

## บทที่ 4

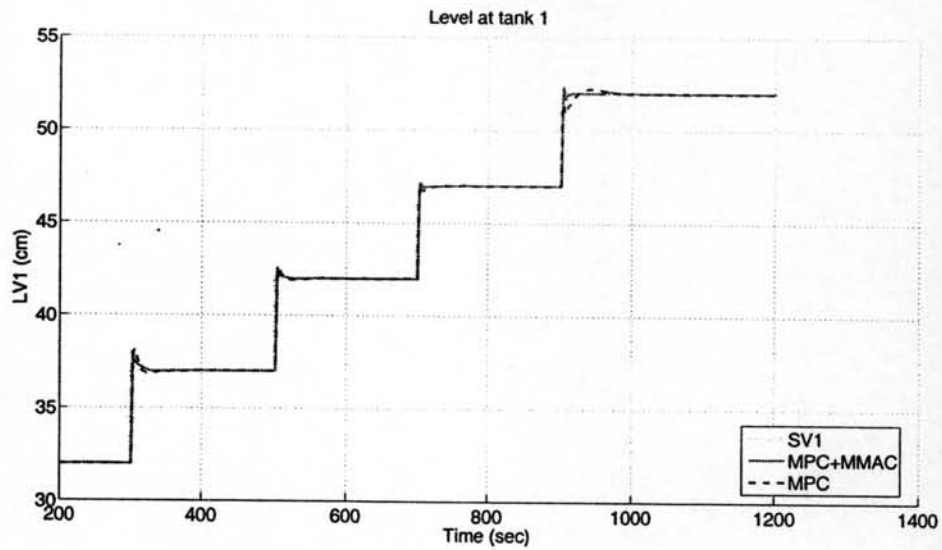
### การควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลว

สำหรับในบทนี้เราพิจารณาการทดสอบออกเป็นสองส่วนโดยในส่วนแรกเราทดสอบการควบคุมกระบวนการด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Matlab เพื่อทราบถึงแนวโน้ม และลักษณะพฤติกรรมของกระบวนการ ส่วนที่สองเป็นการสร้างตัวควบคุมขึ้น เพื่อควบคุมกระบวนการจริงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว ด้วยโปรแกรม CENTUM CS3000 R3.06 และภาษาซีโบล (Sebol) ซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานในการติดต่อทางระบบควบคุมแบบกระจายตัวของบริษัทโยโกกาว่า

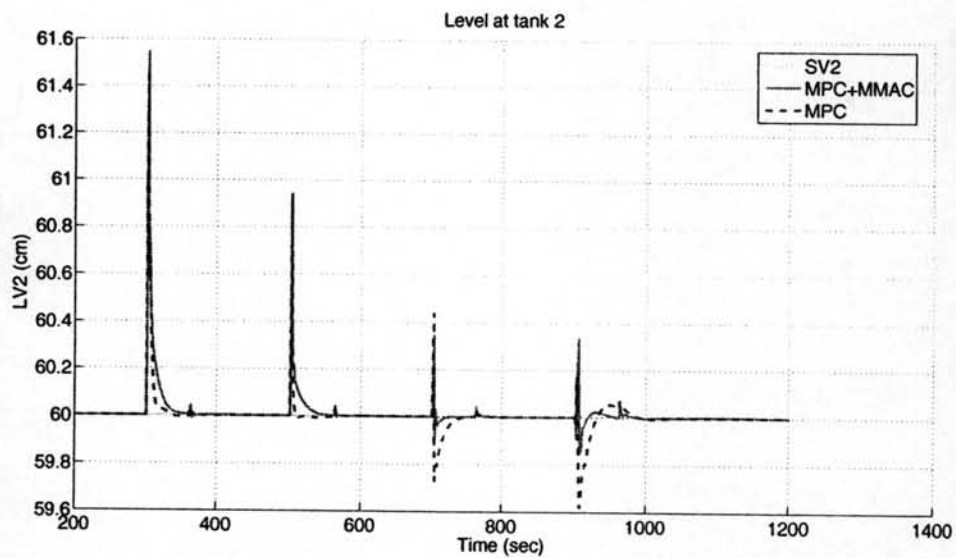
#### 4.1 การจำลองกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางคอมพิวเตอร์

ในส่วนการจำลองระบบการควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ เราได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองและการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยแต่ละเทคนิคของการควบคุมเรายังเลือกแบ่งพิจารณาเป็นสองกรณีคือ กรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และกรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง ซึ่งการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อ้างอิงจากตาราง 3.1 และ 3.2 ในบทที่ 3 ซึ่งแสดงได้ดังรูป 4.1-4.8 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองถูกลดลง เมื่อจุดทำงานห่างจากจุดที่แบบจำลองถูกคำนวณมา โดยสังเกตได้จากค่าช่วงเวลาเข้าถึง (settling time) และคู่ผลตอบรับร่วม (interaction) ที่เกิดขึ้น (ในที่นี้ค่าคู่ผลตอบรับร่วมเราพิจารณาจากจุดที่เกิดการแกว่งจากระดับเดิมที่สูงที่สุด) ส่วนในกรณีที่ควบคุมกระบวนการด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมได้สูงขึ้น ในด้านของผลตอบสนองที่สามารถติดตามจุดทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และค่าพุงเกินที่น้อยลง ดังตาราง

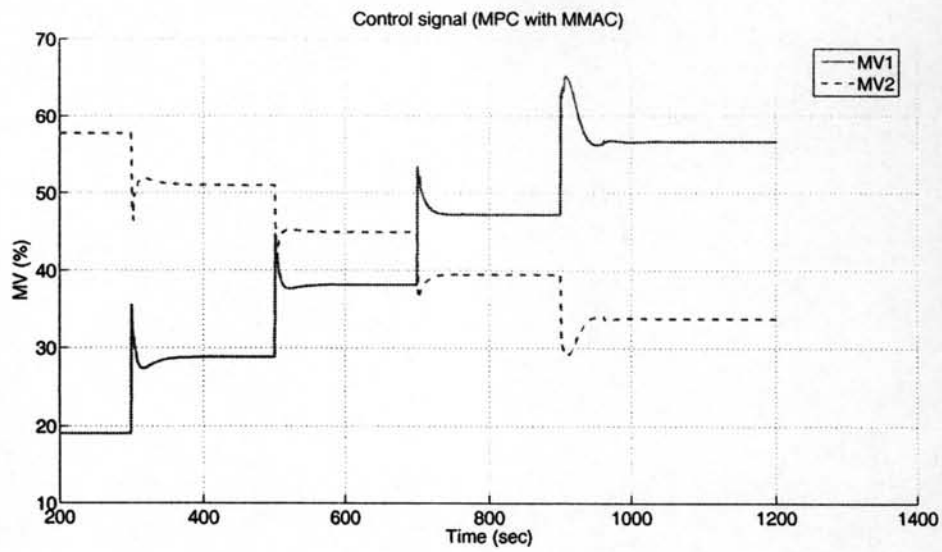
4.1



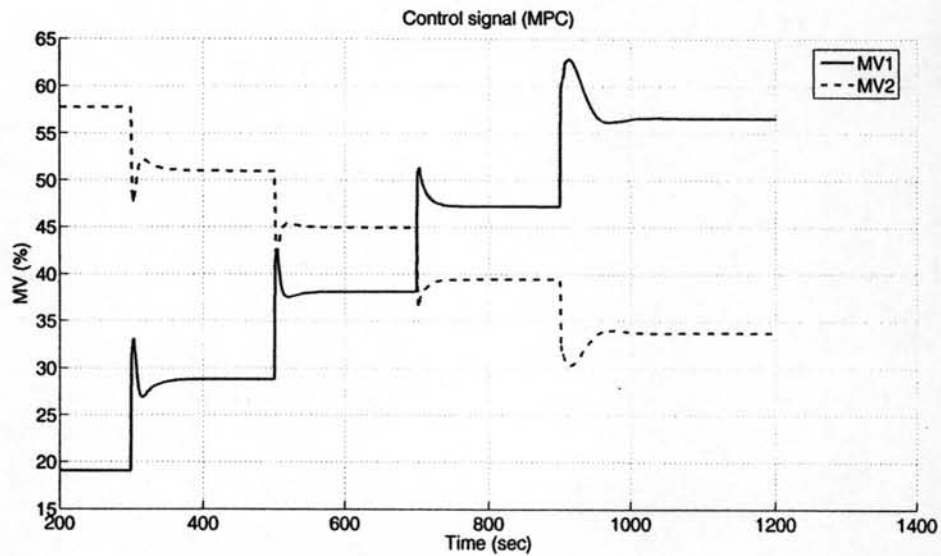
รูปที่ 4.1: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลวในถังที่หนึ่ง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



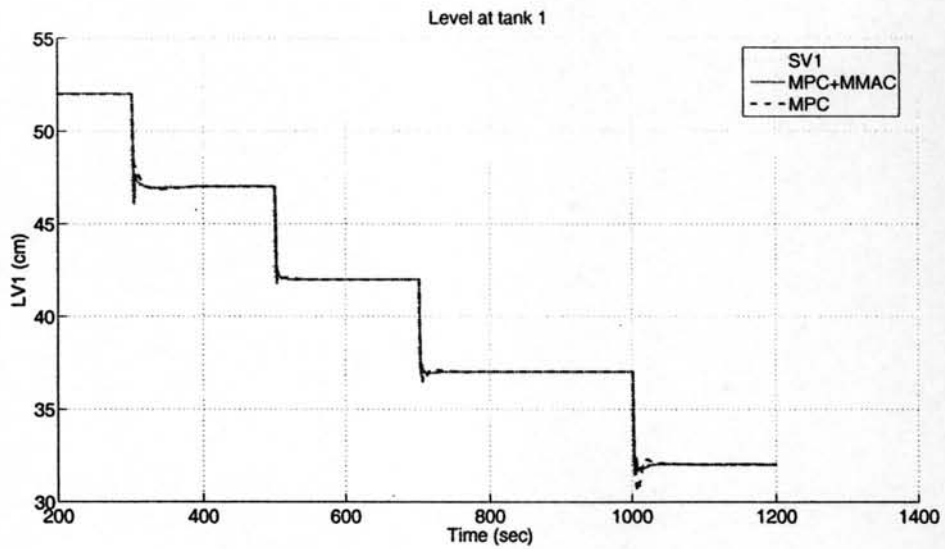
รูปที่ 4.2: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



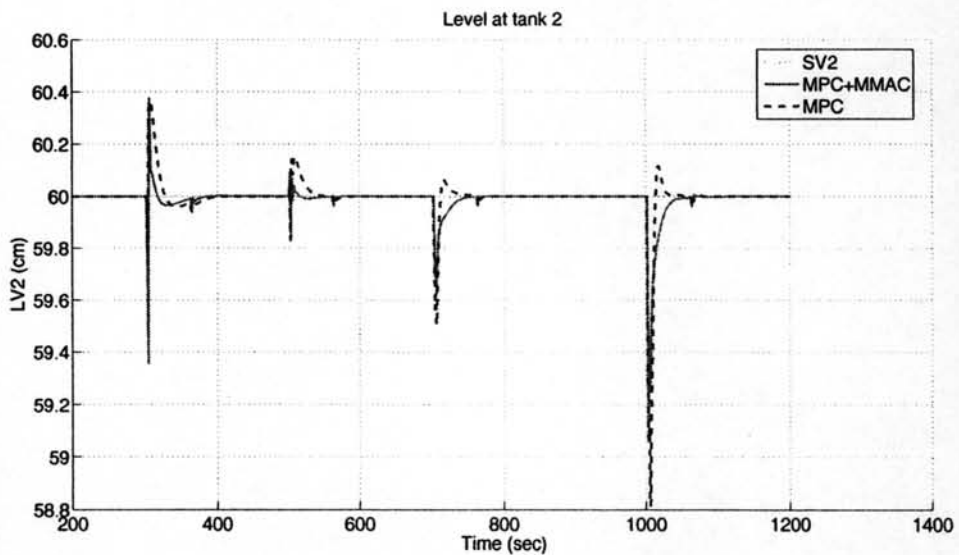
รูปที่ 4.3: สัญญาณควบคุมจากระบบการควบคุมระดับของเหลวกรณีการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง พร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



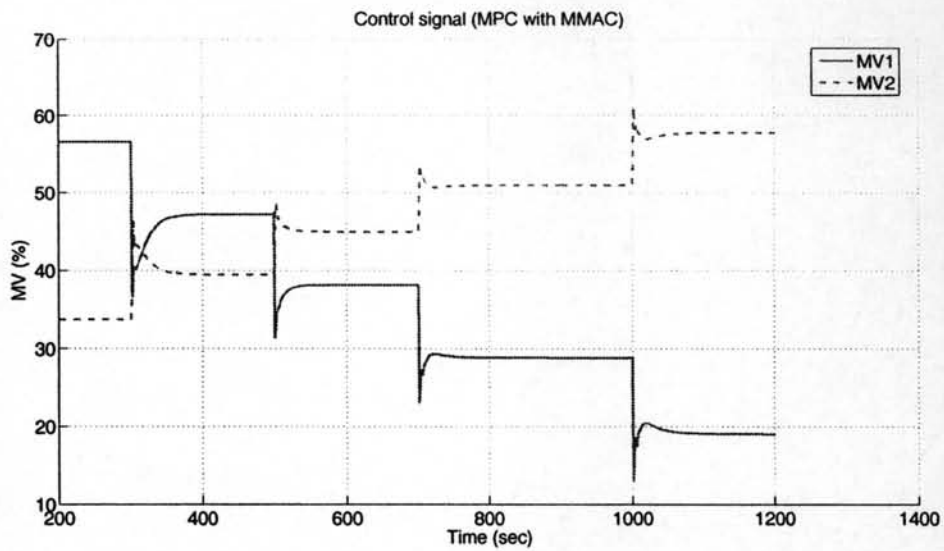
รูปที่ 4.4: สัญญาณควบคุมจากระบบการควบคุมระดับของเหลวกรณีการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



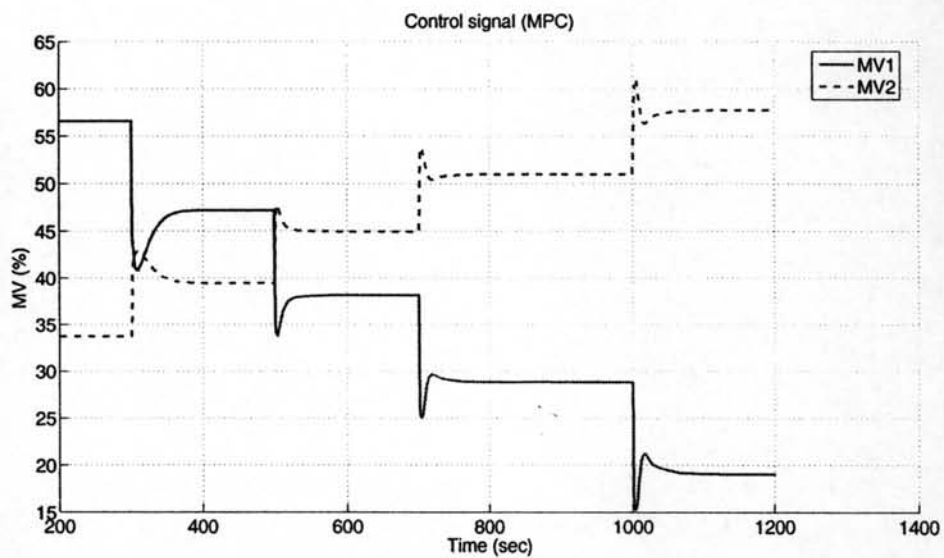
รูปที่ 4.5: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลวในถังที่หนึ่ง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.6: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.7: สัญญาณควบคุมจากระบบการควบคุมระดับของเหลวกรณีการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง พร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.8: สัญญาณควบคุมจากระบบการควบคุมระดับของเหลวกรณีการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง

ตารางที่ 4.1: ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมสำหรับการจำลองระบบควบคุมบนคอมพิวเตอร์

จุดทำงาน			32 ไป 37	37 ไป 42	42 ไป 47	47 ไป 52
กรณีที่หนึ่ง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	50.88	43.23	26.47	81.17
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	23.02	10.31	4.12	5.84
		คูณผลตอบรวม[ชม.]	1.45	0.95	0.45	0.4
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	30	19.71	8.82	15.29
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	19.93	11.34	3.44	6.18
		คูณผลตอบรวม[ชม.]	1.55	0.95	0.35	0.3
จุดทำงาน			52 ไป 47	47 ไป 42	42 ไป 37	37 ไป 32
กรณีที่สอง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	68.49	42.71	60.88	56.74
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	16.9	3.79	2.76	11.38
		คูณผลตอบรวม[ชม.]	0.35	0.15	0.5	1.175
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	39.74	22.41	32.13	34.25
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	3.45	0	7.93	27.59
		คูณผลตอบรวม[ชม.]	0.55	0.15	0.35	0.95

## 4.2 การควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว

สำหรับผลการทดสอบการควบคุมกระบวนการจริงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัวเราได้สร้างตัวควบคุมเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง และการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองเช่นเดียวกัน ซึ่งในการทดลองเราแบ่งเป็นสองตอน ตอนที่หนึ่งเป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่ง และตอนที่สองเป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สอง โดยแต่ละตอนของการทดลองเรายังแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองกรณีคือ กรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และกรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง แต่ที่ขั้นตอนนี้ได้ปัญหาเกิดขึ้นโดยค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากกลยุทธ์การปรับตั้งในบทที่ 3.3 ไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากพื้นที่หน่วยความจำที่มีจำกัดของระบบควบคุมแบบกระจายตัว โดยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดใหม่แสดงดังตาราง 4.2 รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จากภาคผนวก ข

สำหรับการทดลองในตอนหนึ่ง ขั้นแรกเราอาศัยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองโดยรักษาระดับของเหลวไว้ที่จุดเริ่มต้นคือ 35 ซม. ในถังที่หนึ่ง และ 60 ซม. ในถังที่สอง เมื่อระดับของเหลวในถังทั้งสองคงที่จึงเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอ้างอิงในถังที่หนึ่งเป็นสองกรณีดังจุดทำงานในตารางที่ 4.3 จากนั้นจึงทดสอบกรณีการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยส่วนของผลการทดสอบในตอนหนึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 - 4.16

สำหรับการทดลองในตอนที่สองกระทำเช่นเดียวกับตอนที่หนึ่งโดยขั้นแรกเราอาศัยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองโดยรักษาระดับของเหลวไว้ที่จุดเริ่มต้นคือ 40 ซม. ในถังที่หนึ่งและ 50 ซม. ในถังที่สอง เมื่อระดับของเหลวในถังทั้งสองคงที่จึงเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอ้างอิงในถังที่สองเป็นสองกรณีดังจุดทำงานในตารางที่ 4.4 จากนั้นจึงทดสอบกรณีการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยส่วนของผลการทดสอบในตอนหนึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 - 4.24

ผลลัพธ์ที่ได้นั้นสอดคล้องกับผลจากการจำลองระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์และแสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงานทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองถูกลดลง เมื่อจุดทำงานห่างจากจุดที่แบบจำลองถูกคำนวณมา ส่วนในกรณีที่ควบคุมกระบวนการด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมได้สูงขึ้น โดยสังเกตได้จากค่าช่วงเวลาเข้าถึง เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน และคู่ผลตอบรับที่เกิดขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการจำลองระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์ ดังตาราง 4.3 และ 4.4 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองใช้ช่วงเวลาเข้าถึง, เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน และรวมทั้งในส่วนของคุณสมบัติที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง ซึ่งบ่งบอกถึงการติดตามจุดอ้างอิงได้ดีกว่านั่นเอง

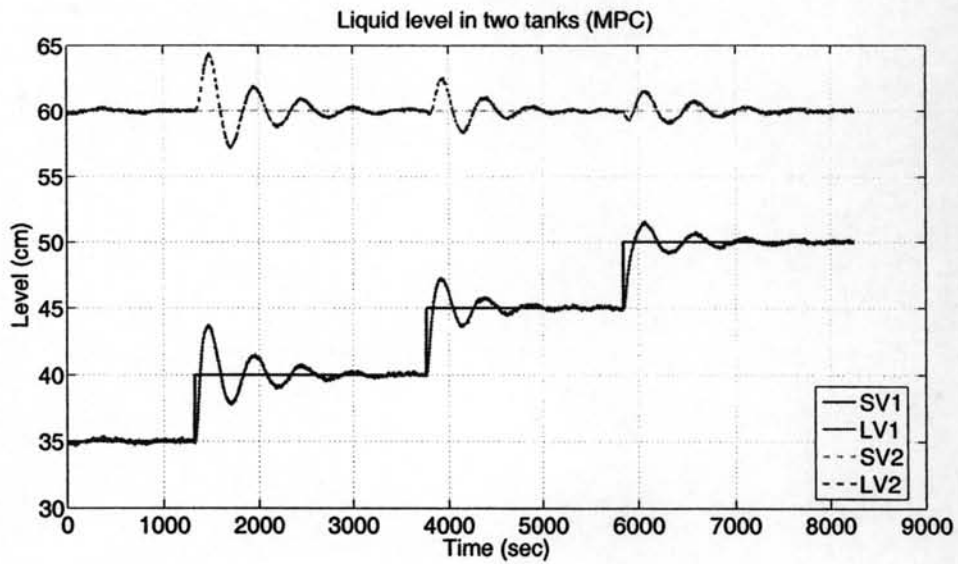
ตารางที่ 4.2: ค่าพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมการควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว

จุดทำงานที่พิจารณา	พารามิเตอร์			
	ระดับต่ำ	$\lambda_{11}^2 = 0.8867$		$\lambda_{21}^2 = 2.088$
ระดับกลาง	$\lambda_{12}^2 = 0.5076$		$\lambda_{22}^2 = 1.2063$	
ระดับสูง	$\lambda_{13}^2 = 0.2205$		$\lambda_{23}^2 = 1.652$	
พิจารณารวมทุกจุดทำงาน	$T = 19$	$P = 60$	$N = 40$	$M = 15$
	$\gamma_{11} = \gamma_{12} = \gamma_{21} = \gamma_{22} = 1$			

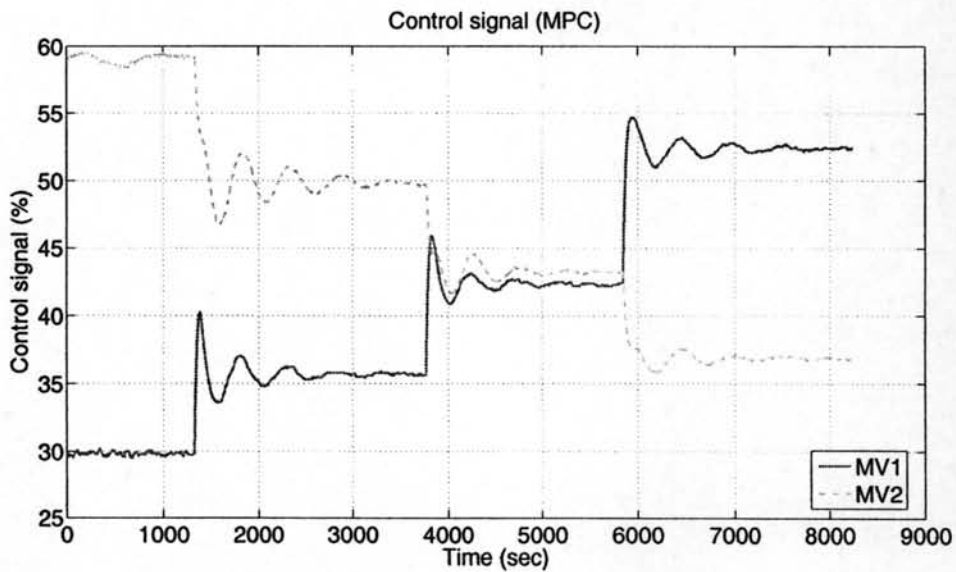
### 4.3 สรุป

สำหรับการทดสอบการควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลวในวิทยานิพนธ์นี้ เราศึกษาเทคนิคการควบคุมสองเทคนิคด้วยกันได้แก่ การควบคุมด้วยการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองและการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยแต่ละเทคนิคยังแบ่งการทดสอบออกเป็นอีกสองกรณีคือกรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และกรณีที่จุดทำงานเปลี่ยนแปลงลดลง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผ่านทางคอมพิวเตอร์และการควบคุมผ่านทางกระบวนการจริงให้ผลลัพธ์ในทางเดียวกันคือการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองสามารถติดตามระดับจุดทำงานได้ดีในช่วงใกล้จุดทำงานที่ใช้ในการคำนวณหาแบบจำลอง แต่เมื่อจุดทำงานเปลี่ยนแปลงไกลจากจุดทำงานที่ใช้ในการคำนวณหาแบบจำลองมากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมลดลง เนื่องจากความไม่เชิงเส้นของระบบ ส่วนการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองสามารถติดตามจุดทำงานได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากการทำนายจากแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากกว่าทำให้ลดผลความไม่เชิงเส้นของกระบวนการลงไปได้

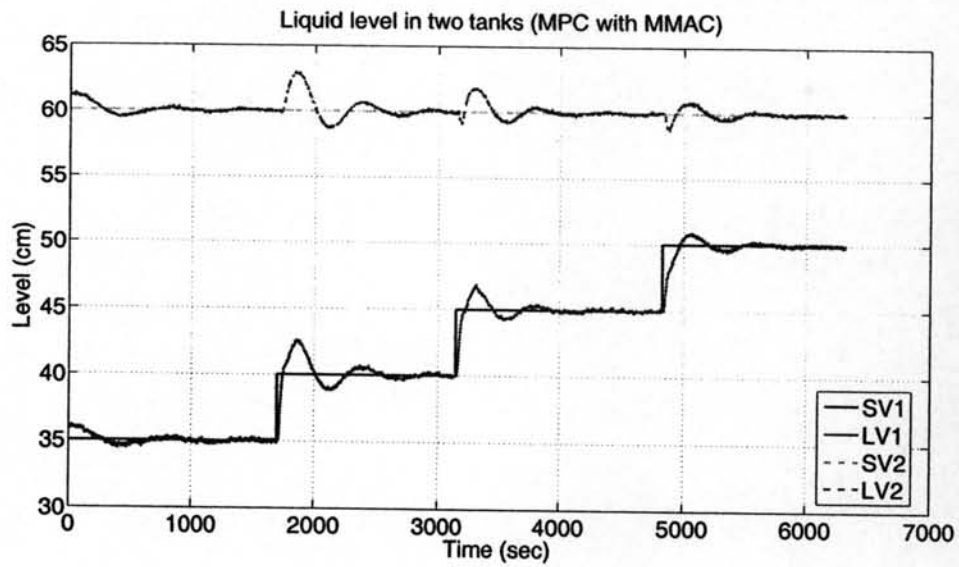




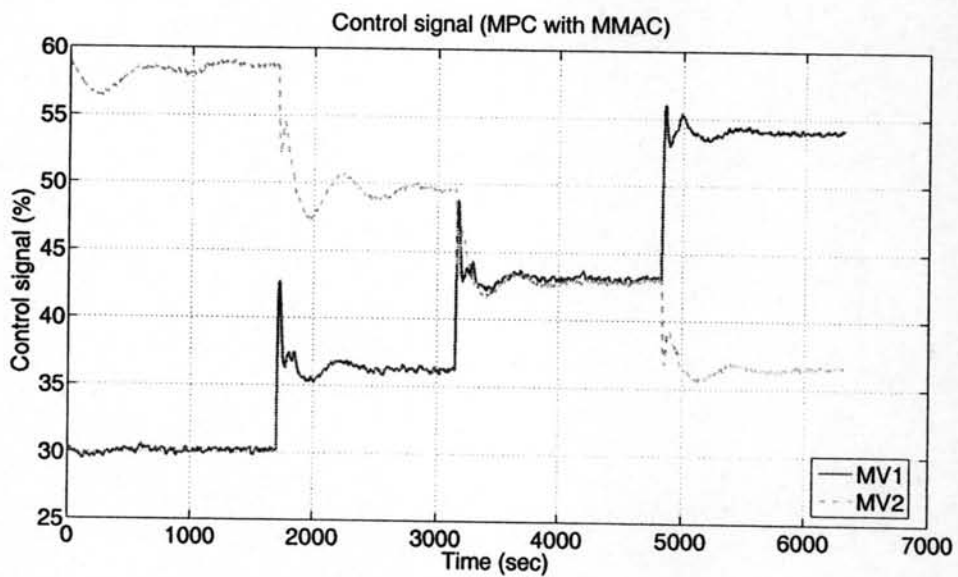
รูปที่ 4.9: ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



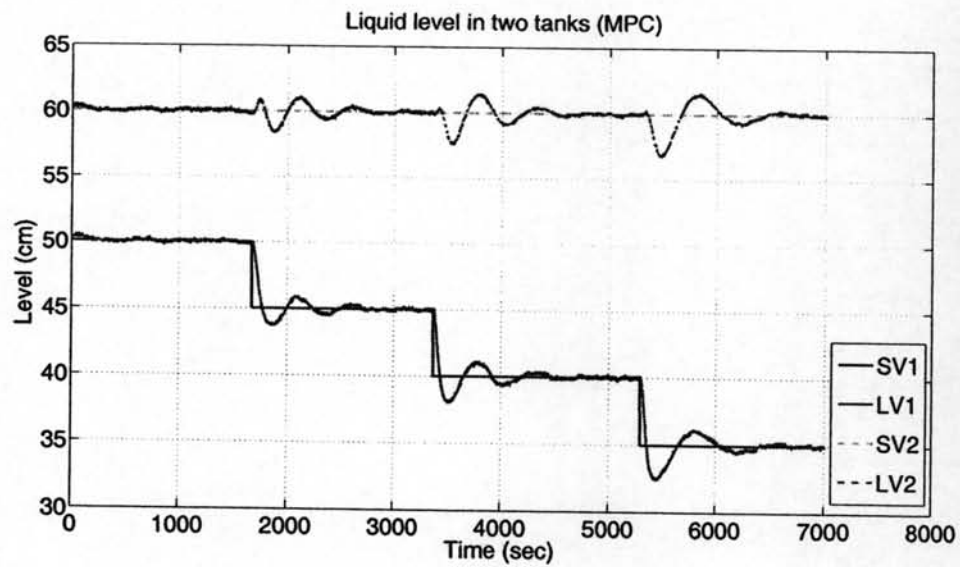
รูปที่ 4.10: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



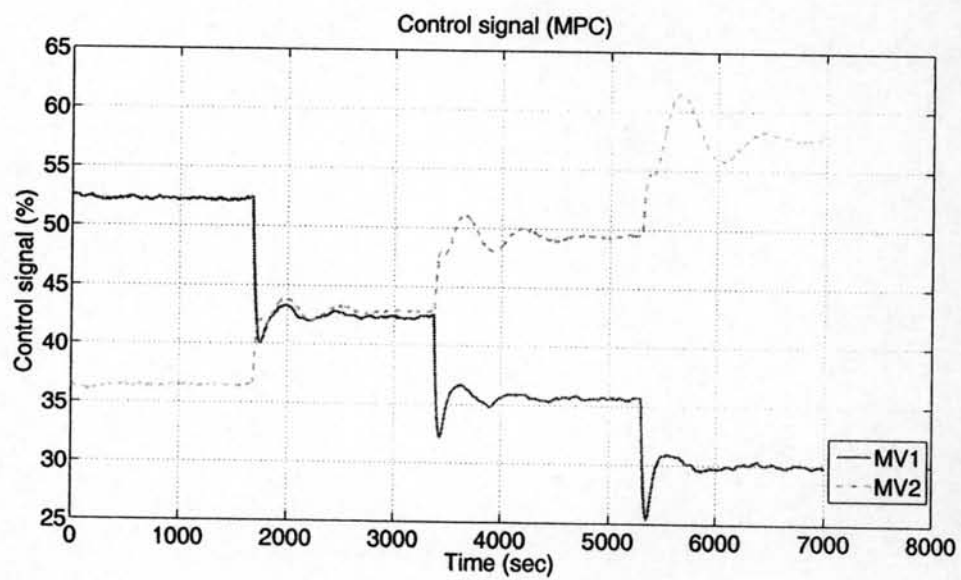
รูปที่ 4.11: ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



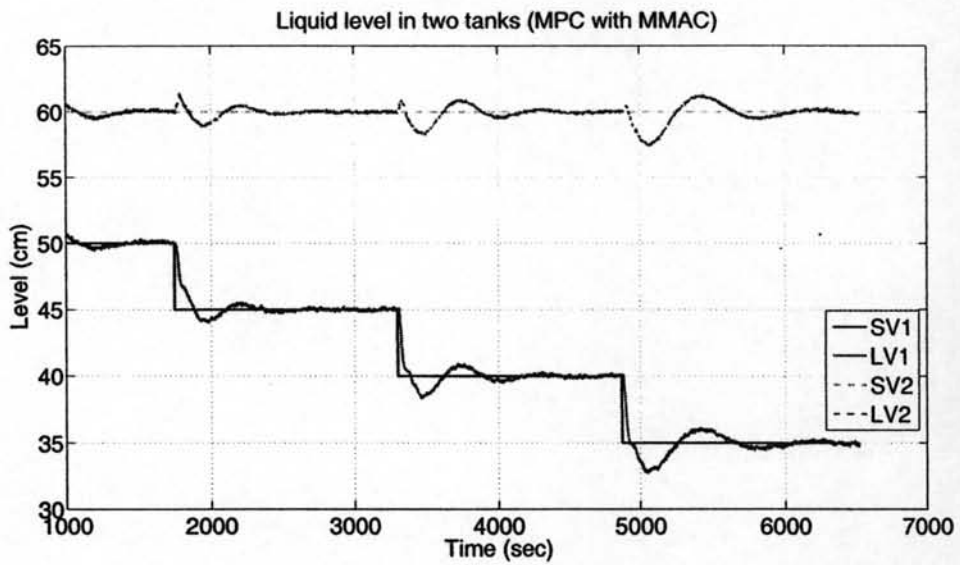
รูปที่ 4.12: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



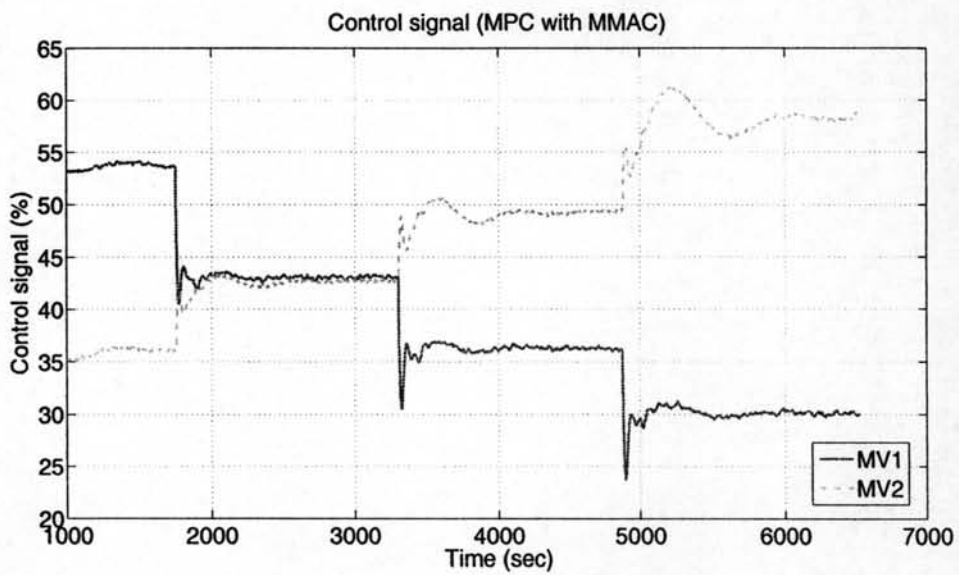
รูปที่ 4.13: ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



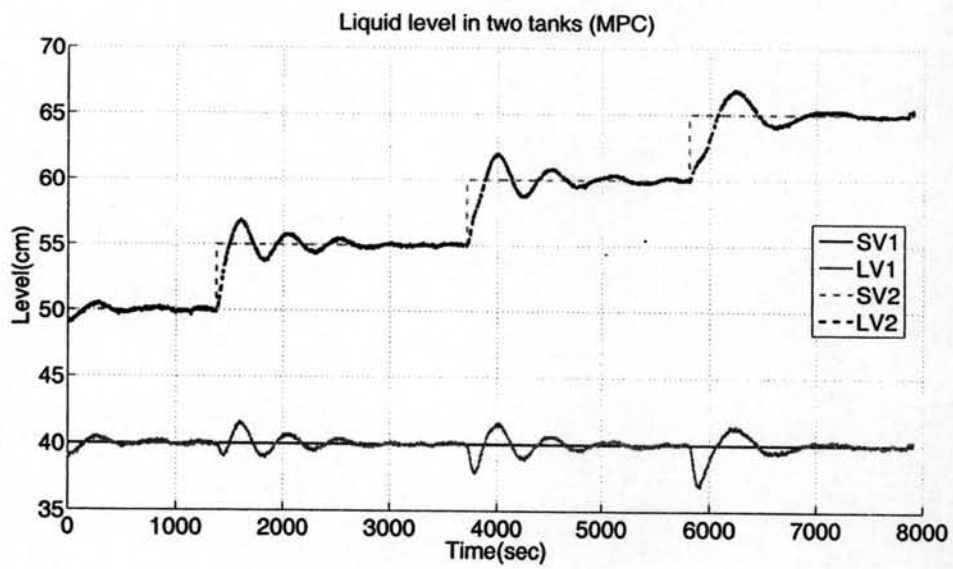
รูปที่ 4.14: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



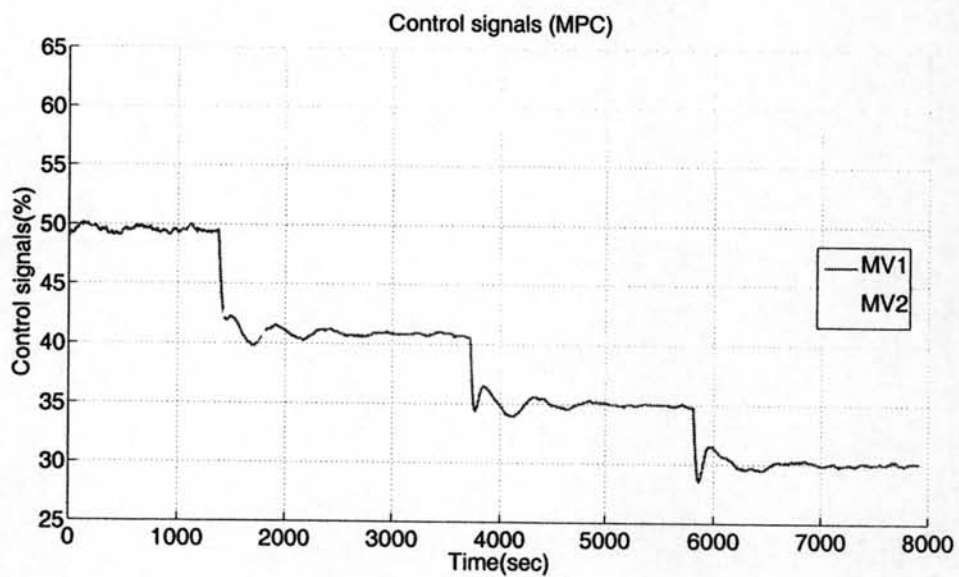
รูปที่ 4.15: ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



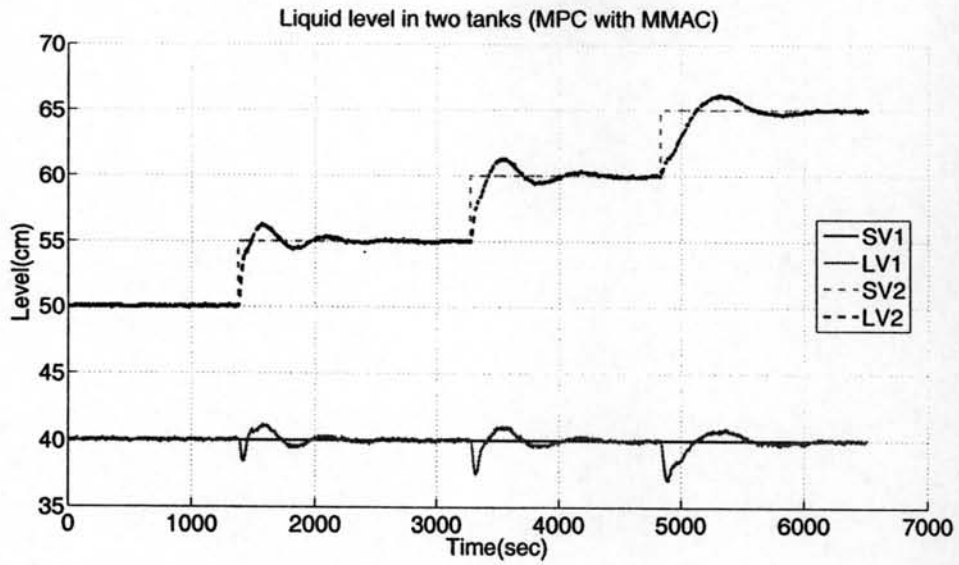
รูปที่ 4.16: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงลดลง



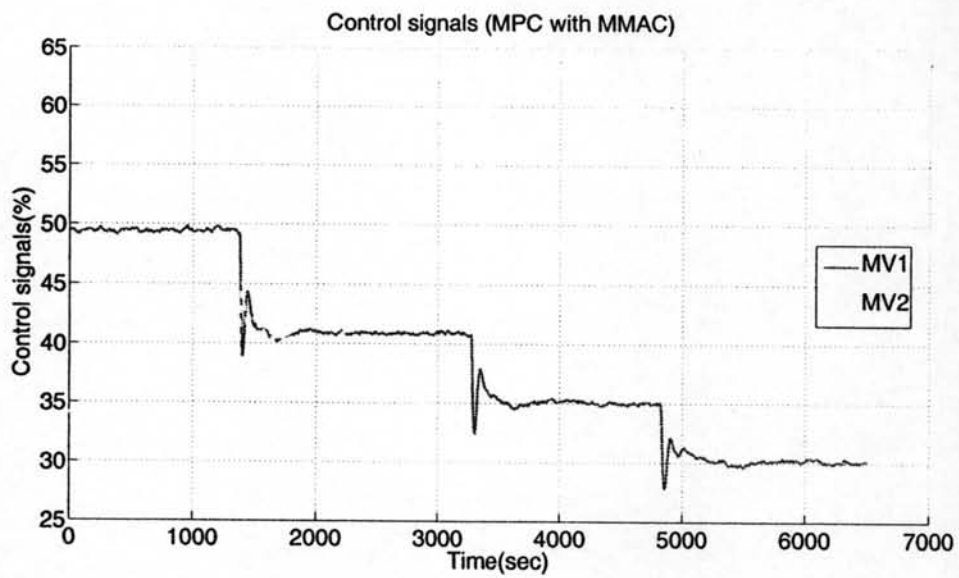
รูปที่ 4.17: ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



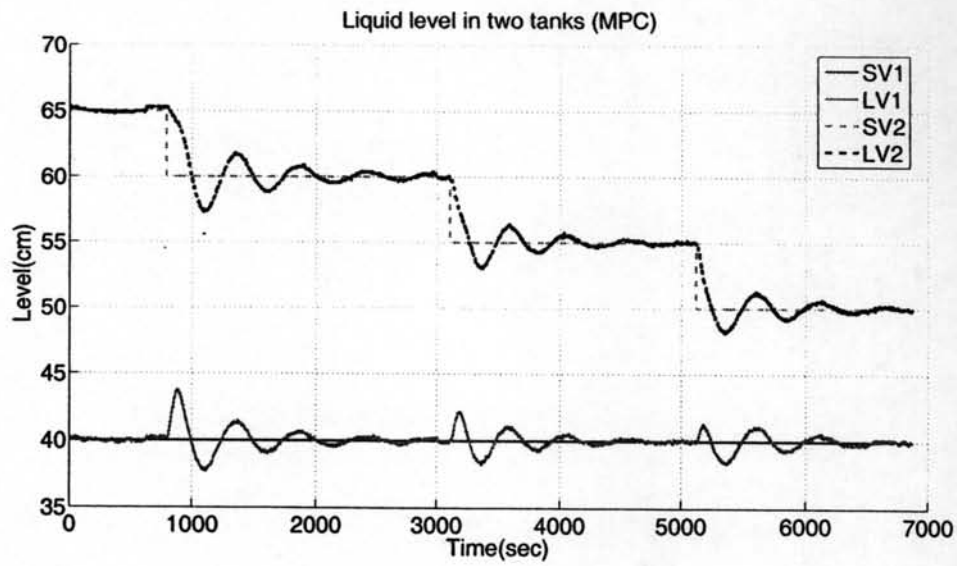
รูปที่ 4.18: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



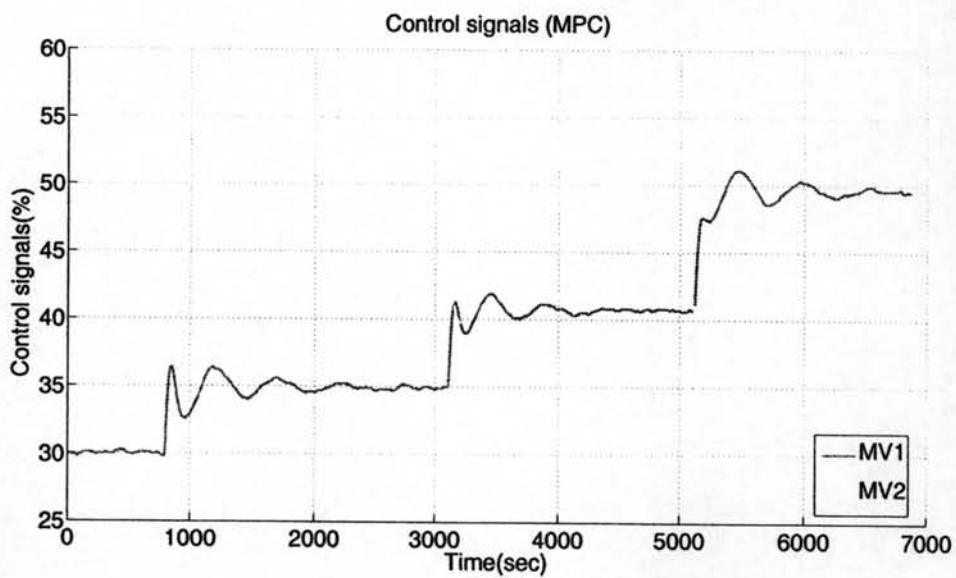
รูปที่ 4.19: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



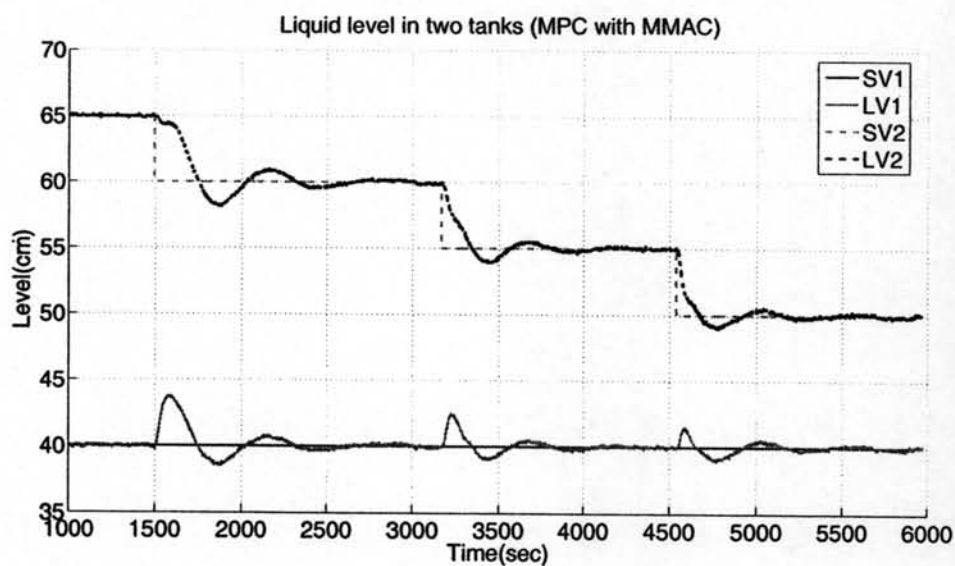
รูปที่ 4.20: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



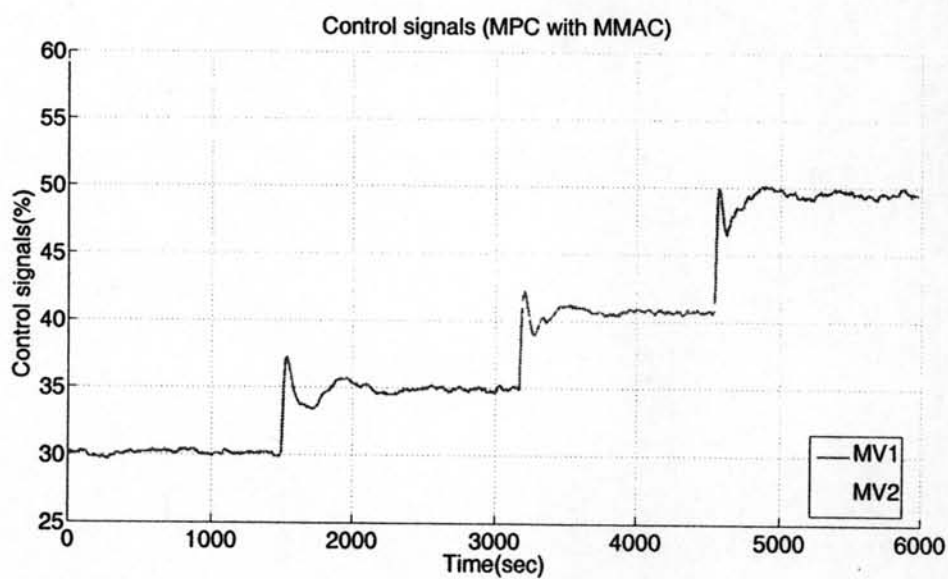
รูปที่ 4.21: ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.22: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.23: ผลตอบสนองการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง



รูปที่ 4.24: สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง



ตารางที่ 4.3: ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมเมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว

		จุดทำงาน	35 ไป 40	40 ไป 45	45 ไป 50
กรณีที่หนึ่ง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	1080	959	1440
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	77.78	46.47	33.33
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	4.37	2.39	1.35
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	651	774	856
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	46	33	16
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	2.7	1.56	0.7292
		จุดทำงาน	50 ไป 45	45 ไป 40	40 ไป 35
กรณีที่สอง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	893	917	1208
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	27	40	52
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	1.63	2.55	3.26
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	626	721	1291
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	17	32	43
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	1.32	1.63	2.55

ตารางที่ 4.4: ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมเมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว

		จุดทำงาน	50 ไป 55	55 ไป 60	60 ไป 65
กรณีที่หนึ่ง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	1578	1605	1091
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	35.83	37.5	35.83
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	1.78	2.53	3.14
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	619	753	761
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	25	24.17	21.67
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	1.66	2.28	3.04
		จุดทำงาน	65 ไป 60	60 ไป 55	55 ไป 50
กรณีที่สอง	MPC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	1857	1349	1182
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	55	37.5	34.17
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	3.61	3.17	1.77
	MPC with MMAC	ช่วงเวลาเข้าที่[วินาที]	1090	632	649
		เปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกิน[%]	34.17	20.83	17.5
		คุณสมบัติรวม[ชม.]	3.47	2.26	1.27