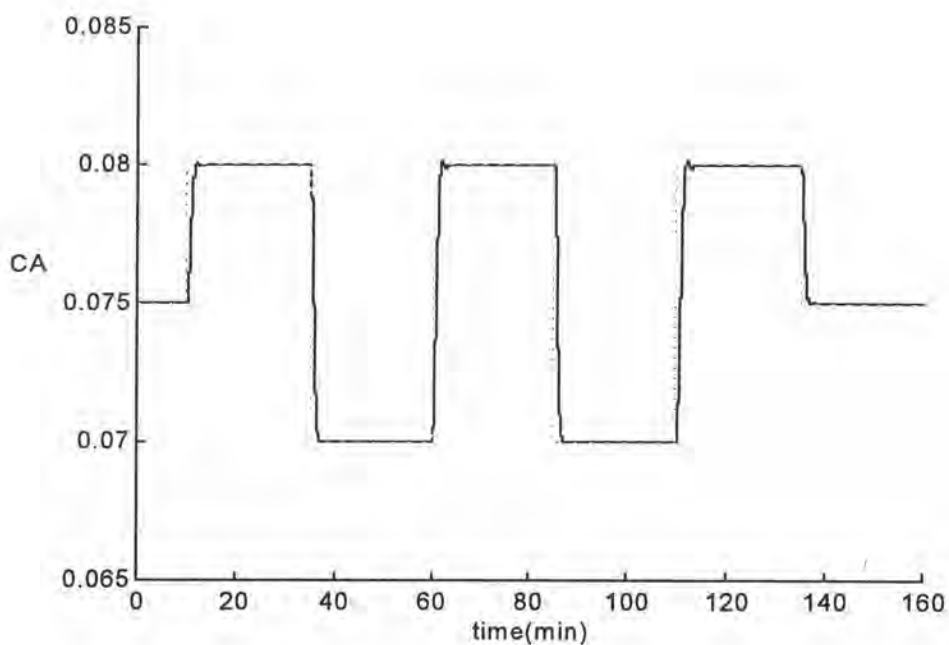


(a)

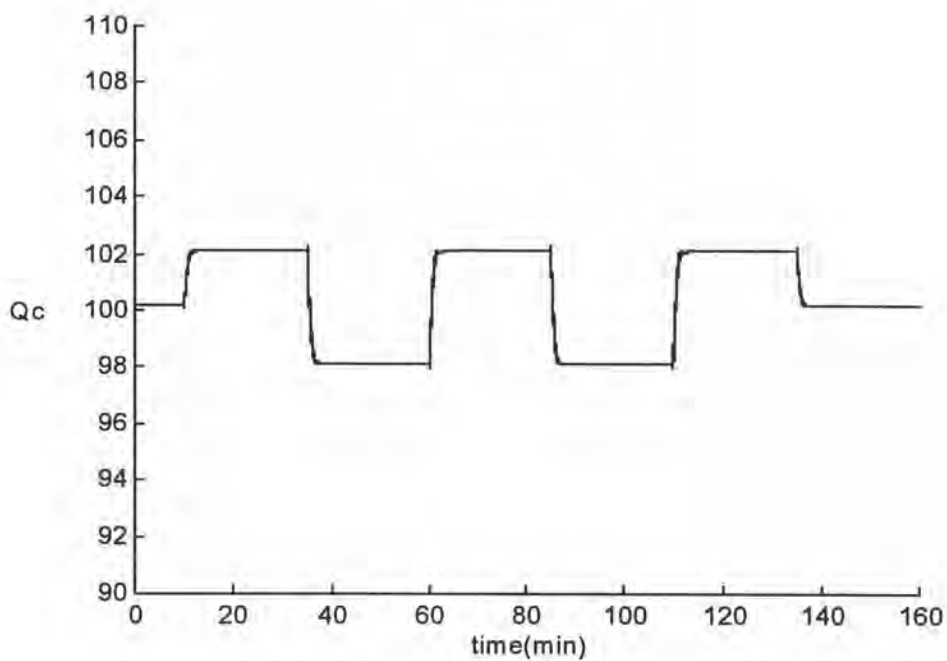


(b)

รูปที่ 6.63 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสตีพ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม

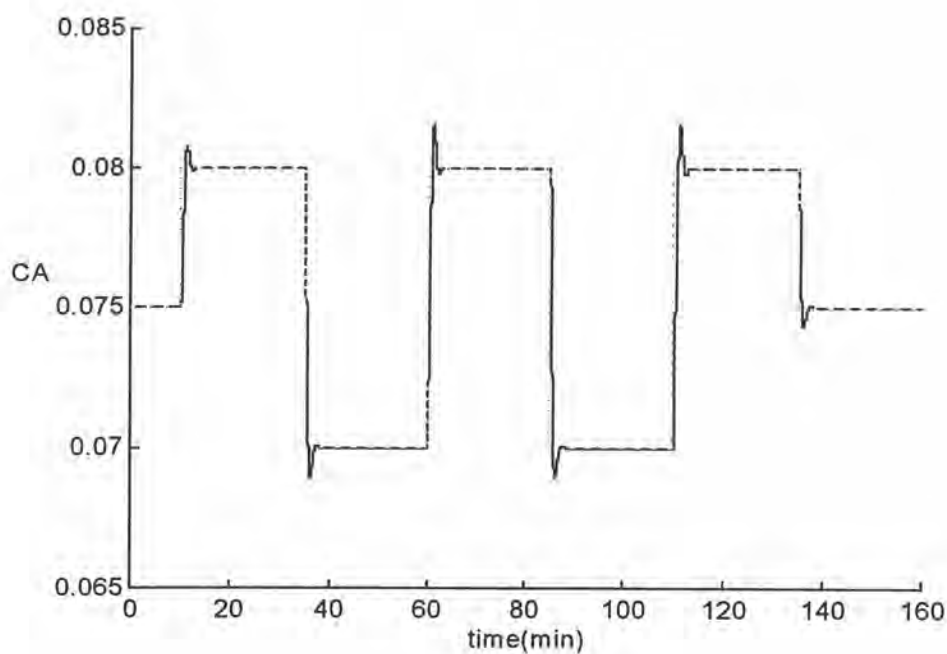


(a)

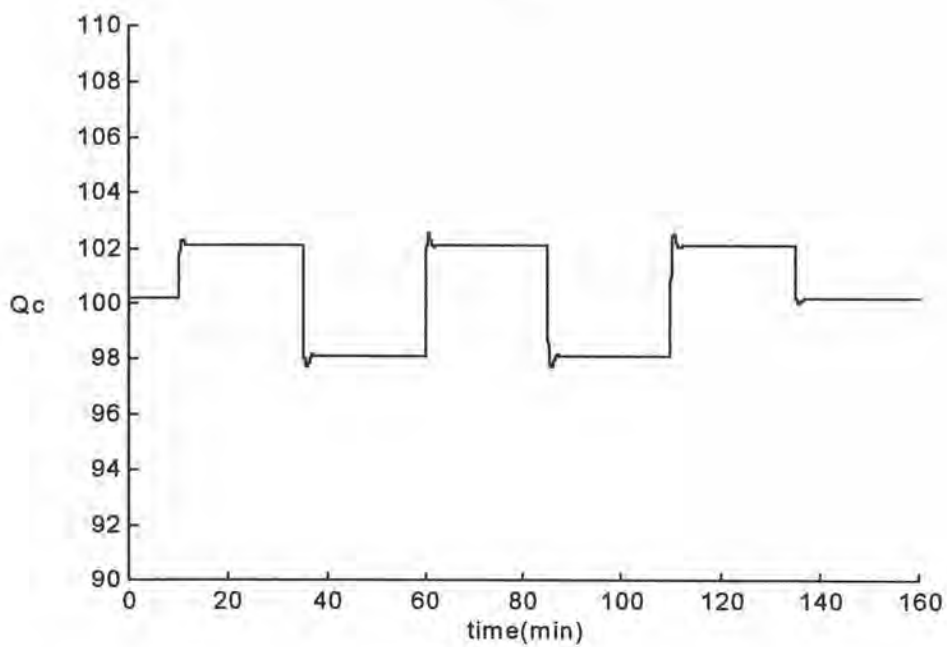


(b)

รูปที่ 6.64 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม

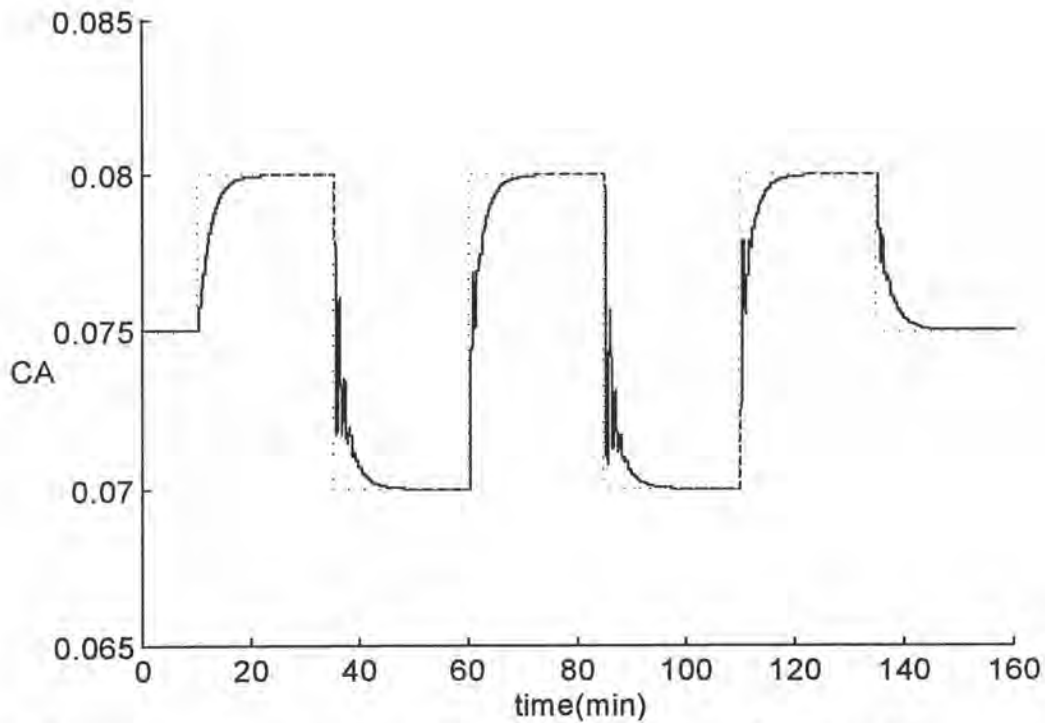


(a)

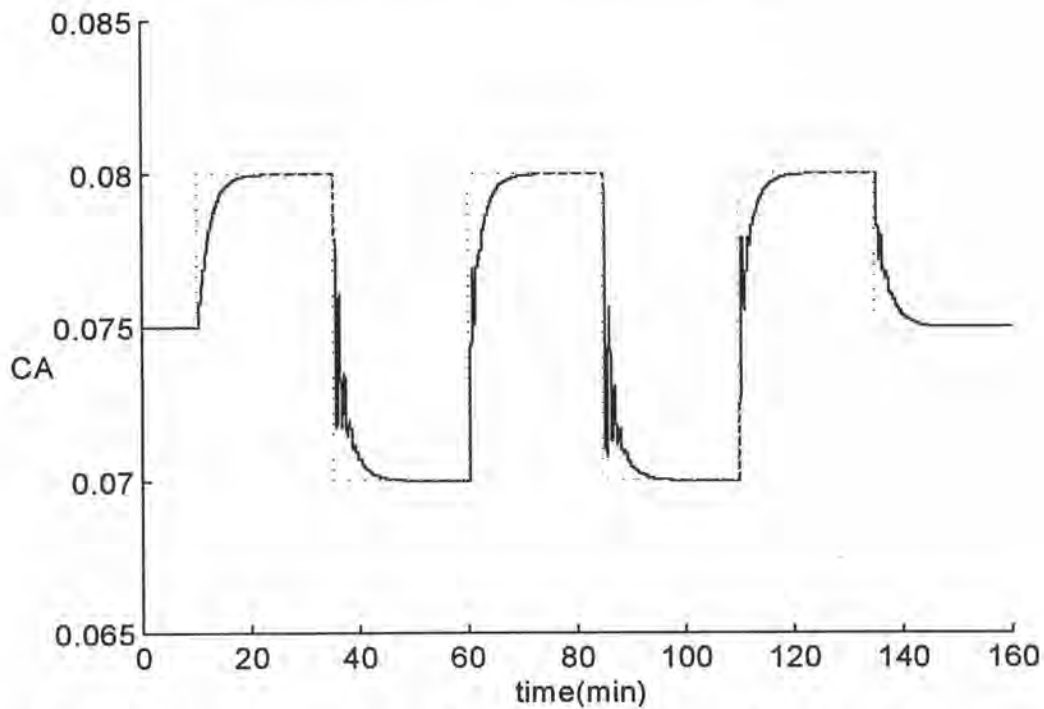


(b)

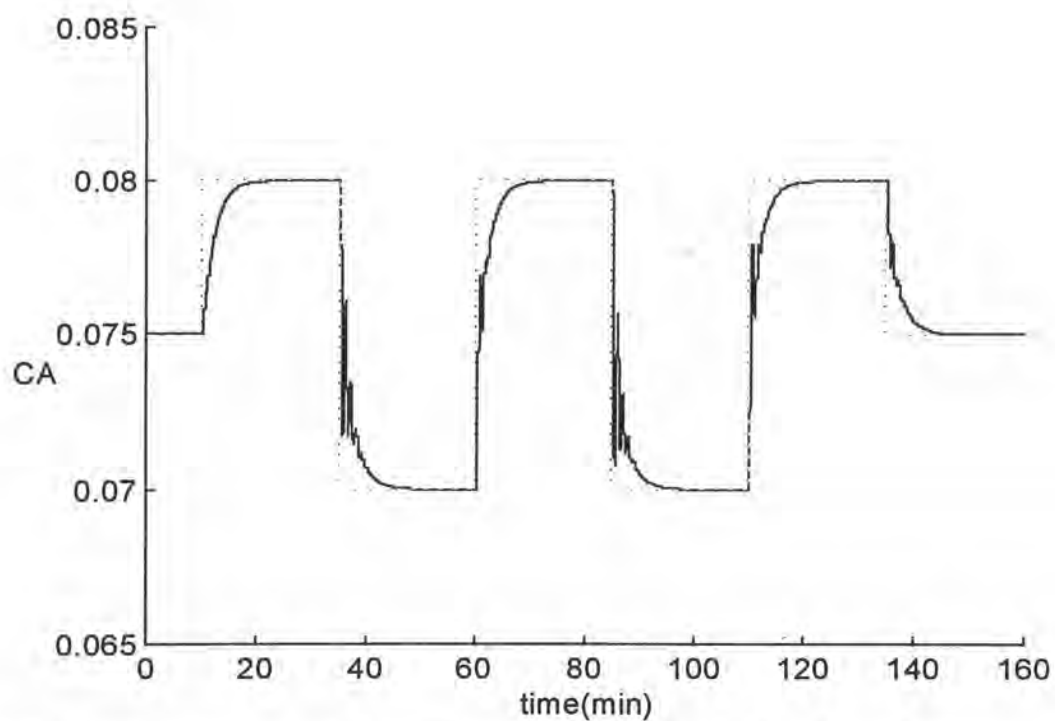
รูปที่ 6.65 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดค
ไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรตาม



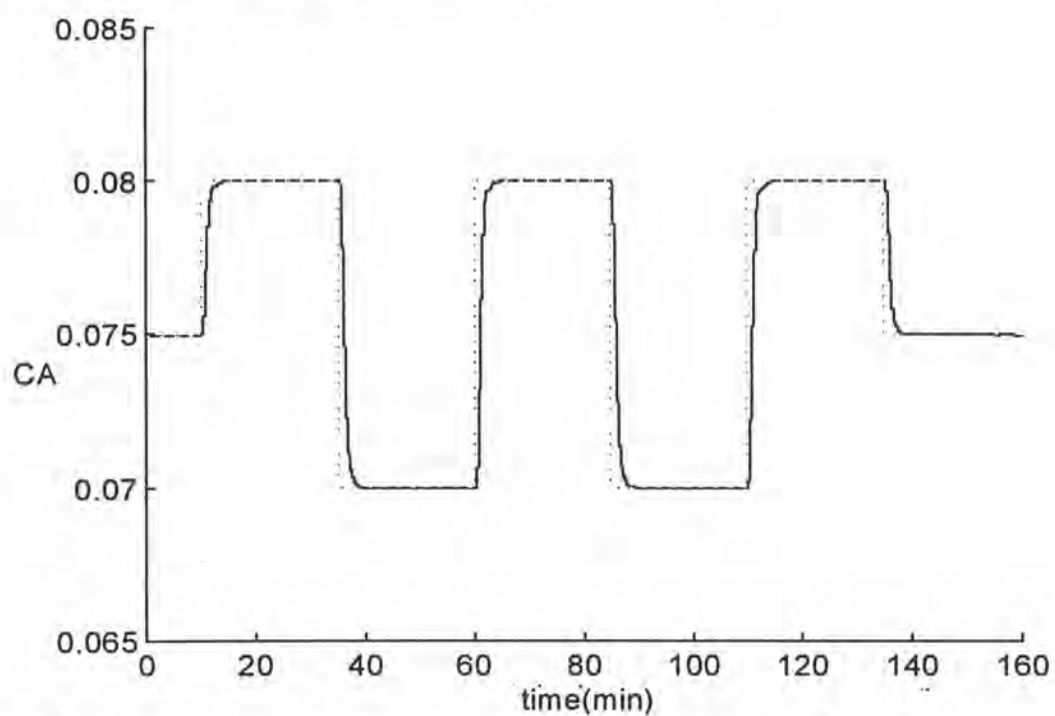
รูปที่ 6.66 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



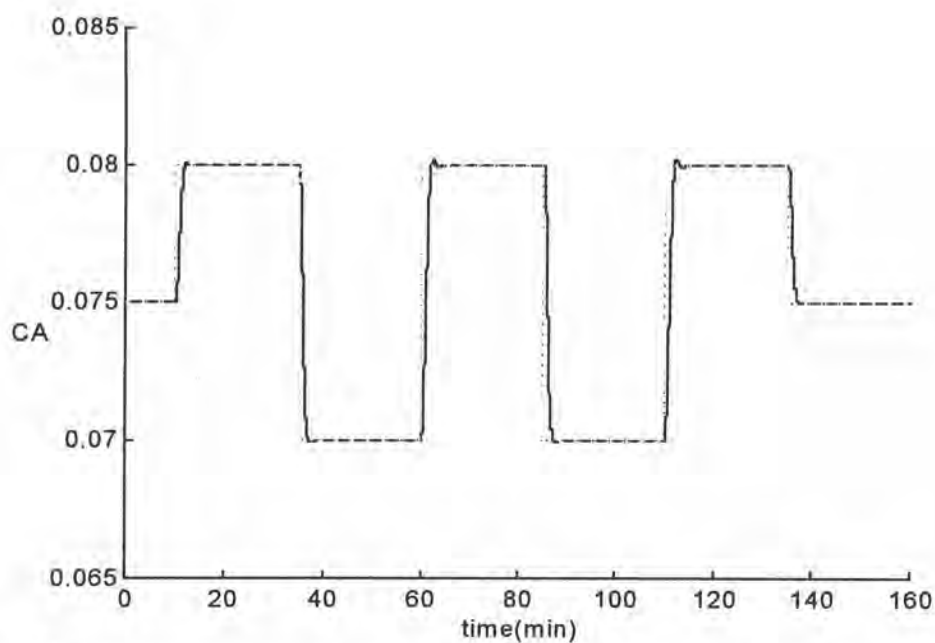
รูปที่ 6.67 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



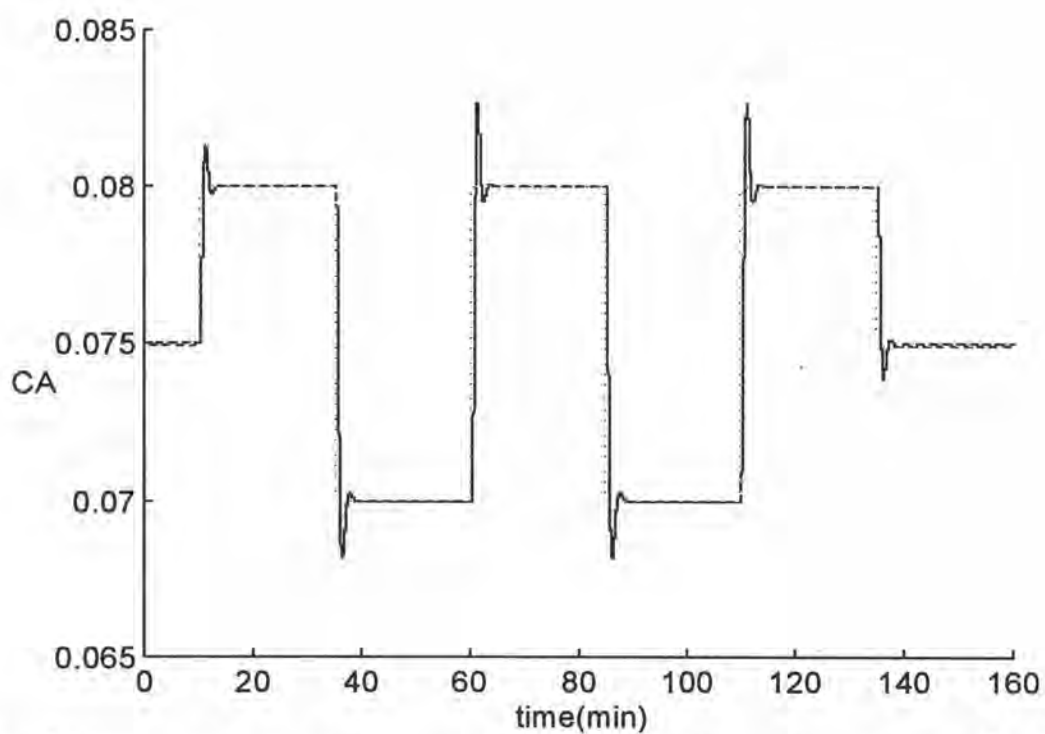
รูปที่ 6.68 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



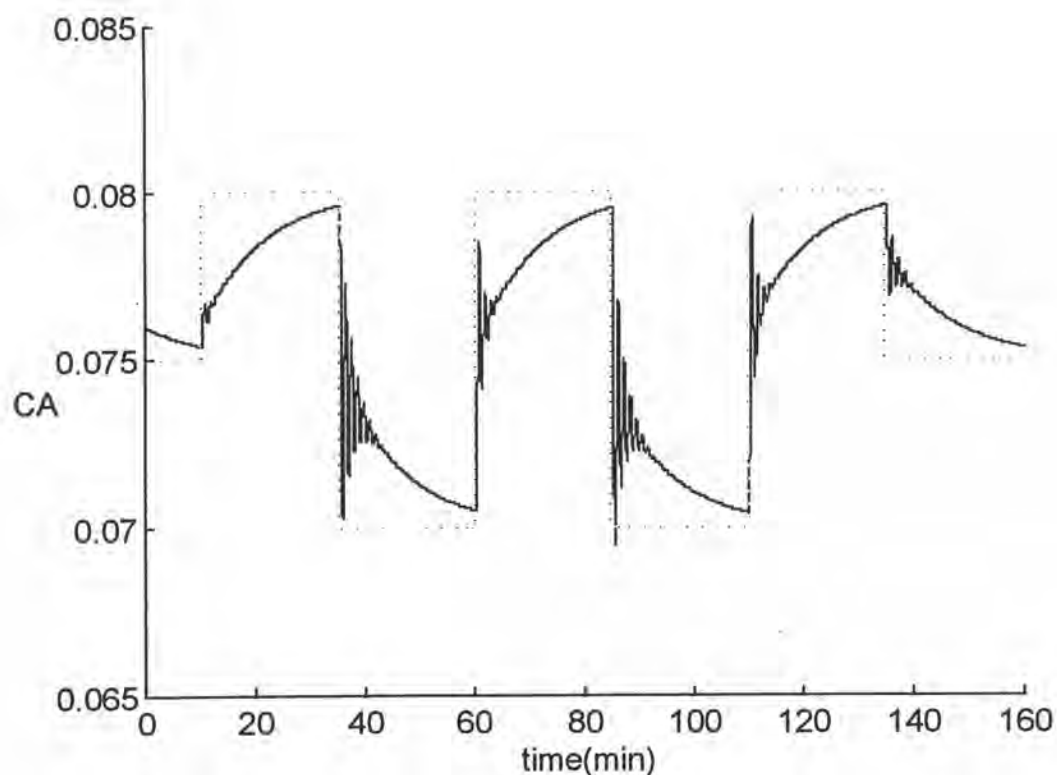
รูปที่ 6.69 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



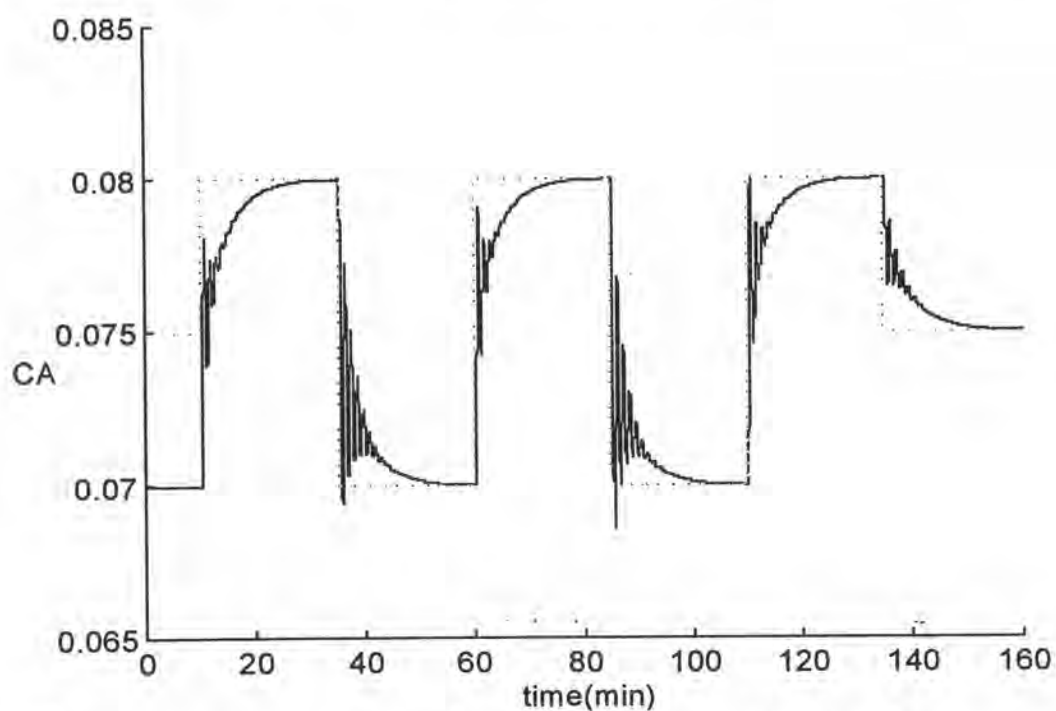
รูปที่ 6.70 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป



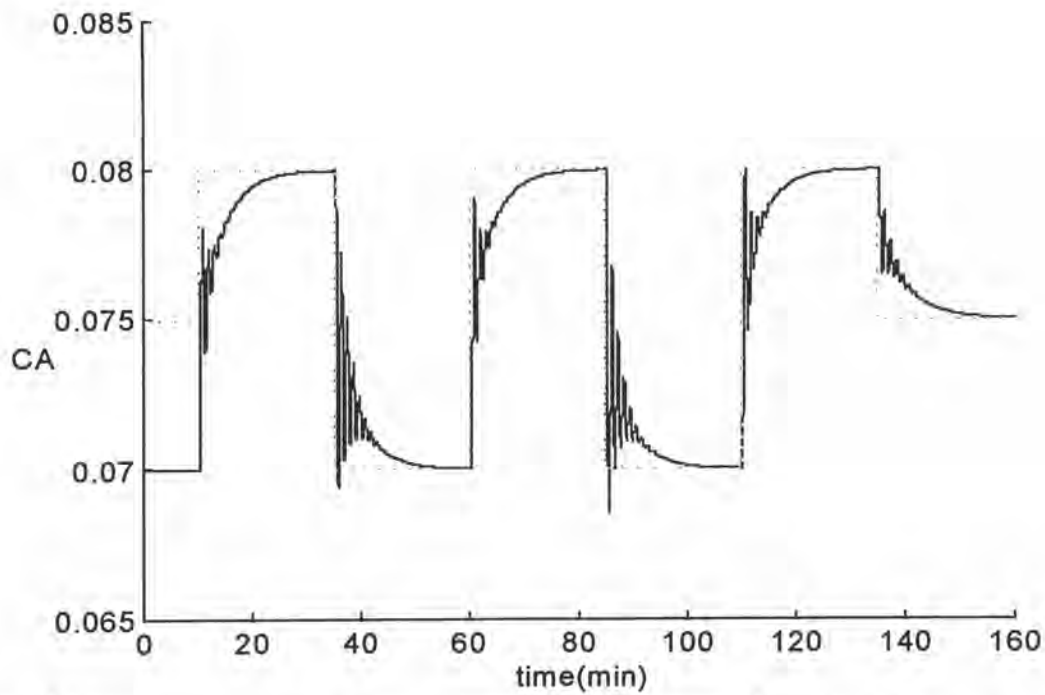
รูปที่ 6.71 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป



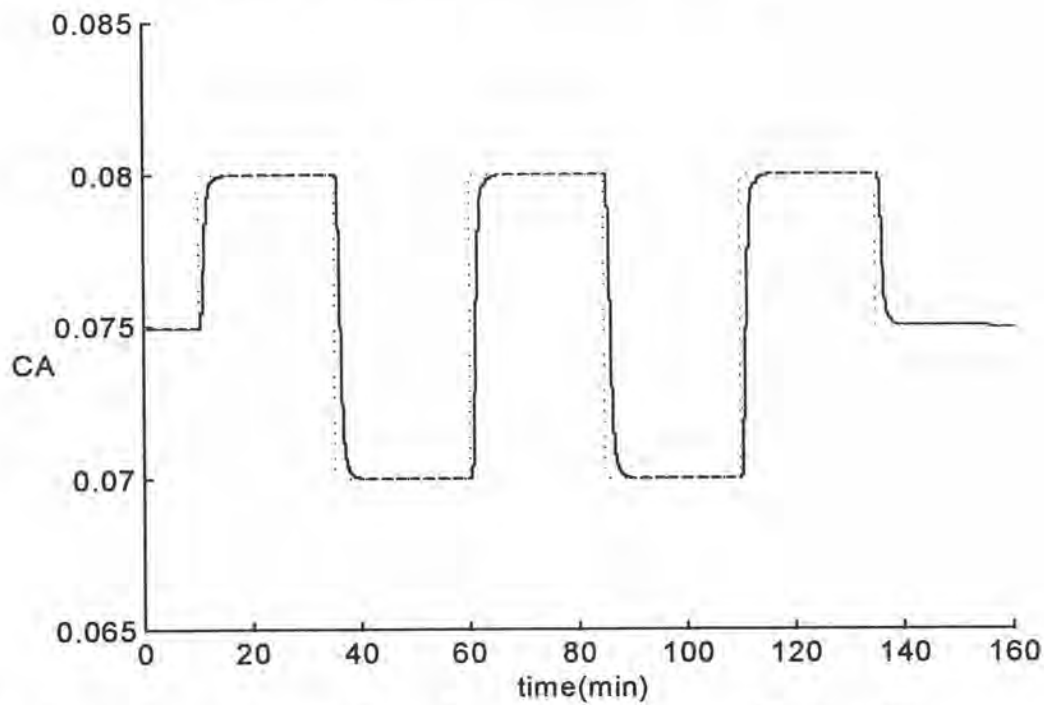
รูปที่ 6.72 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



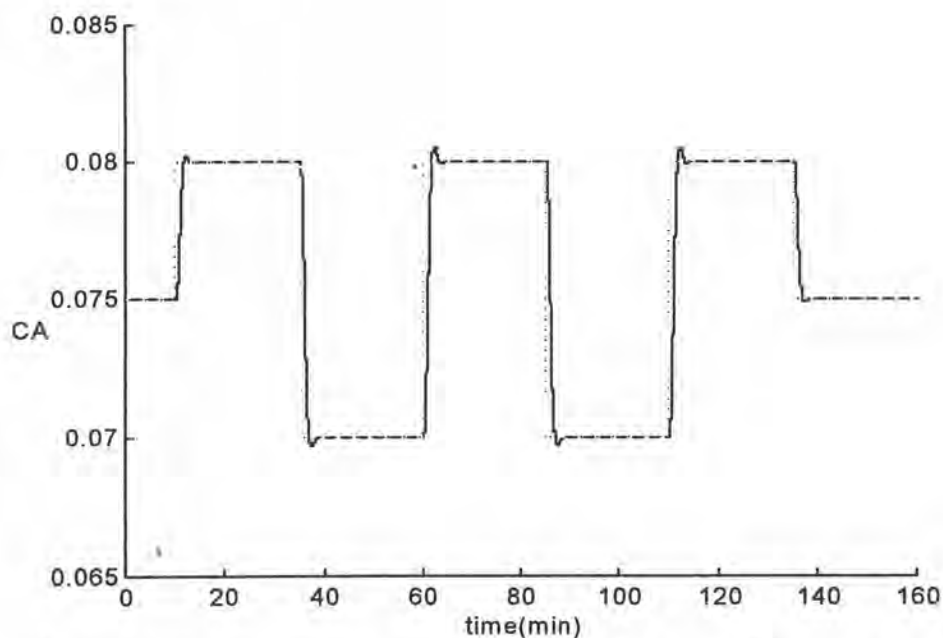
รูปที่ 6.73 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



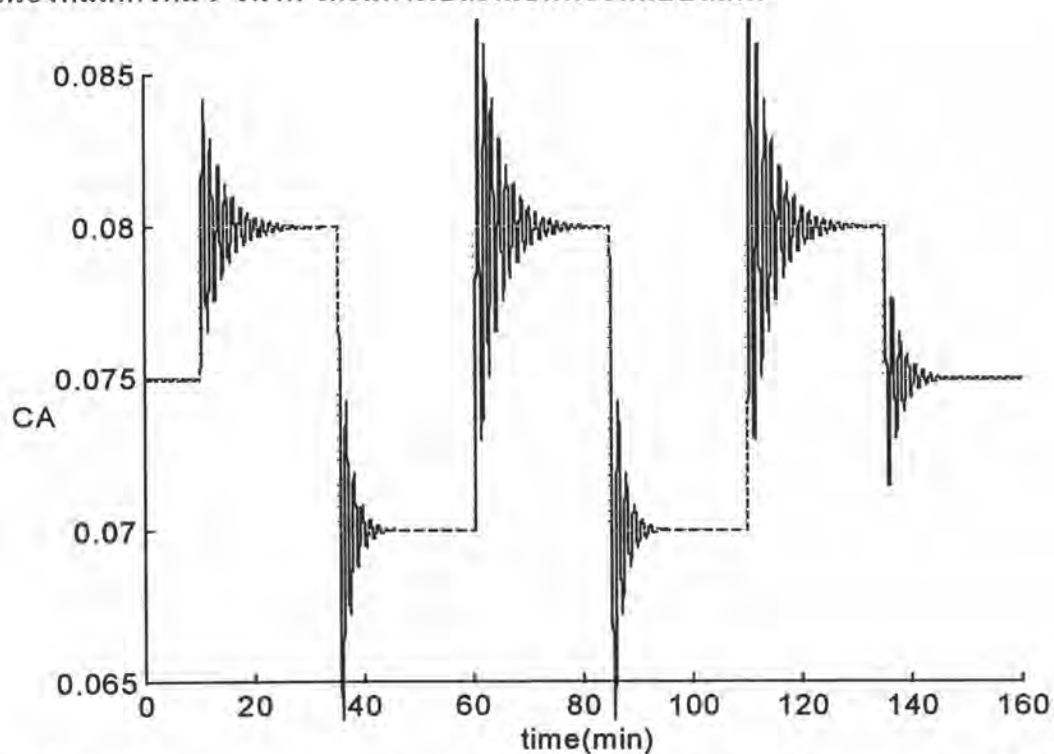
รูปที่ 6.74 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีแคดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



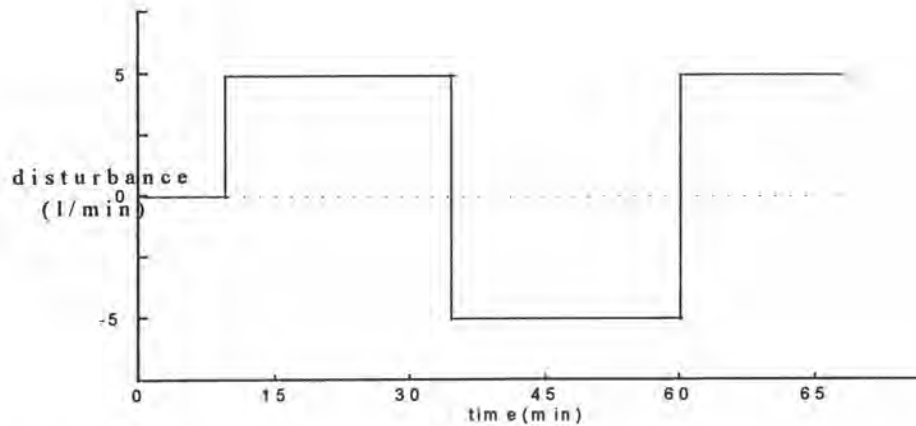
รูปที่ 6.75 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีแคดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสแต็ป



รูปที่ 6.76 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป



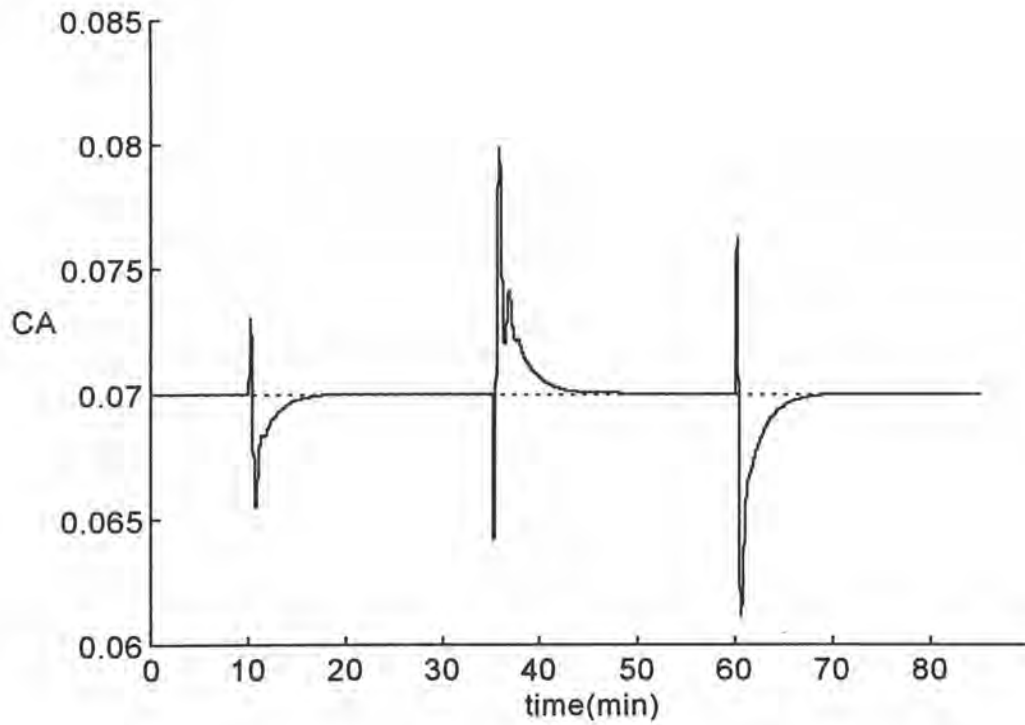
รูปที่ 6.77 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนเซตพอยท์แบบสแต็ป



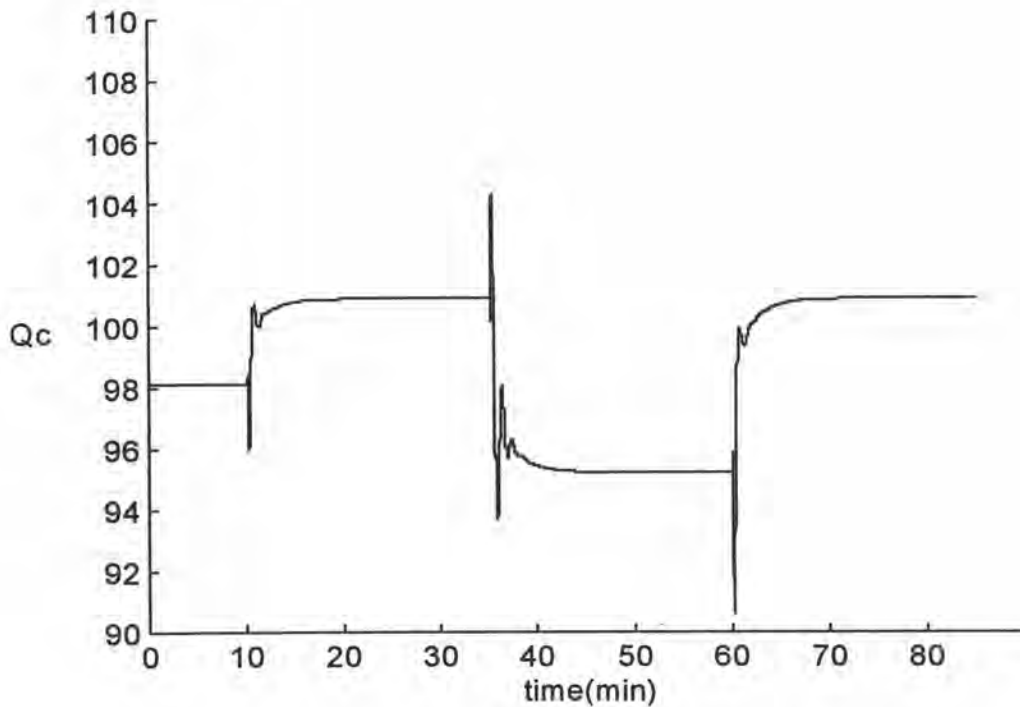
รูปที่ 6.78 การเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนที่เวลาต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 6.8 ผลการควบคุมความเข้มข้นของสาร A ต่อการเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนแบบสเต็ปที่เดดไทม์ 3 วินาที 6 วินาที และ 9 วินาที ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ตัวควบคุม	IAE		
	เดดไทม์ 5 วินาที	เดดไทม์ 10 วินาที	เดดไทม์ 15 วินาที
โครงสร้างที่ 1	4.49	4.49	7.4
โครงสร้างที่ 2	3.53	3.56	6.6
โครงสร้างที่ 3	3.21	3.30	5.36
โครงสร้างที่ 4	2.64	2.71	2.88
โครงสร้างที่ 5	2.85	2.93	3.11
พีไอดี	2.92	3.12	3.36

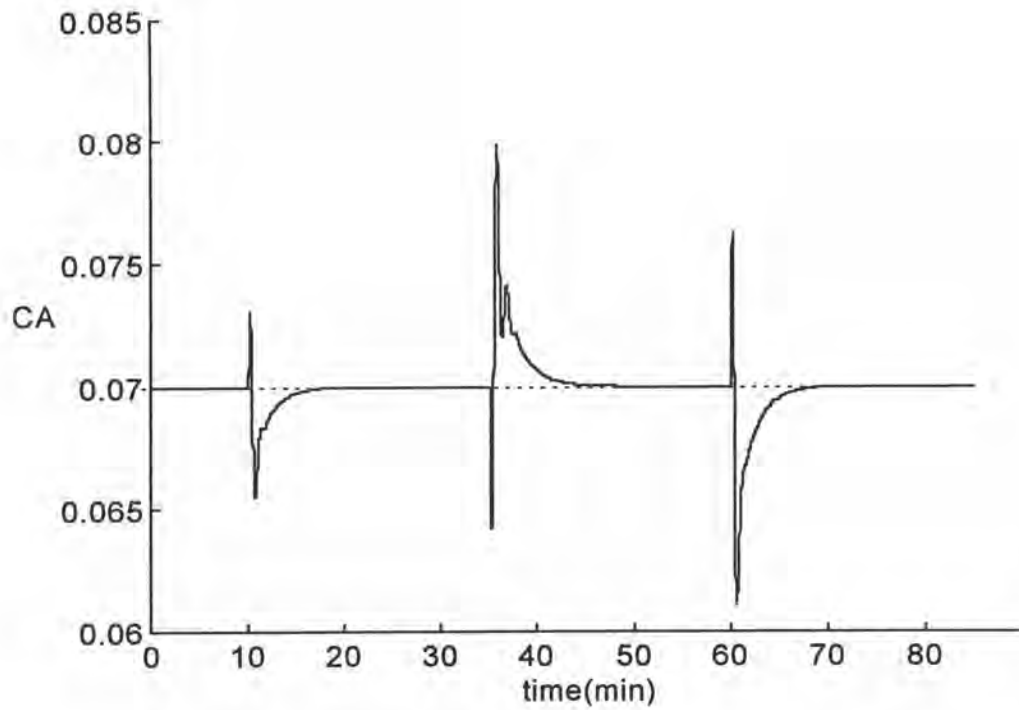


(a)

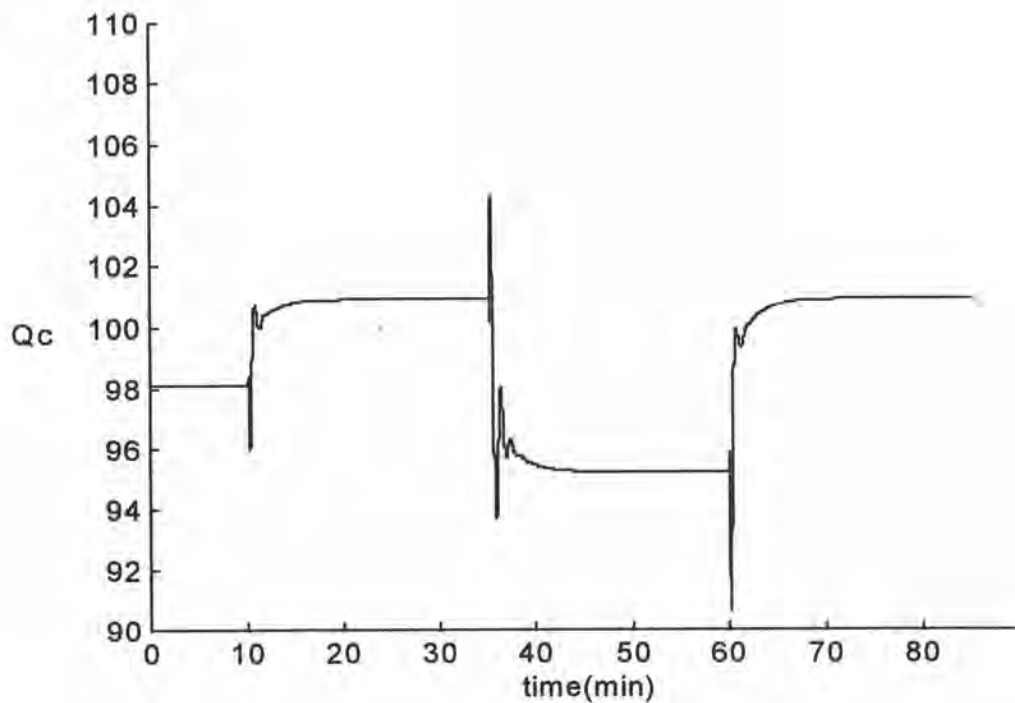


(b)

รูปที่ 6.79 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีเขตไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



(a)

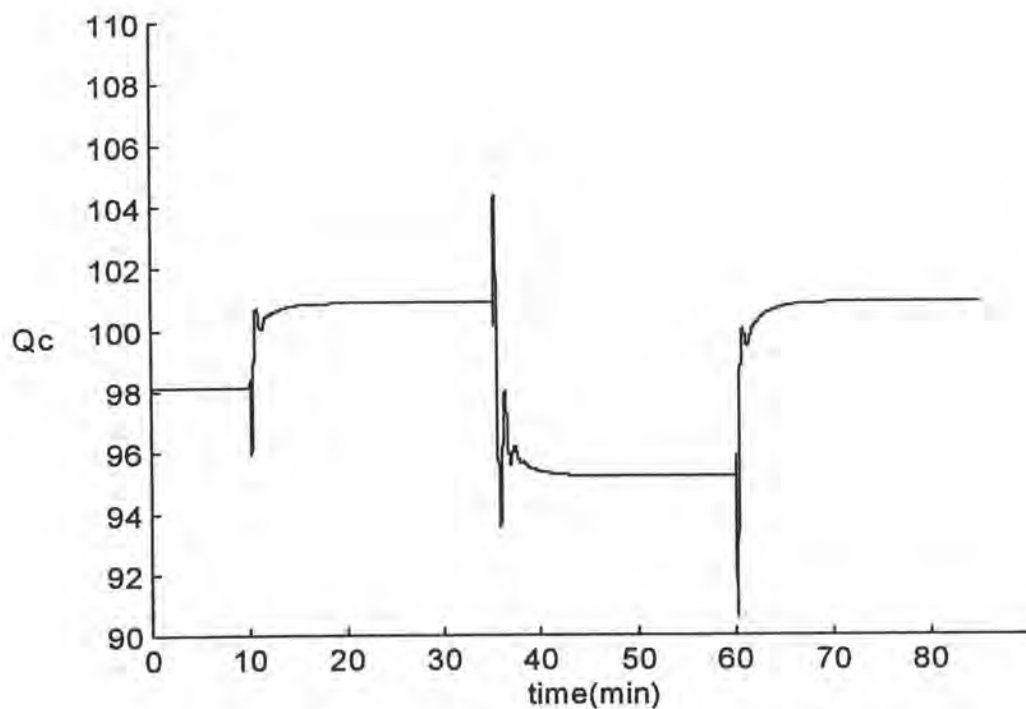


(b)

รูปที่ 6.80 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

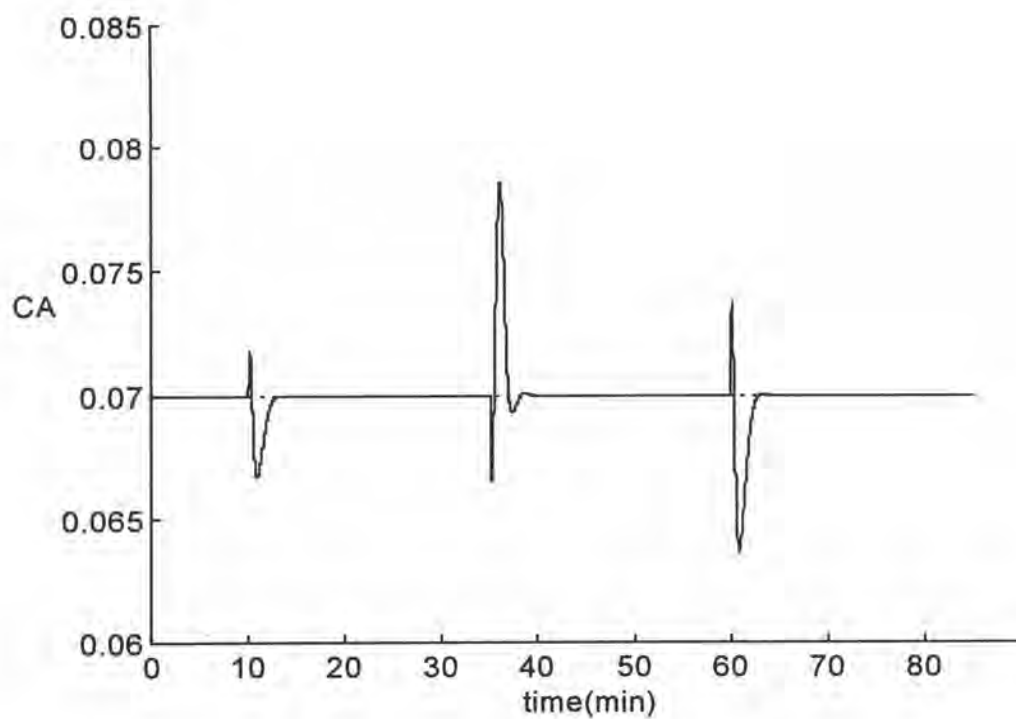


(a)

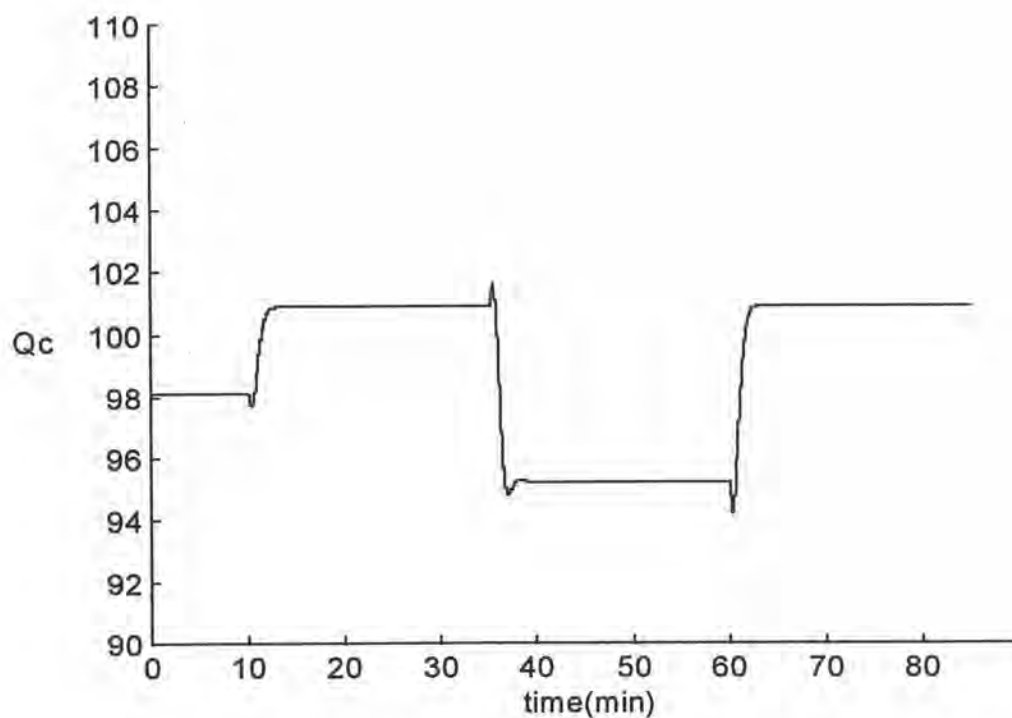


(b)

รูปที่ 6.81 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

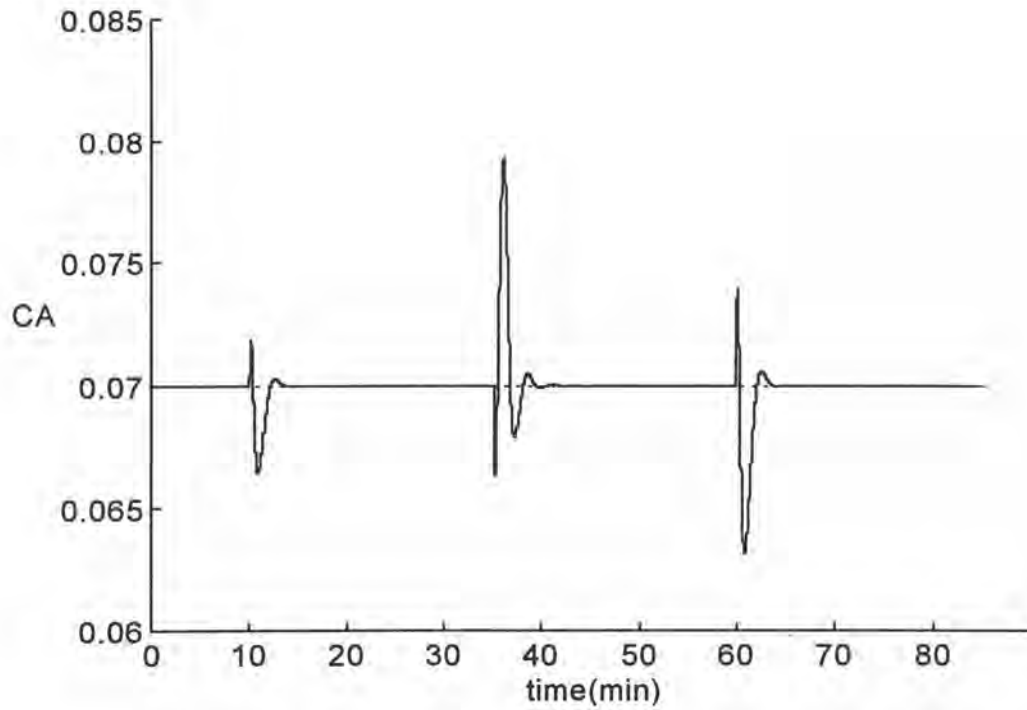


(a)

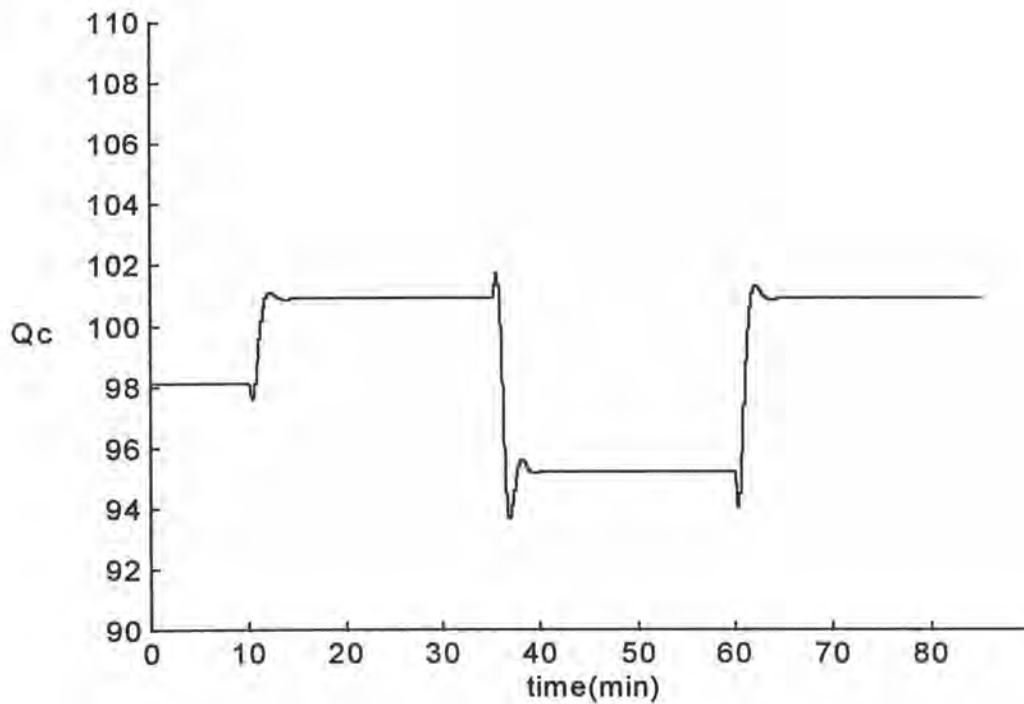


(b)

รูปที่ 6.82 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

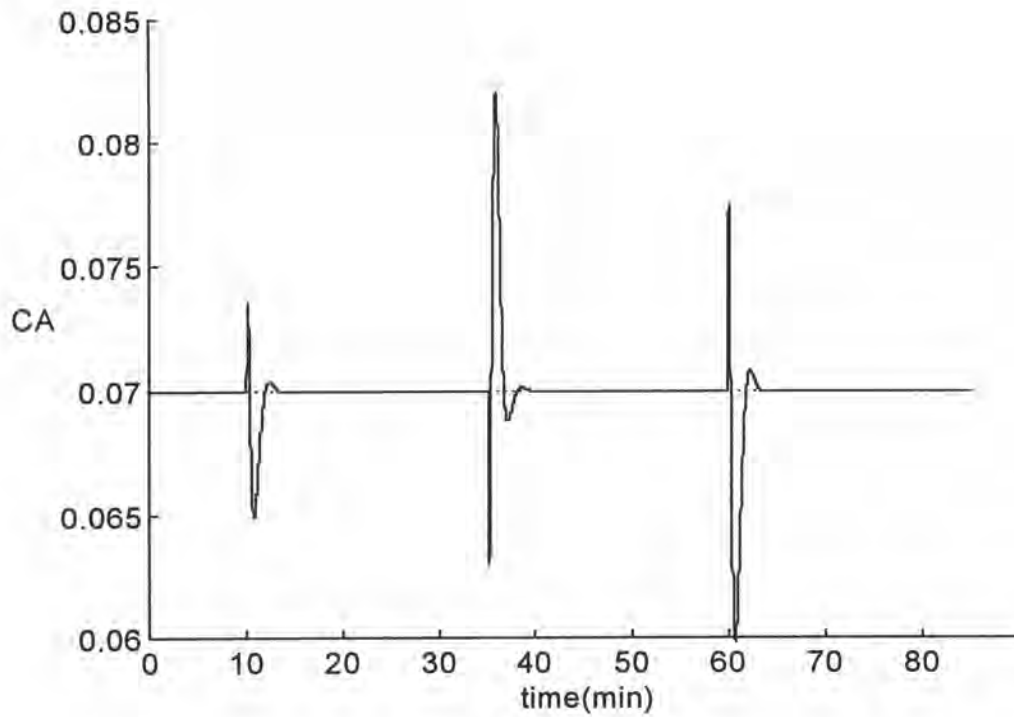


(a)

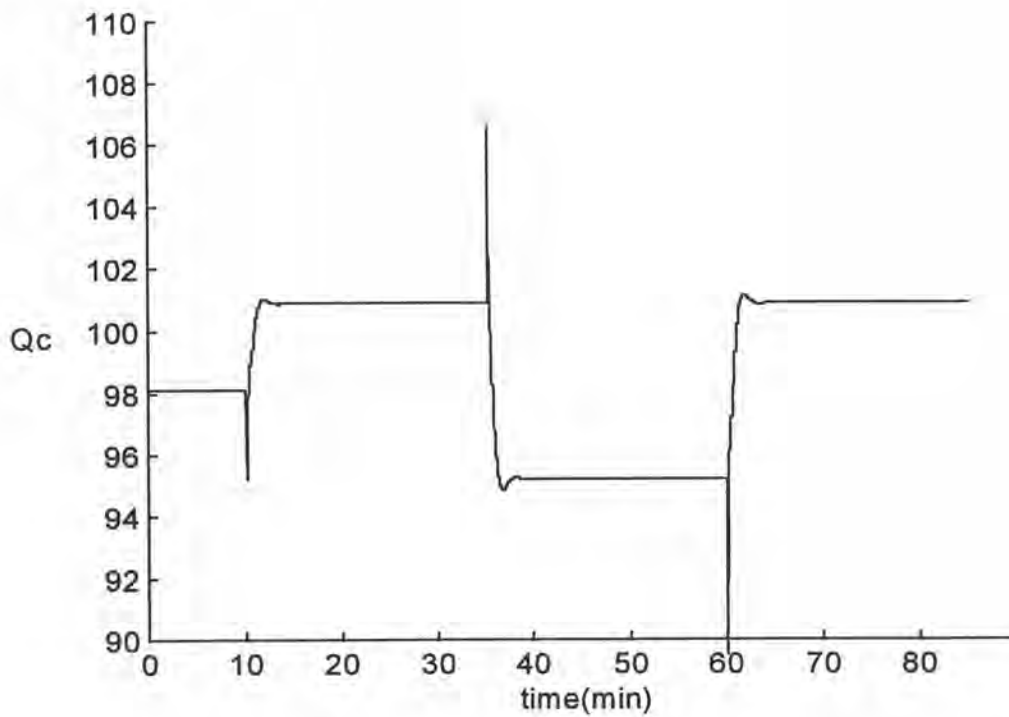


(b)

รูปที่ 6.83 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปร

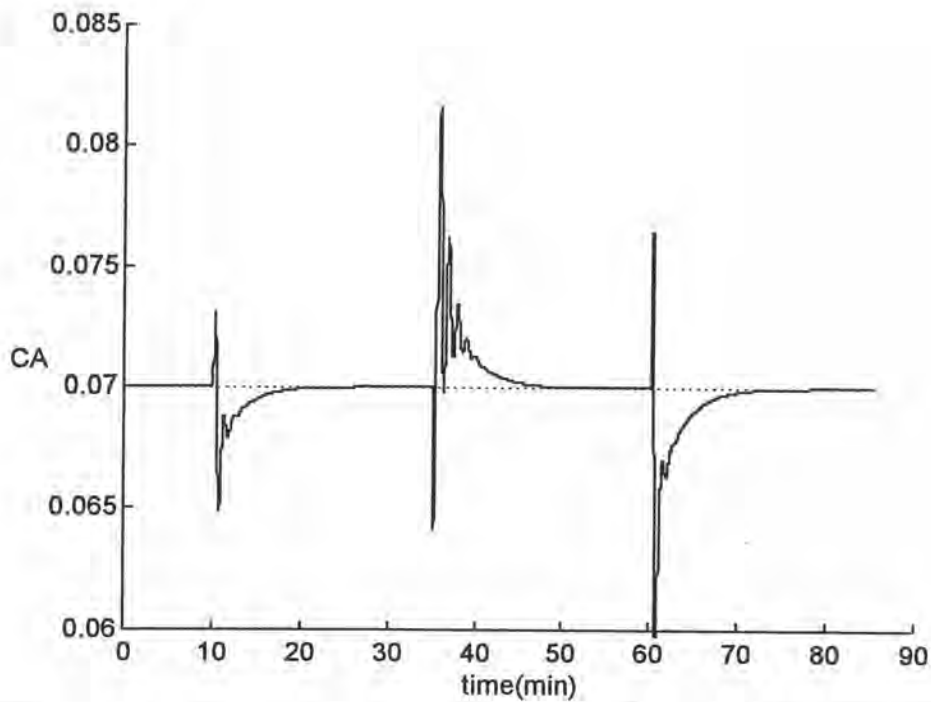


(a)

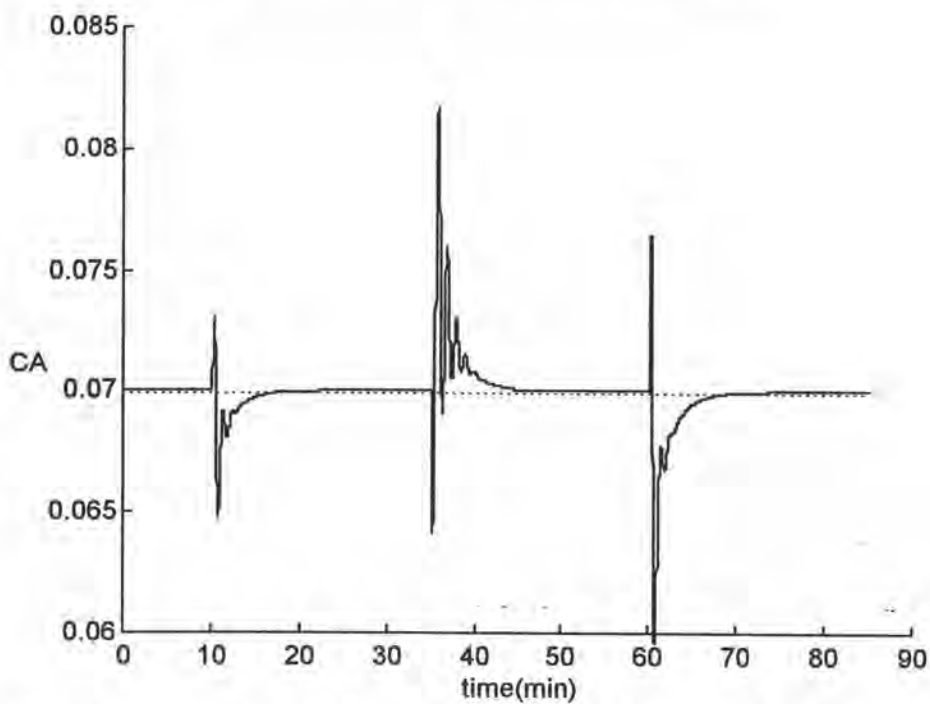


(b)

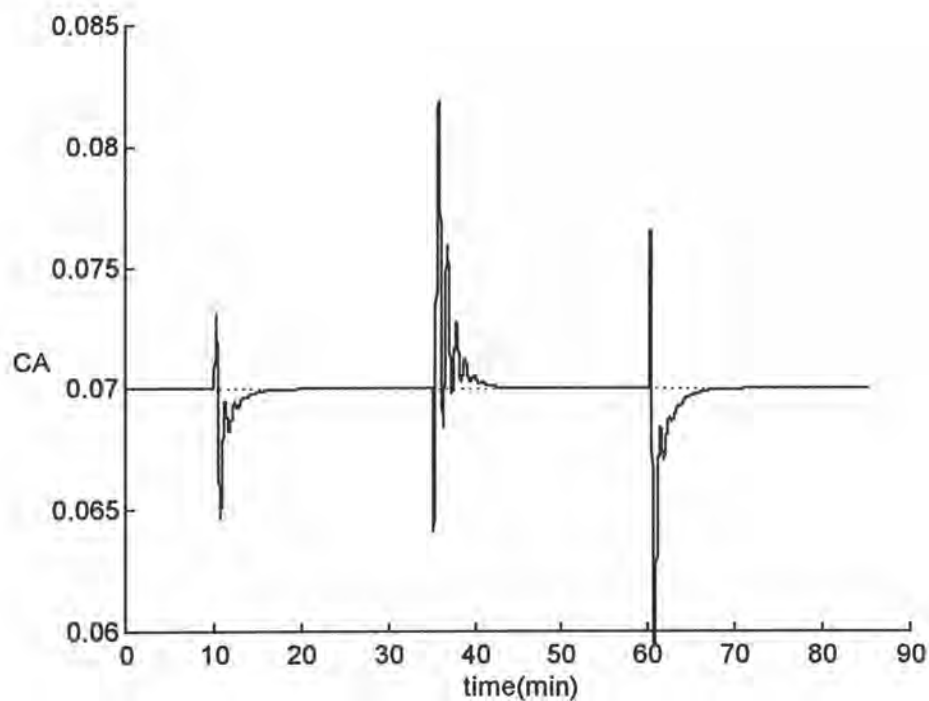
รูปที่ 6.84 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



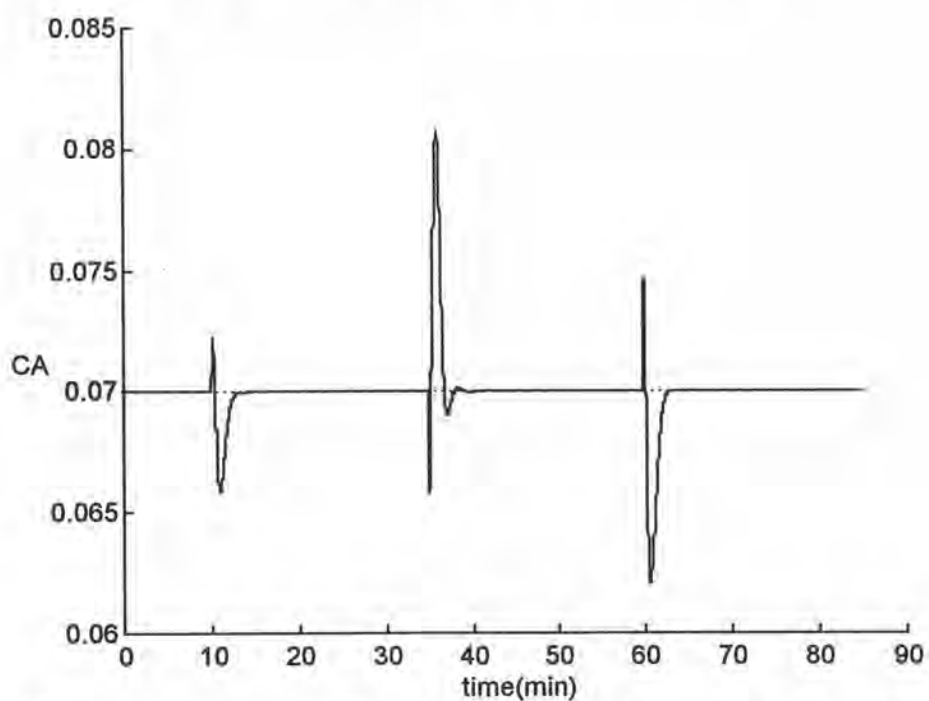
รูปที่ 6.85 ผลการควบคุมของ โครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



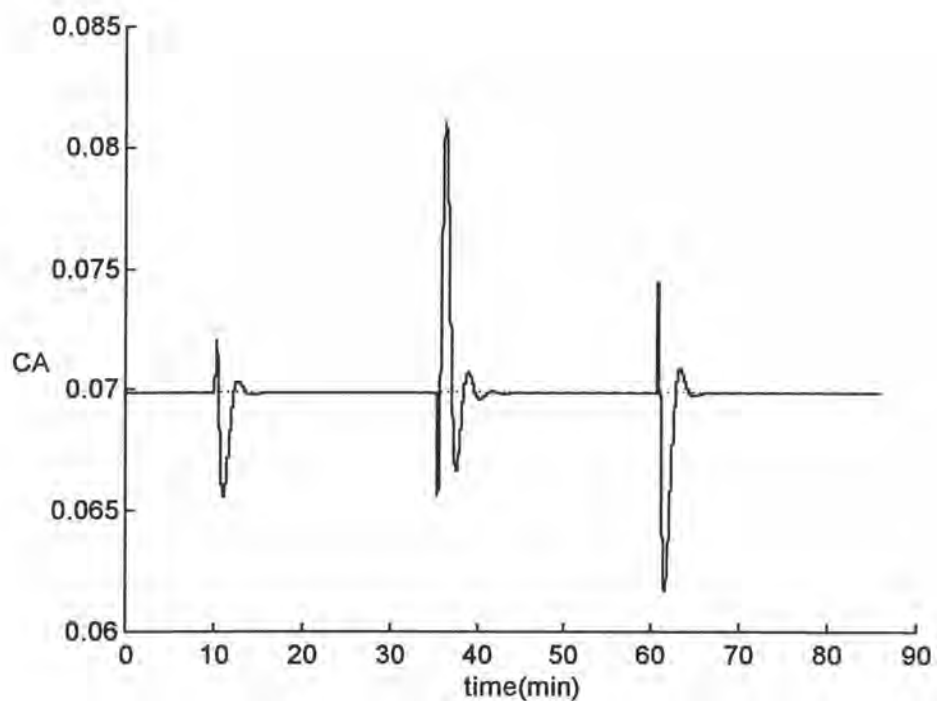
รูปที่ 6.86 ผลการควบคุมของ โครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



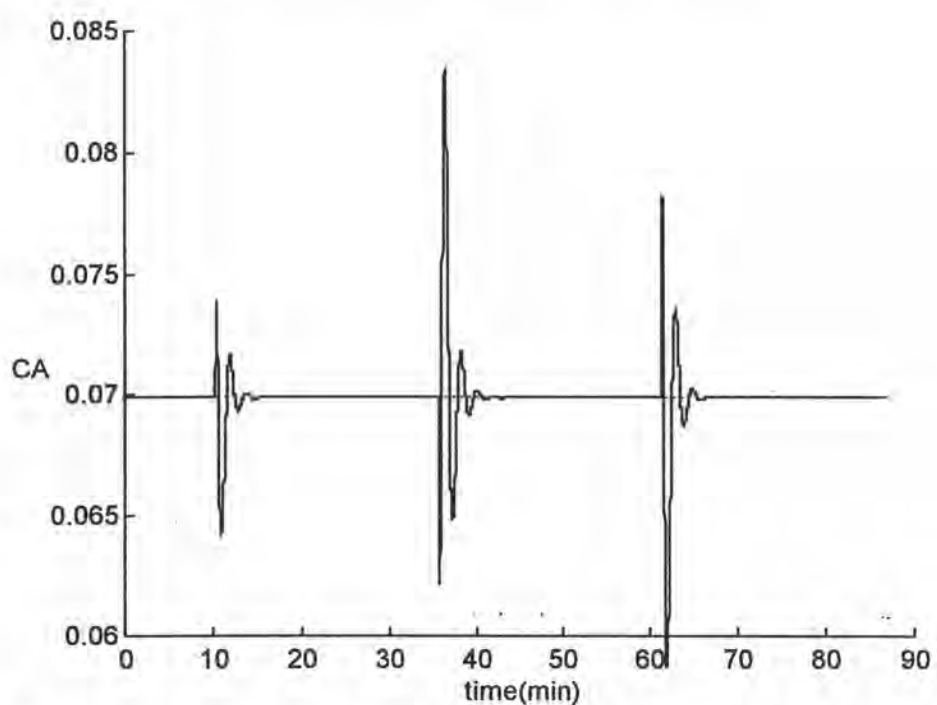
รูปที่ 6.87 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ



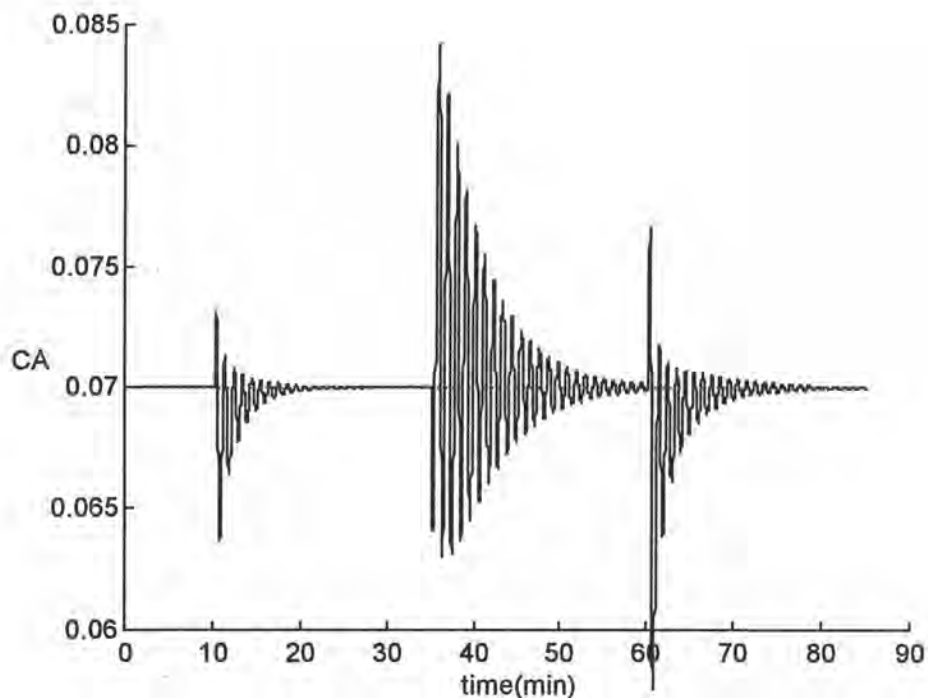
รูปที่ 6.88 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ



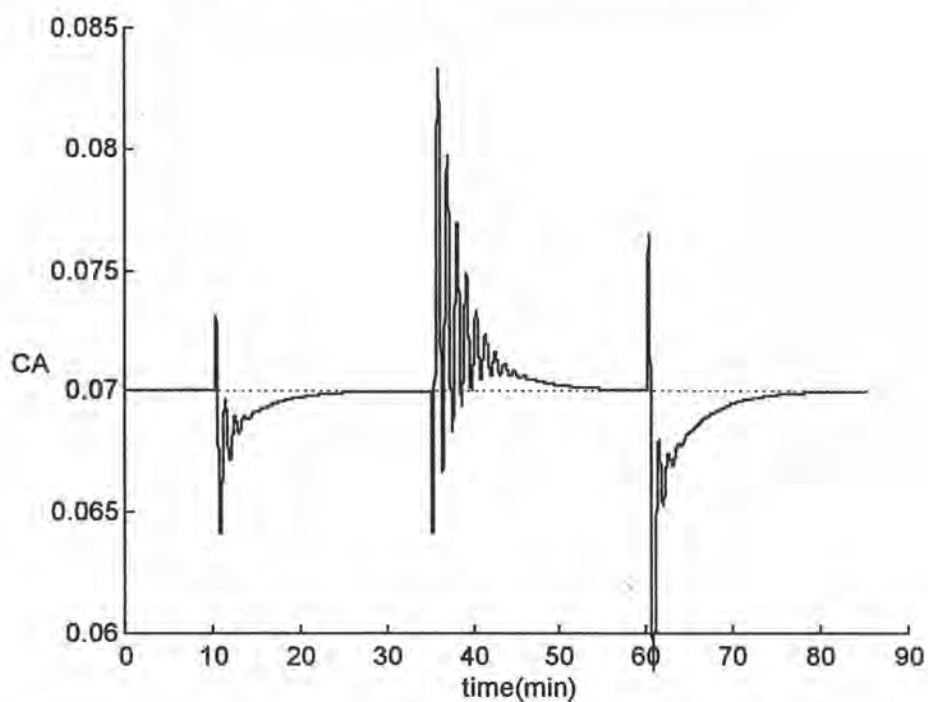
รูปที่ 6.89 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



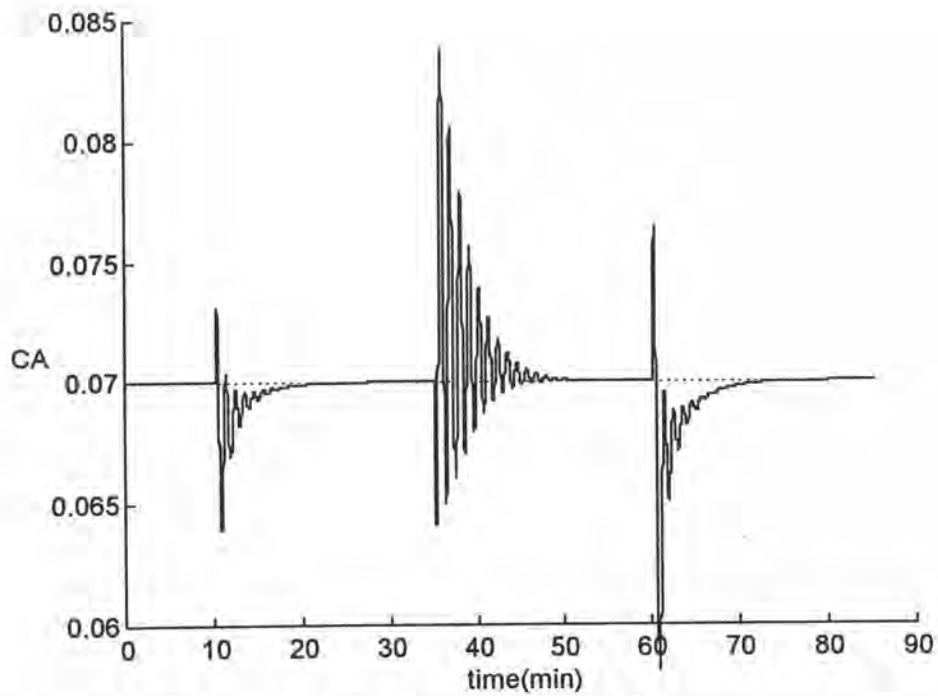
รูปที่ 6.90 ผลการควบคุมของตัวควบคุมที่ไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



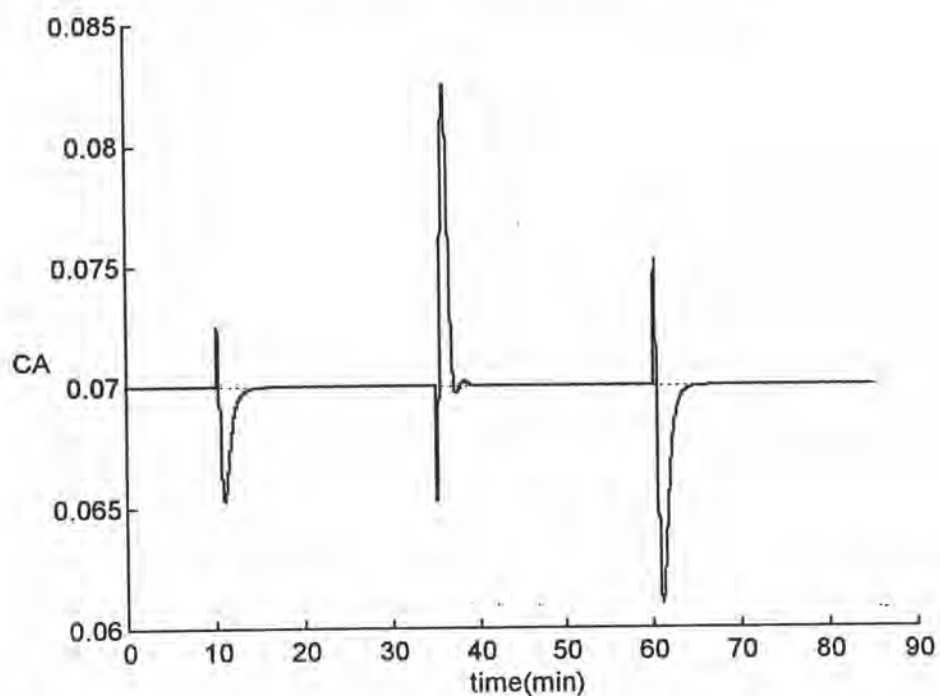
รูปที่ 6.91 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



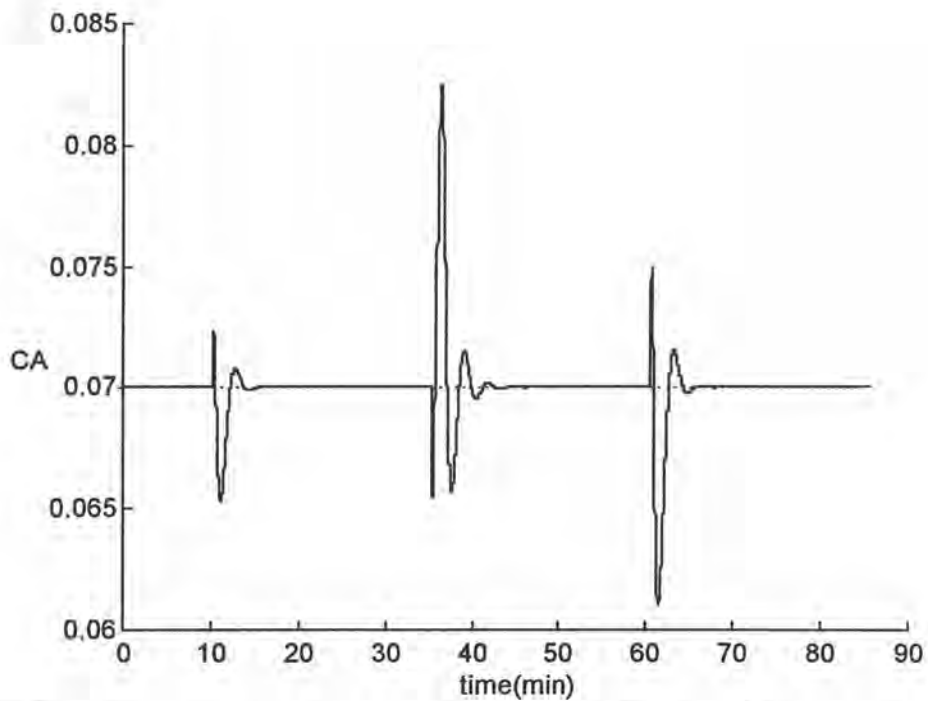
รูปที่ 6.92 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



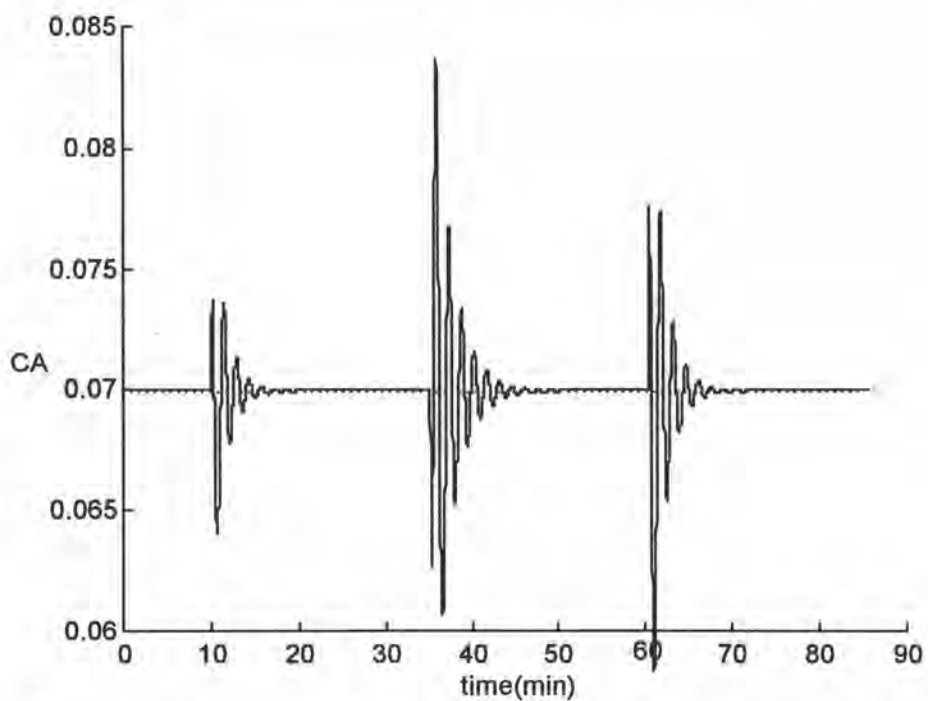
รูปที่ 6.93 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



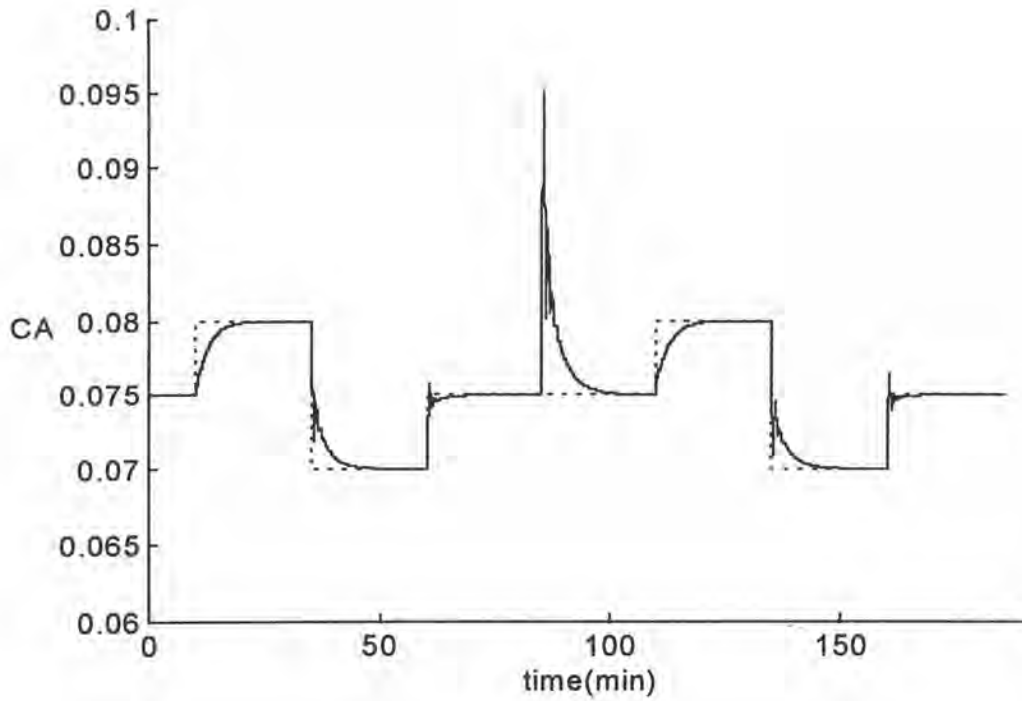
รูปที่ 6.94 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป



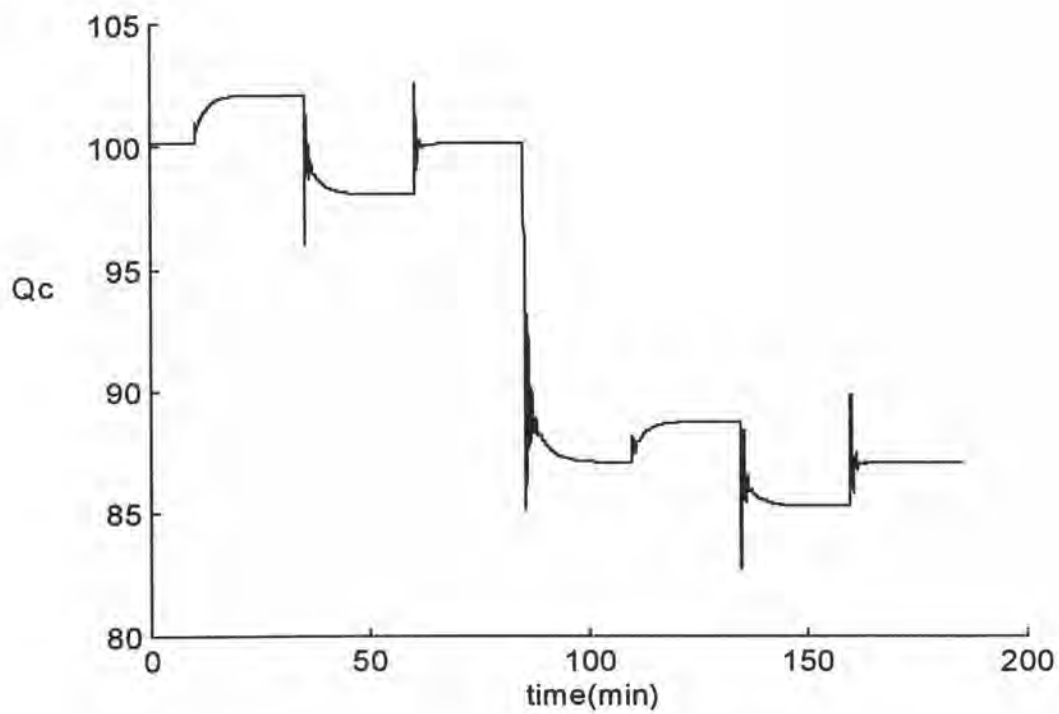
รูปที่ 6.95 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ



รูปที่ 6.96 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสตีพ

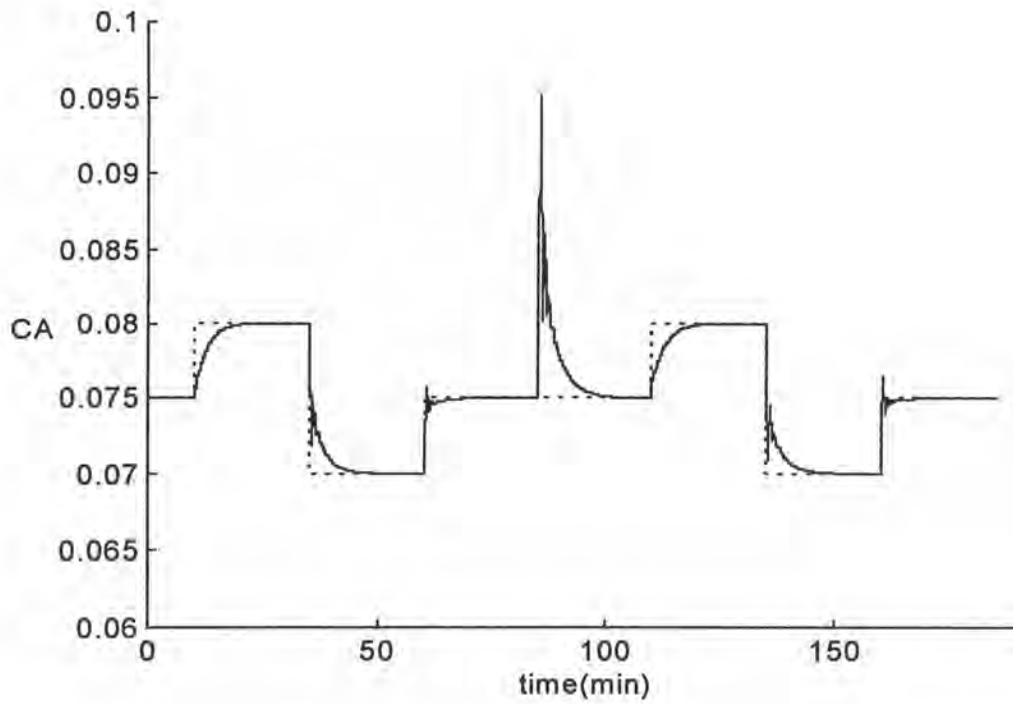


(a)

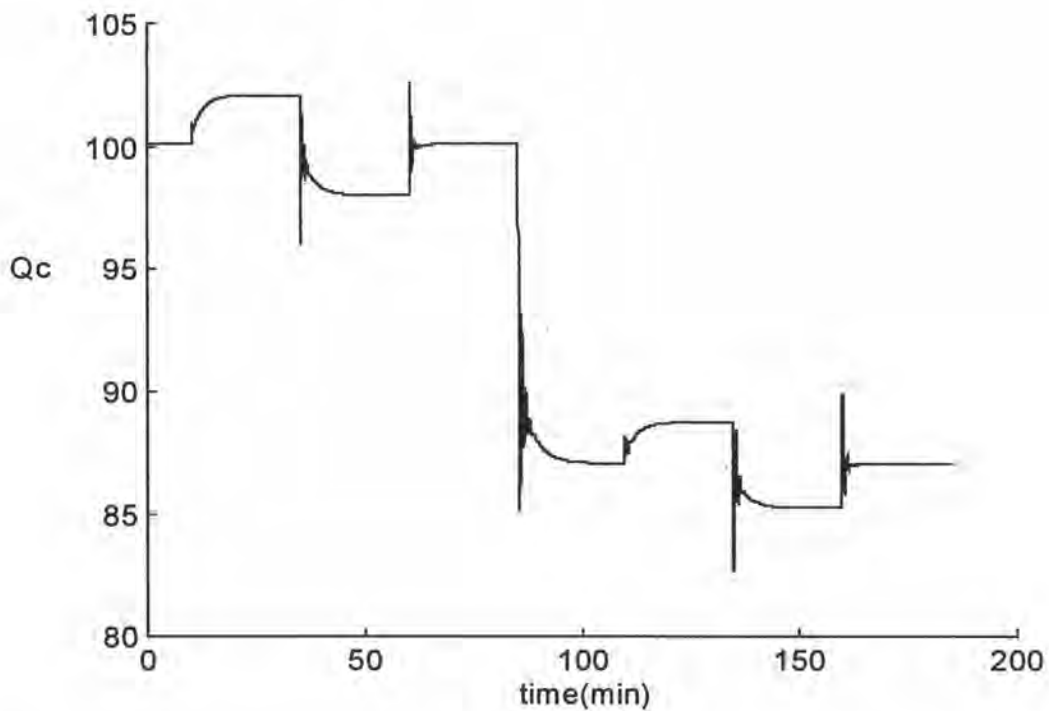


(b)

รูปที่ 6.97 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มี เคนไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

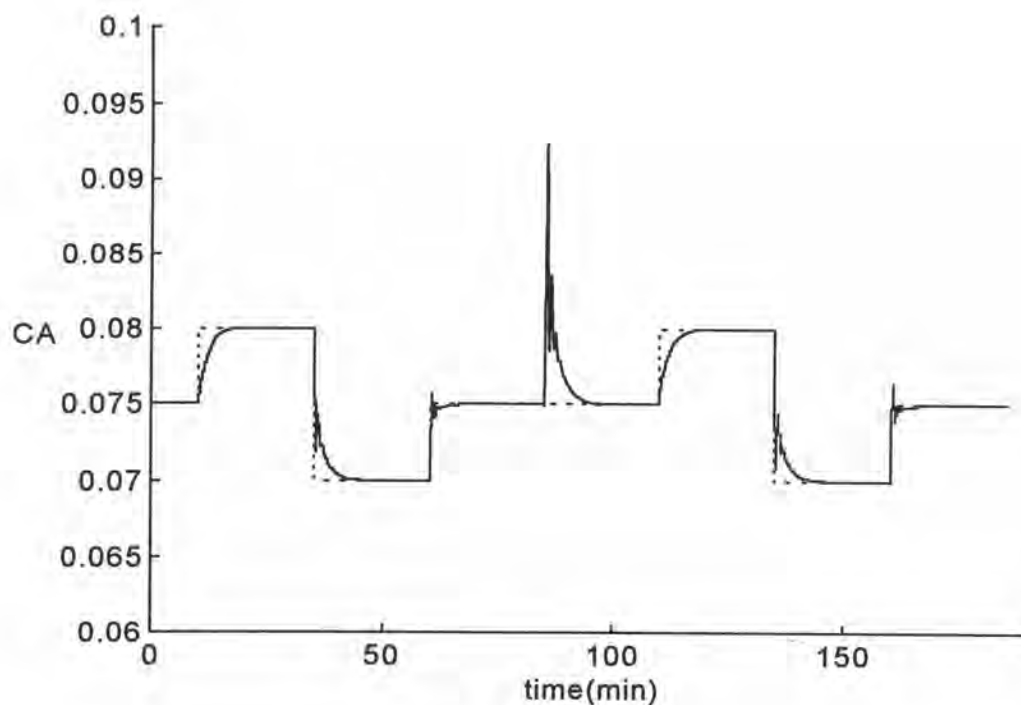


(a)

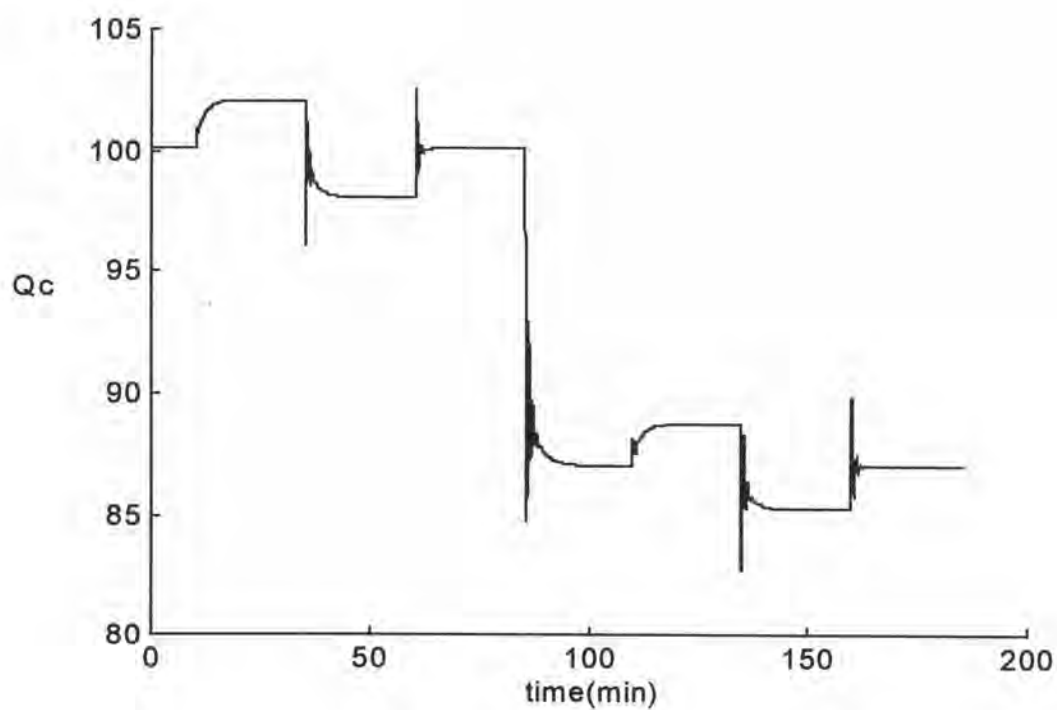


(b)

รูปที่ 6.98 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มี เดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

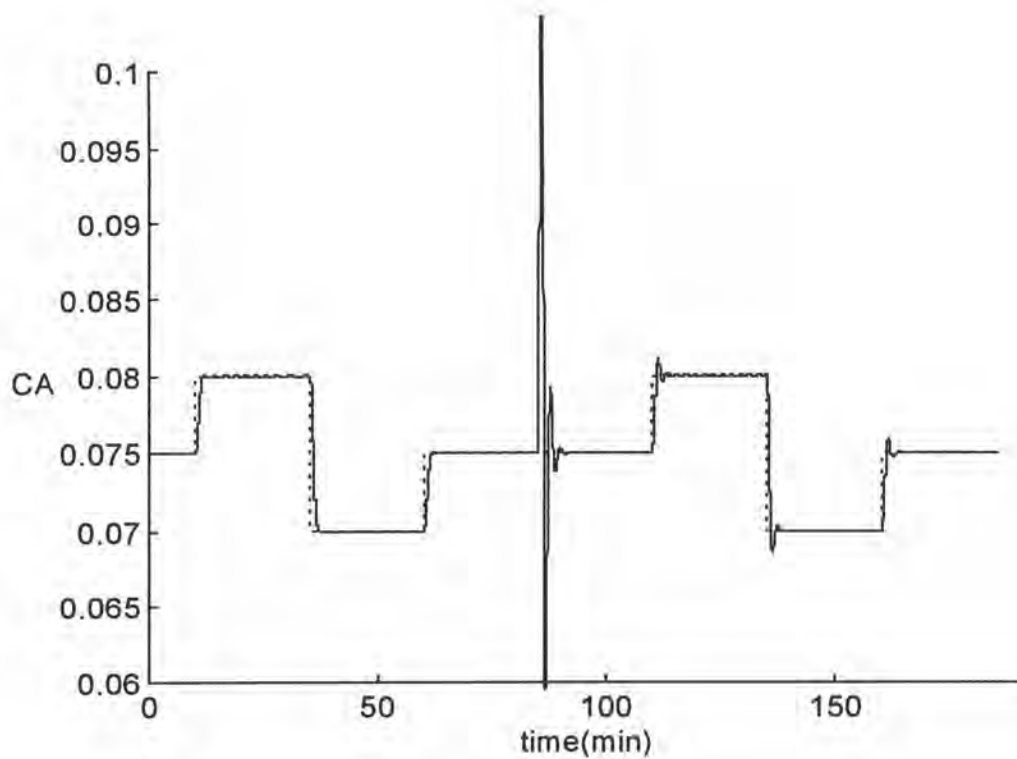


(a)

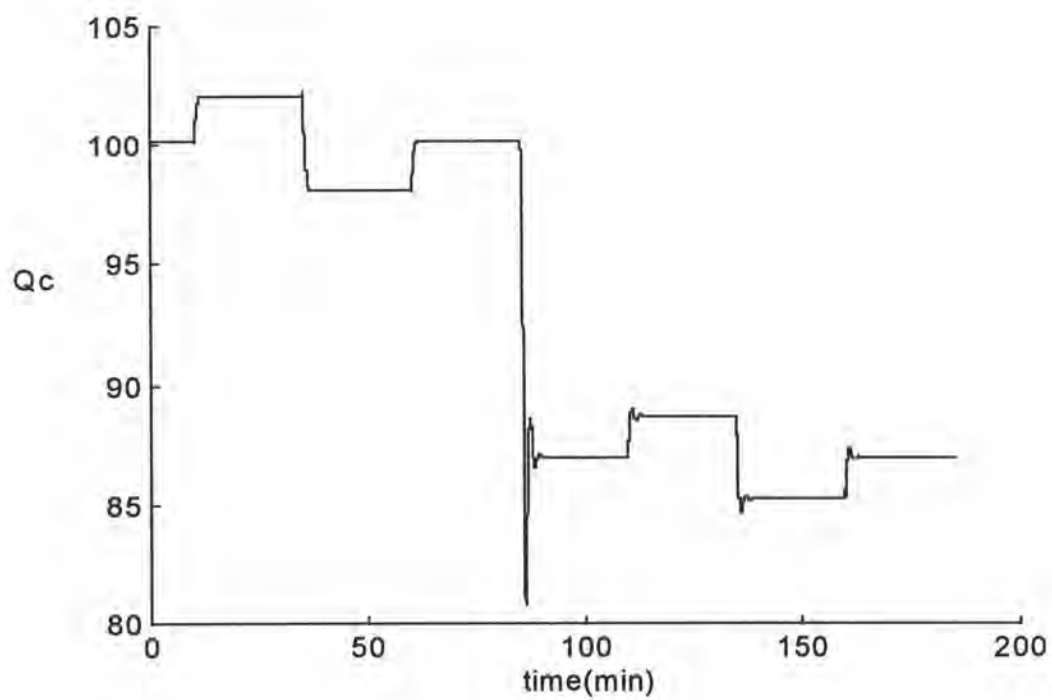


(b)

รูปที่ 6.99 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มี เดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

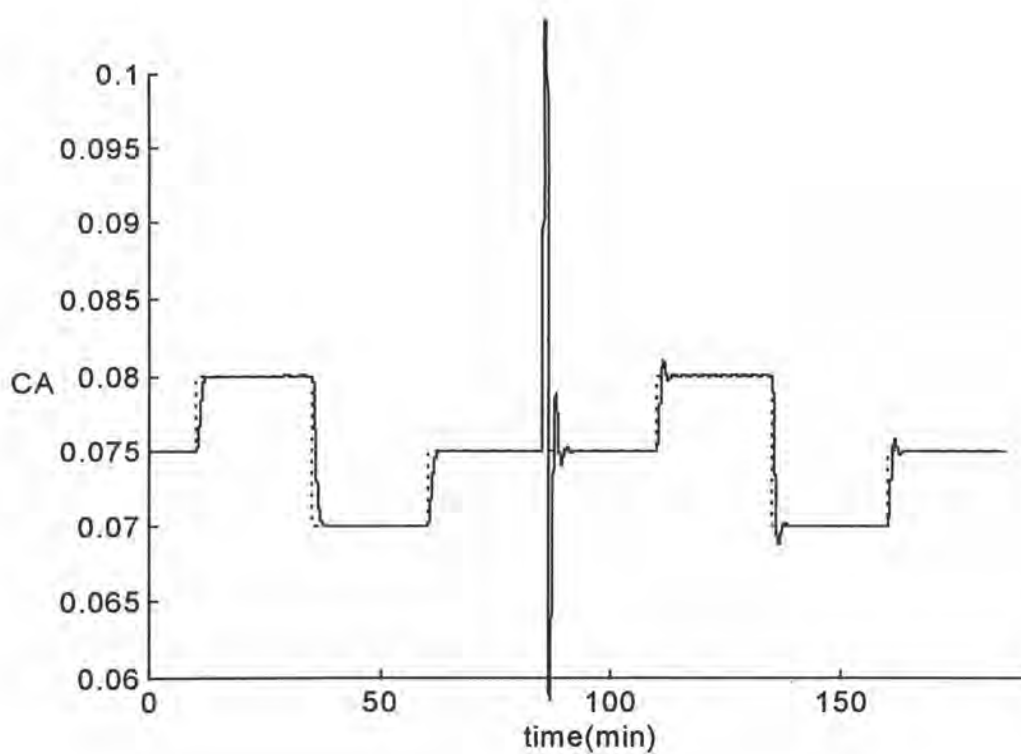


(a)

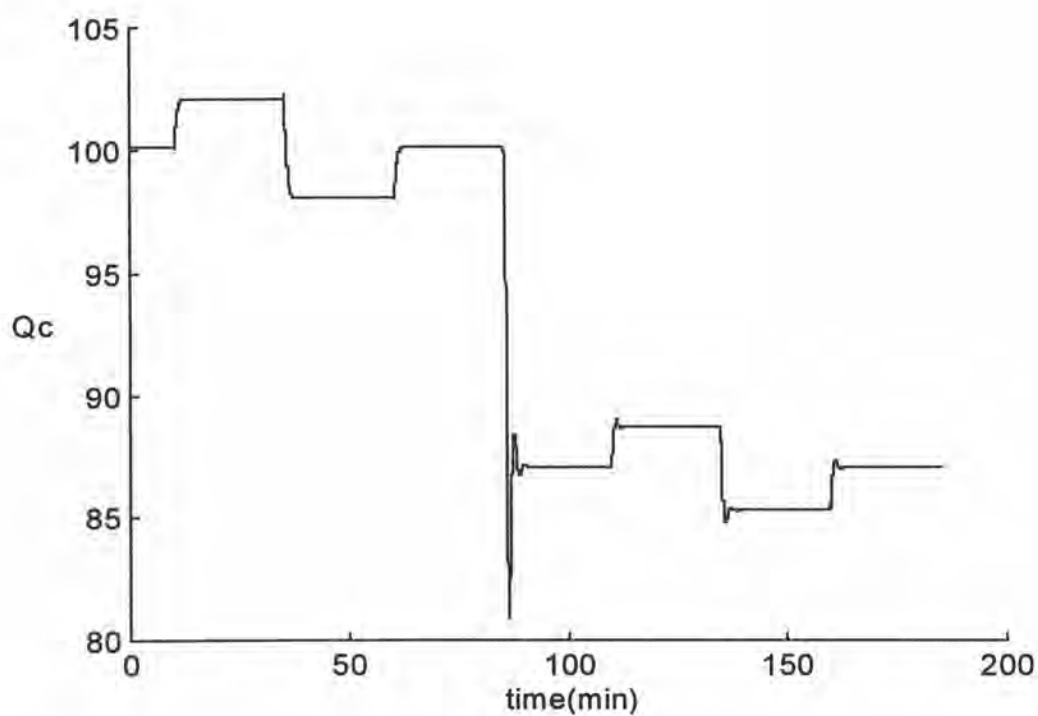


(b)

รูปที่ 6.100 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มี เดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b) ตัวแปรปรับ

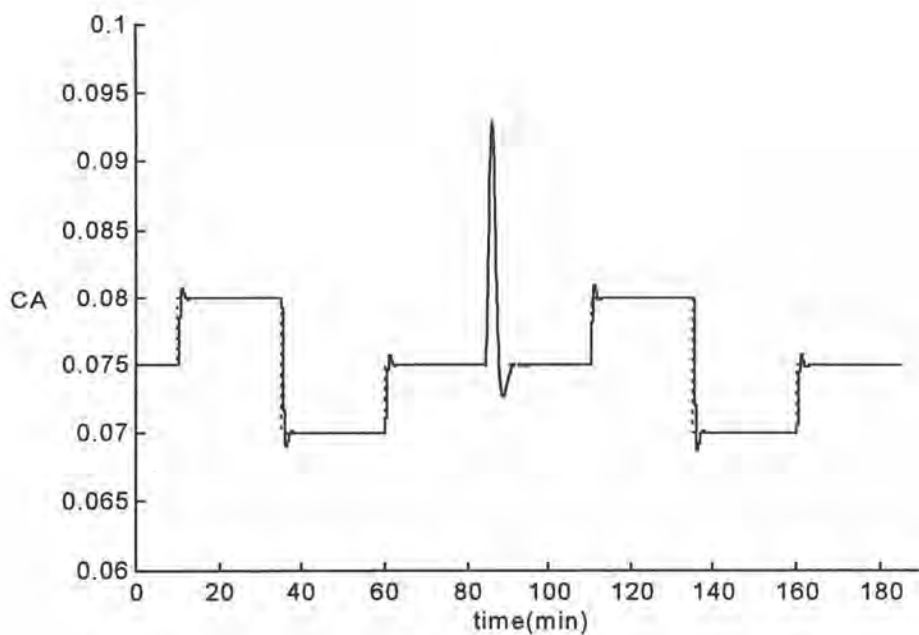


(a)

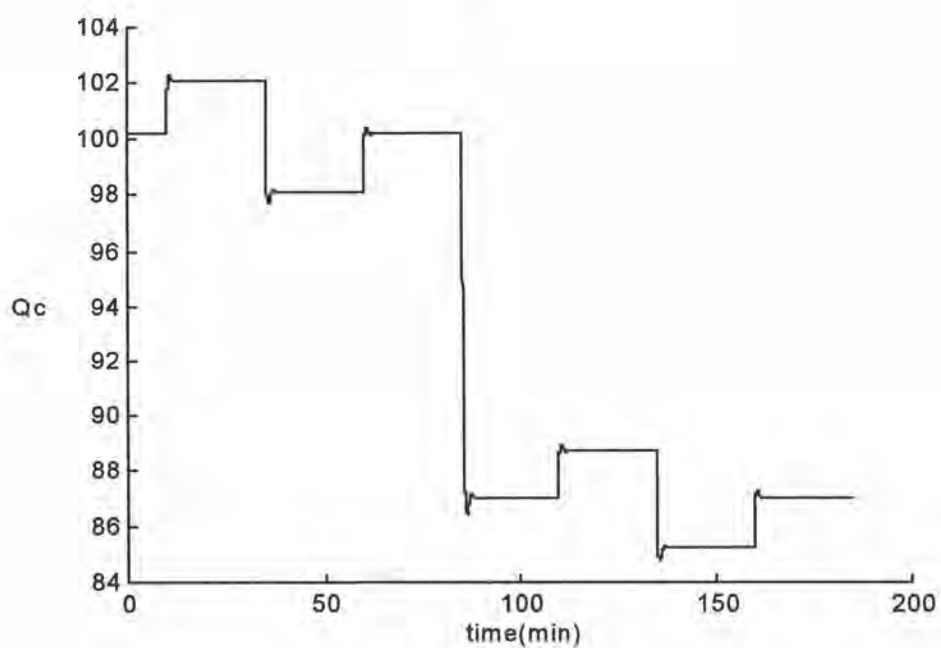


(b)

รูปที่ 6.101 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อ
 เนื้อที่มี เดคไทน์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปร
 ควบคุม (b) ตัวแปรปรับ



(a)



(b)

รูปที่ 6.102 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่มี
 เดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ (a) ตัวแปรควบคุม (b)
 ตัวแปรปรับ

3. พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง

พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงคือค่า C_p ซึ่งเป็นความจุความร้อน และ U ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยให้มีค่าเพิ่มขึ้น 15 % แสดงในสมการที่ (5.11) ในการทดลองจะให้ค่า C_p และ U เปลี่ยนแปลงที่เวลา 80 นาที ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.97-6.102 ตามลำดับ

6.4 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบโครงสร้างการควบคุมจากหน่วยงานนิเวศทั้ง 5 โครงสร้างโดยการเปรียบเทียบกับผลการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดี โดยจะทำการทดสอบกับกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

1. ถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง

ก. กรณีทดสอบโดยผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป พบว่าโครงสร้างที่ 5 ให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด (IAE) รองลงมาคือโครงสร้างที่ 4, 3, 2, ตัวควบคุมพีไอดี และ โครงสร้างที่ 1 ตามลำดับ

เมื่อดูลักษณะของผลการตอบสนองพบว่าโครงสร้างที่ 2 และ 3 จะมีการแกว่งเกิดขึ้นในช่วงก่อนเข้าสู่เซ็ทพอยท์ เมื่อเดดไทม์เพิ่มขึ้นการแกว่งจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.18, 6.19, 6.24, 6.25, 6.30, และ 6.31 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่ 1, 4, 5 , และ ตัวควบคุมพีไอดี จะมีการตอบสนองค่อนข้างราบเรียบกว่าโครงสร้างที่ 2 และ 3 และไม่เกิดการแกว่ง

ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.17, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.26, 6.27, 6.28, 6.29, 6.32, 6.33, และ 6.34

ตามลำดับ

ข. กรณีทดสอบโดยผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน พบว่าโครงสร้างที่ 4 ให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด รองลงมาคือโครงสร้างที่ 5, ตัวควบคุมที่ ไอดี, 2, 3 และ 1 ตามลำดับ

เมื่อดูลักษณะของผลการตอบสนองพบว่าโครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 จะมีการแกว่งเกิดขึ้นในช่วงก่อนเข้าสู่เซ็ทพอยท์ เมื่อมีเดดไทม์เพิ่มขึ้นการแกว่งจะมากขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.36, 6.37, 6.38, 6.42, 6.43, 6.44, 6.48, 6.49, และ 6.50 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่ 4, 5, และ ตัวควบคุมที่ ไอดีจะไม่เกิดการแกว่ง เมื่อเดดไทม์เพิ่มขึ้นพบว่าค่า IAE จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.39, 6.40, 6.41, 6.45, 6.46, 6.47, 6.51, 6.52, และ 6.53 ตามลำดับ

ค. กรณีทดสอบพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยน พบว่าโครงสร้างที่ 4 และ 5 จะเกิดโอเวอร์ชูตค่อนข้างมาก ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.57 และ 6.58 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่ 1, 2 และ 3 พบว่าเกิดโอเวอร์ชูตน้อยกว่าโครงสร้างที่ 4 และ 5 โดยเฉพาะโครงสร้างที่ 3 จะเกิดโอเวอร์ชูตน้อยที่สุด ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.56

2. เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ก. กรณีทดสอบ โดยผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็ป พบว่าโครงสร้างที่ 4 ให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด รองลงมาคือโครงสร้างที่ 5, 3, 2,

ตัวควบคุมพีไอดี และ โครงสร้างที่ 1 ตามลำดับ

เมื่อคุณลักษณะของผลการตอบสนองพบว่าโครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 จะเกิดการแกว่งในช่วงก่อนเข้าสู่เซ็ทพอยท์ เมื่อมีเดดไทม์เพิ่มขึ้นการแกว่งจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.60, 6.61, 6.62, 6.66, 6.67, 6.68, 6.72, 6.73, และ 6.74 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่ 4, 5, และ ตัวควบคุมพีไอดี จะไม่เกิดการแกว่ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.63, 6.64, 6.65, 6.69, 6.70, 6.71, 6.75, 6.76 และ 6.77 ตามลำดับ

ข. กรณีทดสอบโดยผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน พบว่าโครงสร้างที่ 4 ให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด รองลงมาคือโครงสร้างที่ 5, ตัวควบคุมพีไอดี, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

เมื่อคุณลักษณะของผลการตอบสนองพบว่าโครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 จะมีการแกว่งเกิดขึ้นในช่วงก่อนเข้าสู่เซ็ทพอยท์ เมื่อมีเดดไทม์เพิ่มขึ้นการแกว่งจะมากขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.79, 6.80, 6.81, 6.85, 6.86, 6.87, 6.91, 6.92 และ 6.93 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่ 4, และ 5 จะไม่เกิดการแกว่ง เมื่อเดดไทม์เพิ่มขึ้นพบว่าค่า IAE จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ 1, 2, และ 3 ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.82, 6.83, 6.88, 6.89, 6.94, และ 6.95 ตามลำดับ ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอดีจะมีผลต่อเดดไทม์ โดยจะเกิดการแกว่งขึ้นที่เดดไทม์ 9 วินาที ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.84, 6.90, และ 6.96 ตามลำดับ

ค. กรณีทดสอบพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยน พบว่าโครงสร้างที่ 4 และ 5 จะเกิดโอเวอร์ชูตค่อนข้างมาก ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.100 และ 6.101 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างที่

1, 2 และ 3 พบว่าเกิดโอเวอร์ชูตน้อยกว่าโครงสร้างที่ 4 และ 5 โดยเฉพาะโครงสร้างที่ 3 จะเกิดโอเวอร์ชูตน้อยที่สุด ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.99

6.5 วิจัยณ์และข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการที่เลือกใช้คือถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง และ เครื่องปฏิกรณ์ ดังกวนแบบต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งเหมาะที่จะนำมาทดสอบควบคุมจากช่างงานนิเวรัล
2. กรณีตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็ป พบว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1, 2, และ 3 จะให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) มากกว่าตัวควบคุมพีไอดี เนื่องจากโครงสร้างการควบคุมที่ 1, 2 และ 3 ไม่ได้รับการฝึกในกรณีที่มีตัวรบกวนมาก่อน เพราะในกระบวนการจริง ๆ ตัวรบกวนไม่สามารถวัดได้ ดังนั้นเมื่อมีตัวรบกวนเกิดขึ้นช่างงานจึงต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ และทำให้ควบคุมกระบวนการเข้าสู่เซ็ทพอยท์ช้า
3. ในกรณีที่พารามิเตอร์ของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง พบว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1, 2 และ 3 ให้ผลรวมความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) น้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 4, 5 และ ตัวควบคุมพีไอดี เนื่องจากในระหว่างการควบคุม โครงสร้างการควบคุมที่ 1, 2 และ 3 มีการฝึกช่างงานแบบออนไลน์ด้วย
4. การออกแบบโปรแกรมตัวควบคุมโดยใช้ช่างงานนิเวรัล จำเป็นต้องใช้ความรู้หลายด้านไม่ว่าจะเป็นการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข เพื่อนำไปใช้ในการหามุมเลทกระบวนการ วิธีการ

ออปติไมซ์ที่นำไปใช้ในอัลกอริธึมการกระจายย้อนกลับ ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการฝึกตัวควบคุม และ แบบจำลองจากข่ายงานนิวรัล และการหาโครงสร้างของตัวควบคุมแบบนิวรัล

5. แนวทางในการพัฒนาต่อไปคือ ออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ข่ายงานนิวรัล ที่สามารถใช้กับกระบวนการที่มี หลายอินพุต-หลายเอาต์พุต (MIMO) และการนำโครงสร้างการควบคุมที่ใช้ข่ายงานนิวรัลเหล่านี้ไปใช้กับกระบวนการจริง ๆ