บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

ดังขั้นตอนการทดลองและผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ ให้ผลการทดลองหรือสมรรถนะที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้ได้การสรุปผลการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ และเสนอกรณีศึกษาของการเลือกใช้ตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจากผลสรุปการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ได้ นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยในการนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีและเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวควบคุมชนิดอื่นต่อไป

6.2 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากพบว่าเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 มีความสำคัญต่างกัน โดยความง่ายในการปรับจูนและความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว มีความสำคัญน้อยกว่าความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด,

เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออก, การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดและความทนทานต่อสัญญาณรบกวน เนื่องจากในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวไม่ใช่ปัจจัยสำคัญเพียงแต่ไม่ให้ควบคุมไม่ให้เกิดการไหลล้นจากถังพัก ทำนองเดียวกันความง่ายในการปรับจูนตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถปรับจูนตัวควบคุมแต่ละชนิดได้ไม่ยากเมื่อเกิดความชำนาญในการใช้งานแล้ว

ดังนั้นในการสรุปผลการวิจัยได้จัดความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยให้ตัวควบคุมในกลุ่มที่ 1 มีความสำคัญมากกว่าตัวควบคุมในกลุ่มที่ 2 ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด, เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออก, การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด และความทนทานต่อสัญญาณรบกวน

กลุ่มที่ 2 คือ ความง่ายในการปรับจูน และความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว

โดยได้ให้ความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมกลุ่มที่ 1 มีความสำคัญมากกว่าเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมกลุ่มที่ 2 ในอัตราส่วน 2:1 จากการกำหนดดังกล่าวได้คำนวนค่าสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 10 ชนิดและสรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ได้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลสรุปการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

ชนิดตัวควบคุม	เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุม												
	เกณฑ์กลุ่มที่ 1								เกณฑ์กลุ่มที่ 2				ค่าสมรรถนะของตัวควบคุม
	ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด	โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออก	การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรโหลด			ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน			ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว			ความง่ายในการปรับจูน	
			ผลกระทบต่อค่า MPH	ผลกระทบต่อค่า MRCO	การตอบสนองโดยรวม	ผลกระทบต่อค่า MPH	ผลกระทบต่อค่า MRCO	ความทนทานโดยรวม	ค่าอ็อพเซ็ท	เวลาที่ใช้	ความสามารถโดยรวม		
P controller	3.00	10.00	5.88	5.05	5.33	5.00	5.34	4.72	0.00	9.85	3.28	5.00	5.44
PI controller	7.00	4.66	5.88	5.05	5.33	5.00	4.73	4.82	10.00	6.87	8.96	5.00	5.76
PL controller	6.00	6.87	5.88	5.05	5.33	5.00	6.52	5.02	10.00	3.42	7.81	5.00	5.92
WR controller	9.00	2.40	9.88	0.05	3.63	2.50	0.56	3.10	10.00	6.56	8.85	2.50	4.76
PIP controller	8.00	3.64	7.14	4.37	5.29	7.50	6.82	6.40	6.10	8.97	7.06	7.50	6.12
DRIP controller	8.00	3.81	6.25	5.39	5.68	7.50	5.03	4.97	10.00	4.12	8.04	7.50	6.05
LOC-P controller	9.00	10.00	0.01	9.93	6.62	10.00	9.93	6.93	0.00	9.90	3.30	10.00	7.84
LOC-PI controller	9.00	7.81	0.82	9.79	6.80	10.00	8.75	6.71	10.00	3.87	7.96	10.00	7.86
LOC-NL/P controller	9.00	10.00	2.03	9.32	6.89	7.50	3.01	4.00	0.00	10.00	3.33	7.50	7.06
LOC-NL/PI controller	9.00	2.98	1.77	9.42	6.87	7.50	7.16	8.09	10.00	5.62	8.54	7.50	6.99

เมื่อ P controller คือ ตัวควบคุมแบบพี

PI controller คือ ตัวควบคุมแบบพีไอ

PL controller คือ ตัวควบคุมแบบพีแอล

WR controller คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

PIP controller คือ ตัวควบคุมแบบพีไอพี

DRIP controller คือ ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี

LOC-P controller คือ ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

LOC-PI controller คือ ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

LOC-NL/P controller คือ ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

LOC-NL/PI controller คือ ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ได้ลำดับสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 10 ชนิด จากค่าสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 โดยได้แสดงผลการลำดับสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 10 ชนิด ในตารางที่ 6.2

นอกจากนั้นได้จัดกลุ่มตัวควบคุมที่มีค่าสมรรถนะใกล้เคียงกันออกเป็น 5 กลุ่ม โดยใช้ค่าสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 เช่นกัน ดังได้แสดงผลการจัดลำดับกลุ่มตัวควบคุมที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกันไว้ในตารางที่ 6.3 จากผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกทั้ง 4 ชนิด ให้สมรรถนะในการควบคุมดีที่สุด โดยตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุม

แบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมีสมรรถนะในการควบคุมดีกว่าตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก รองลงมา คือ ตัวควบคุมแบบแบ่งช่วงการควบคุม ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอพีและตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี ส่วนตัวควบคุมระดับแบบทั่วไป คือ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ รวมทั้งตัวควบคุมแบบพีแอล มีสมรรถนะในการควบคุมระดับปานกลาง และตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำที่สุด

ในกรณีที่แบ่งการพิจารณาตัวควบคุมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มตัวควบคุมที่จำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและกลุ่มตัวควบคุมที่ไม่ได้จำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก สามารถสรุปได้ว่าตัวควบคุมที่ไม่ได้จำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกที่ให้สมรรถนะในการควบคุมดีที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบแบ่งช่วงการควบคุม ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอพี และตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี รองลงมา คือ ตัวควบคุมแบบทั่วไป ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ และตัวควบคุมแบบพีแอล ส่วนตัวควบคุมที่ให้สมรรถนะในการควบคุมแย่ที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง โดยการนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้สามารถเพิ่มสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยได้เป็นอย่างมาก

ตารางที่ 6.2 สรุปผลการลำดับสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ

ลำดับที่	ชนิดตัวควบคุม
1	ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
2	ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
3	ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
4	ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
5	ตัวควบคุมแบบพีไอพี
6	ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี
7	ตัวควบคุมแบบพีแอล
8	ตัวควบคุมแบบพีไอ
9	ตัวควบคุมแบบพี
10	ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการลำดับกลุ่มสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ จากค่าสมรรถนะที่ใกล้เคียงกัน

ลำดับที่	กลุ่มตัวควบคุม
1	ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
2	ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก
3	ตัวควบคุมแบบพีไอพี ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี
4	ตัวควบคุมแบบพีแอล ตัวควบคุมแบบพีไอ ตัวควบคุมแบบพี
5	ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

6.3 กรณีศึกษา : การทดสอบการเลือกใช้ตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

จากผลสรุปที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ได้ทำการกำหนดกรณีศึกษาขึ้น 3 กรณี เพื่อแสดงการออกแบบขนาดถังพักและทดสอบการแสดงผลเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเมื่อเลือกใช้ตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยในลำดับที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ได้แก่

ลำดับที่ 1 คือ ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ลำดับที่ 2 คือ ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ลำดับที่ 3 คือ ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ลำดับที่ 4 คือ ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ลำดับที่ 5 คือ ตัวควบคุมแบบพีไอพี

โดยกรณีศึกษาที่กำหนดขึ้นมีดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 1.50 $(m^3/min)/min$

กรณีที่ 2 กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 2.00 $(m^3/min)/min$

กรณีที่ 3 กำหนดให้ค่า MPH = 35% และค่า MRCO = 1.00 $(m^3/min)/min$

และกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของระบบการควบคุมที่ใช้เป็นดังรูป 6.1

- ค่าระดับของเหลวสูงสุดในถังพัก = 100% full scale
- ค่าระดับของเหลวต่ำสุดในถังพัก = 0 เมตร
- อัตราการไหลขาออกสูงสุด $Q_{o,max}$ = 4 ลูกบาศก์เมตร /นาที
- ค่าเริ่มต้นของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว = 50% full scale
- ค่าเซ็ทพอยน์ของระดับของเหลวที่ต้องการ = 50% full scale
- ค่าเริ่มต้น ของอัตราการไหลที่สภาวะคงตัว = 1 ลูกบาศก์เมตร /นาที
- ให้ระบบถูกรบกวนจากสภาวะคงตัวโดยเกิดการรบกวนโหลด (Load disturbance) เท่ากับ 100 % สเต็พในอัตราการไหลขาเข้า จาก 1 ลูกบาศก์เมตร /นาที เป็น 2 ลูกบาศก์เมตร/นาที

รูปที่ 6.1 พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในกรณีศึกษา

6.3.1 กรณีศึกษาที่ 1

กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 1.50 (m^3/min)/min เมื่อให้ระบบเกิดการรบกวนโหลดในการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ จาก 1 ลูกบาศก์เมตร /นาที เป็น 2 ลูกบาศก์เมตร/นาที สามารถคำนวนขนาดของถังพักได้จากสมการต่อไปนี้ (Marlin, 1992)

$$V = \frac{1.84(\Delta F_{max})^2}{\left.\frac{dF_{out}}{dt}\right|_{max}} \qquad (6\text{-}1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของถังพัก

ΔF_{max} คือ ขนาดการรบกวนโหลดสูงสุด

$\left.\frac{dF_{out}}{dt}\right|_{max}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO)

เมื่อแทนค่าการรบกวนโหลดสูงสุดและค่า MRCO ลงในสมการ (6-1) สามารถหาขนาดของถังพักได้เท่ากับ 1.22 ลูกบาศก์เมตร จากค่าดังกล่าวสามารถเลือกค่าความสูงและพื้นที่หน้าตัดของถังพักใด ๆ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ ในที่นี้ได้กำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อความสูงของถังพักเป็น 1 : 2 เพื่อให้สอดคล้องกับระบบถังพักมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง จะได้พื้นที่หน้าตัดและความสูงของถังพักเท่ากับ 0.75 ตารางเมตร และ 1.63 เมตร ตามลำดับ

จากพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในตัวอย่างกรณีศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6.1 และจากพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งความสูงของถังพักคำนวนได้ สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.4 จากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนดังกล่าวสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.5 และได้แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในรูปที่ 6.2 ถึง 6.4

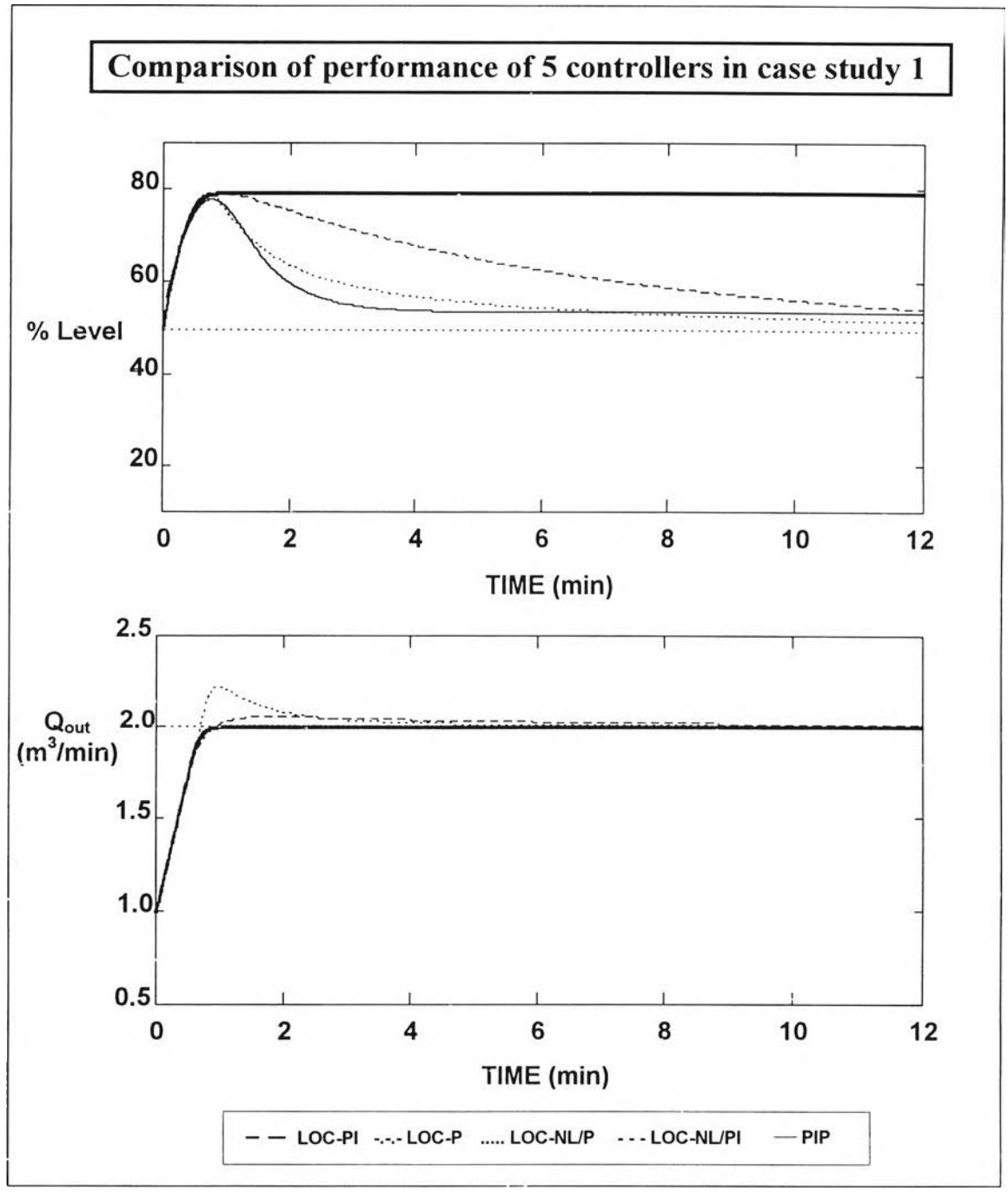
ตารางที่ 6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 1

ชนิดตัวควบคุม	LOC-PI controller		LOC-P controller	LOC-NL/P controller		LOC-NL/PI controller			PIP controller	
พารามิเตอร์ที่ใช้	K_C	τ_I	K_C	K	K_{CO}	K	K_{CO}	τ_{I0}	K_C	τ_I
ในการปรับจูน	1.20	6.00	1.85	0.87	0.31	0.875	0.263	10.00	0.44	0.24

ตารางที่ 6.5 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 1

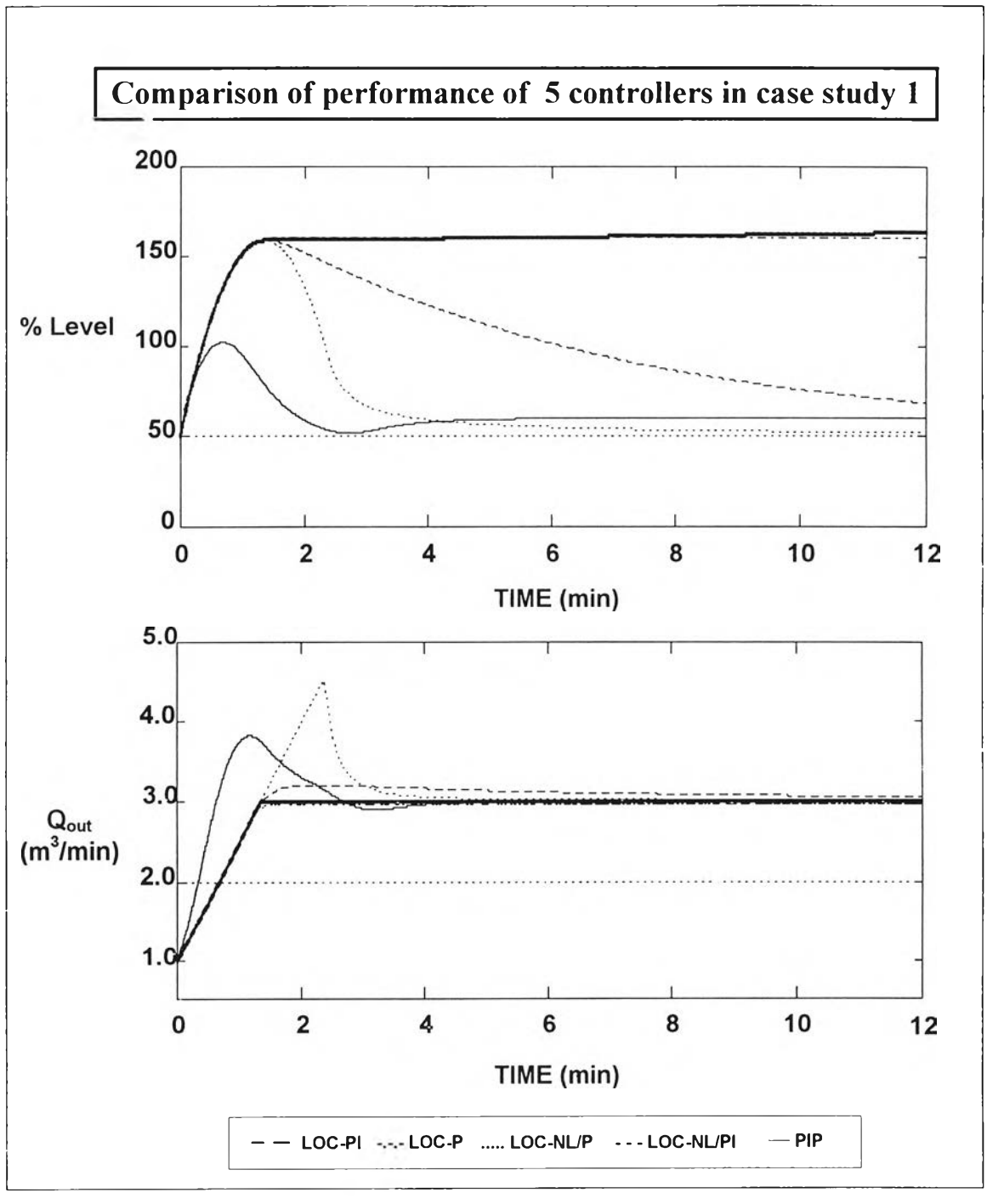
(กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 1.50 $(m^3/min)/min$)

ชนิดของตัวควบคุม	ค่าที่ได้ตามข้อกำหนด		โอเวอร์ชูท (%)	ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับ		การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด		ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน	
	MPH (%)	MRCO (m^3/min/min)		offset (%)	เวลา (นาที)	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม
LOC-PI controller	29.08	1.50	5.34	0.00	55.00	276.80	0.00	7.06	0.00
LOC-P controller	29.10	1.50	0.00	100.00	1.40	281.85	0.00	7.63	0.00
LOC-NL/P controller	29.10	1.48	0.00	100.00	1.35	272.61	1.35	6.36	1.35
LOC-NL/PI controller	29.08	1.50	22.05	0.00	48.00	276.52	0.00	3.21	0.00
PIP controller	30.06	1.57	15.94	15.51	6.50	75.37	127.54	6.10	0.64

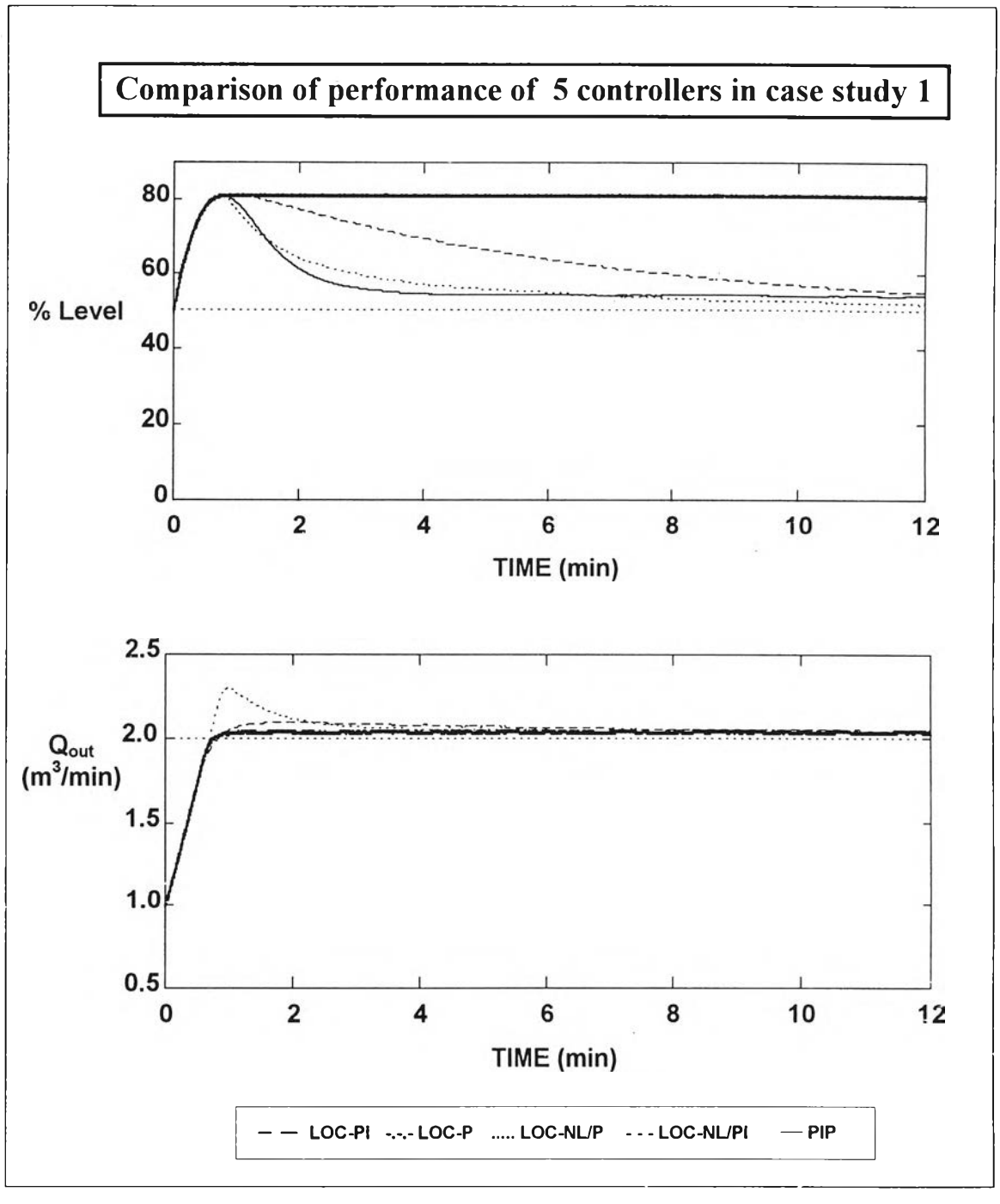


รูปที่ 6.2 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 6.3 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 200% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 6.4 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พและสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ในกรณีศึกษาที่ 1

6.3.2 กรณีศึกษาที่ 2

กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 2.0 (m^3/min)/min เมื่อให้ระบบเกิดการรบกวนโหลดในการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ จาก 1 ลูกบาศก์เมตร/นาที เป็น 2 ลูกบาศก์เมตร/นาที ทำนองเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 สามารถคำนวนขนาดของถังพักได้เท่ากับ 0.92 ลูกบาศก์เมตร เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อความสูงของถังพักเป็น 1 : 2 จะได้พื้นที่หน้าตัดและความสูงของถังพักเท่ากับ 0.65 ตารางเมตร และ 1.41 เมตร ตามลำดับ

จากพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในตัวอย่างกรณีศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6.1 และจากพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งความสูงของถังพักคำนวนได้ สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.6 จากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนดังกล่าวสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.7 และได้แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในรูปที่ 6.5 ถึง 6.7

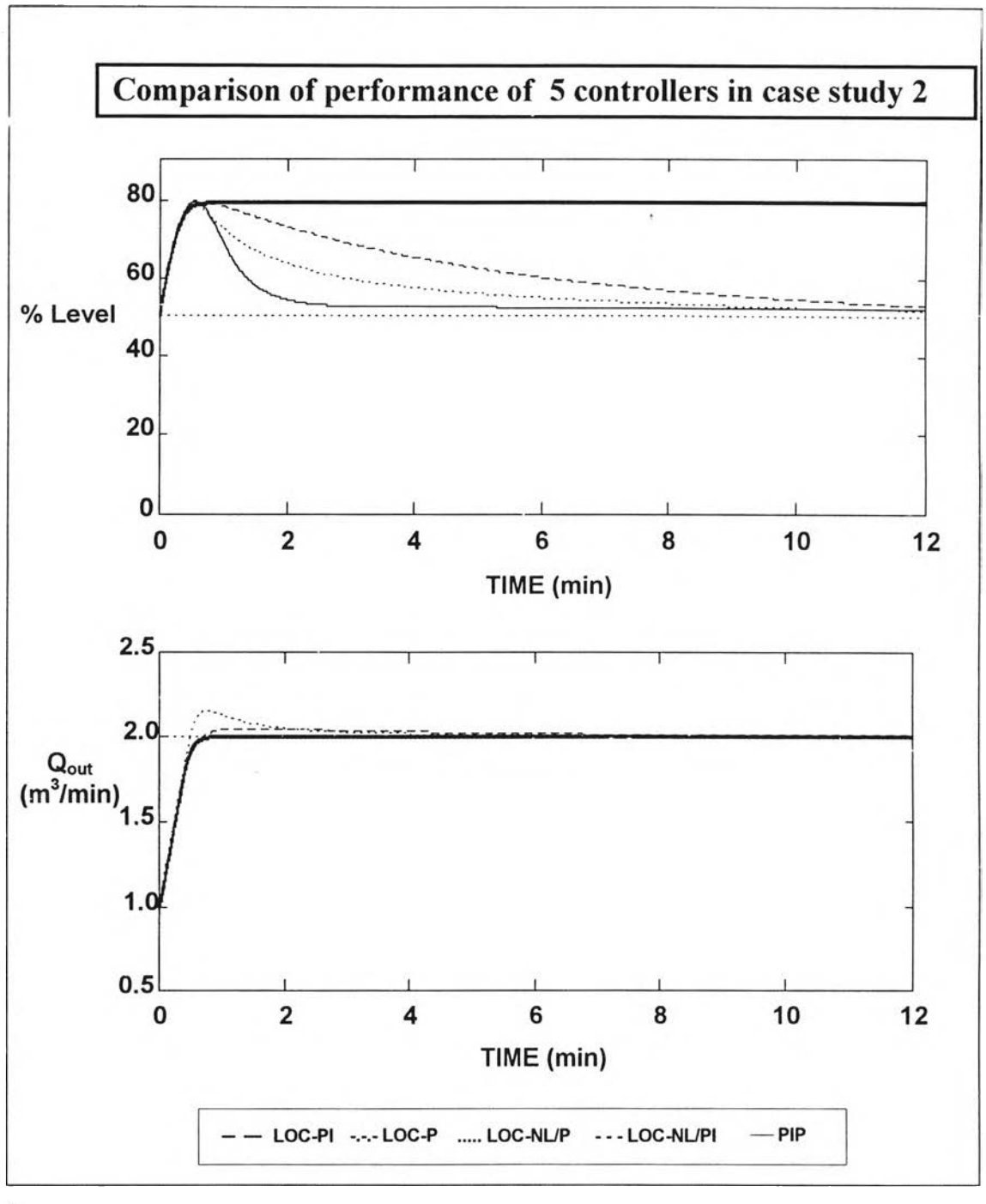
ตารางที่ 6.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 2

ชนิดตัวควบคุม	LOC-PI controller		LOC-P controller	LOC-NL/P controller		LOC-NL/PI controller			PIP controller	
พารามิเตอร์ที่ใช้	K_C	τ_I	K_C	K	K_{CO}	K	K_{CO}	τ_{I0}	K_C	τ_I
ในการปรับจูน	1.25	5.00	1.90	0.80	0.37	0.85	0.28	8.50	0.50	0.20

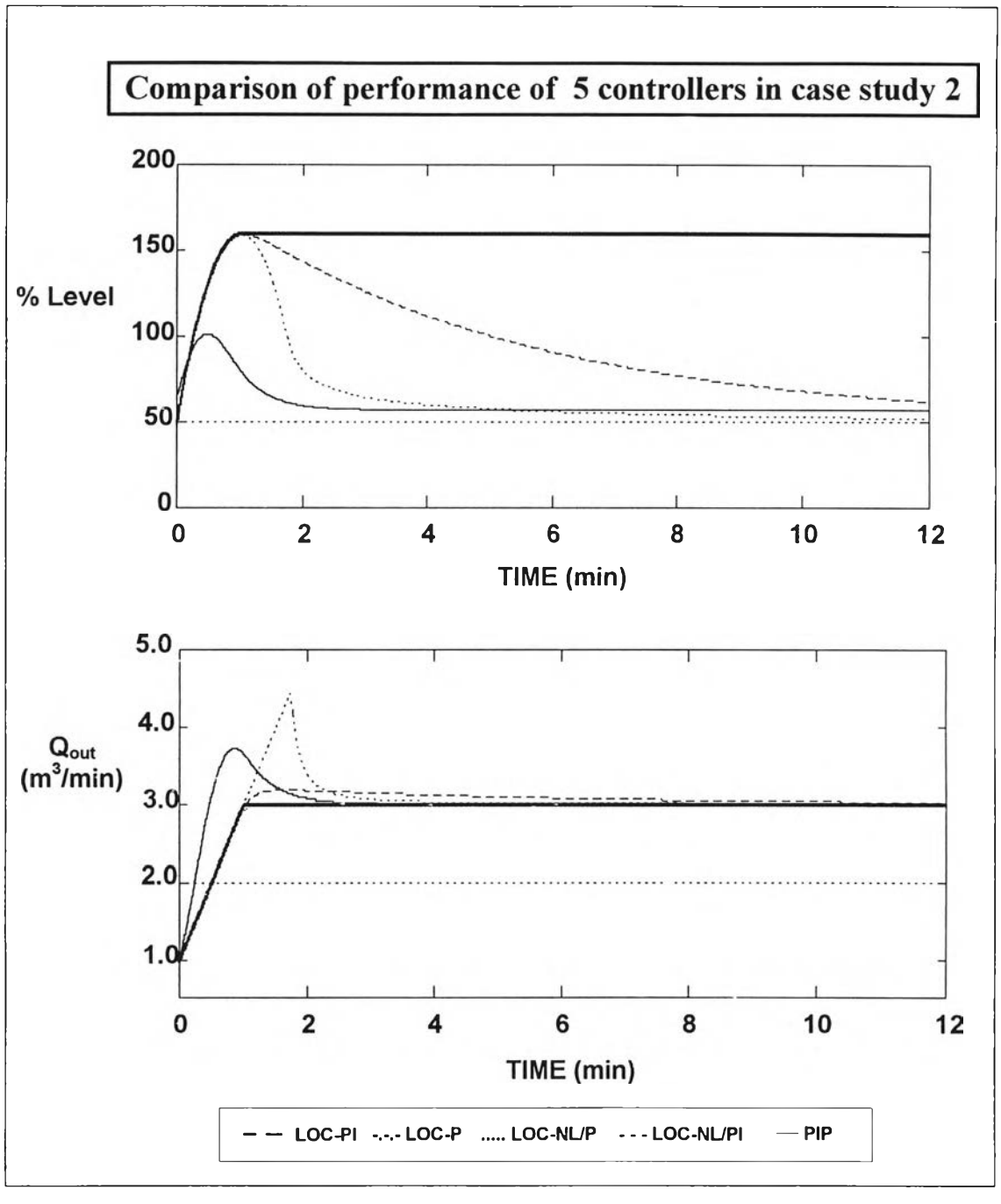
ตารางที่ 6.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 2

(กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 2.00 $(m^3/min)/min$)

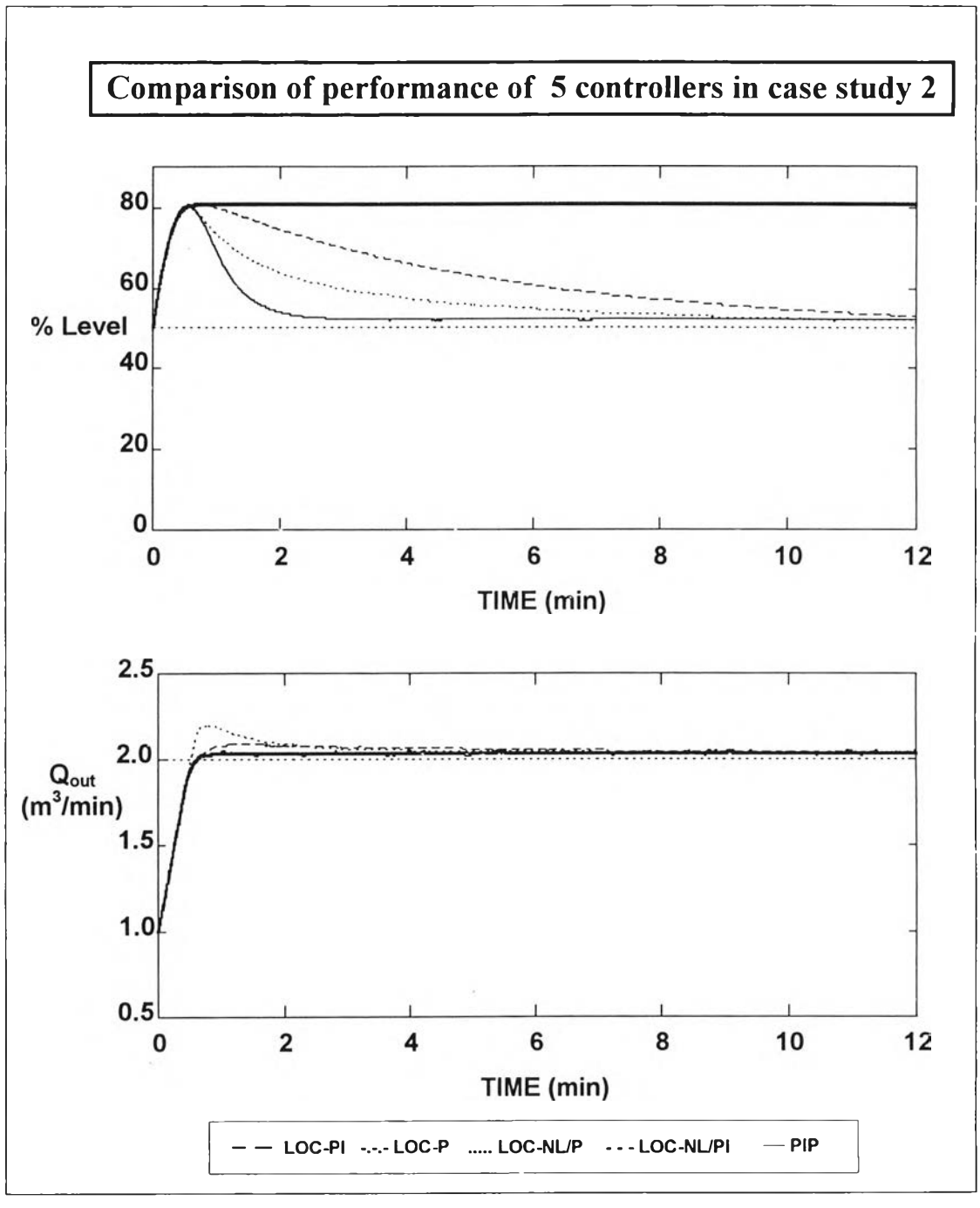
ชนิดของตัวควบคุม	ค่าที่ได้ตามข้อกำหนด		โอเวอร์ชูท (%)	ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับ		การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด		ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน	
	MPH (%)	MRCO (m^3/min/min)		offset (%)	เวลา(นาที)	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม
LOC-PI controller	24.09	2.00	4.86	0.00	45.00	281.78	0.00	5.62	0.00
LOC-P controller	24.07	2.00	0.00	100.00	1.45	287.63	0.00	6.82	0.00
LOC-NL/P controller	24.18	1.98	0.00	100.00	1.25	279.90	1.00	5.16	1.00
LOC-NL/PI controller	24.11	2.00	15.12	100.00	44.00	280.96	0.00	2.31	0.00
PIP controller	24.57	2.08	10.30	7.76	8.50	79.32	116.35	5.41	0.48



รูปที่ 6.5 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 6.6 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 200% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 6.7 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พและสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ในกรณีศึกษาที่ 2

6.3.3 กรณีศึกษาที่ 3

กำหนดให้ค่า MPH = 35 % และค่า MRCO = 1.00 $(m^3/min)/min$ เมื่อให้ระบบเกิดการรบกวนโหลดในการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ จาก 1 ลูกบาศก์เมตร/นาที เป็น 2 ลูกบาศก์เมตร/นาที ทำนองเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 สามารถคำนวนขนาดของถังพักได้เท่ากับ 1.84 ลูกบาศก์เมตร เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อความสูงของถังพักเป็น 1 : 2 จะได้พื้นที่หน้าตัดและความสูงของถังพักเท่ากับ 0.95 ตารางเมตร และ 1.94 เมตร ตามลำดับ

จากพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในตัวอย่างกรณีศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6.1 และจากพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งความสูงของถังพักคำนวนได้ สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.8 จากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนดังกล่าวสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในตารางที่ 6.9 และได้แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดได้ในรูปที่ 6.8 ถึง 6.10

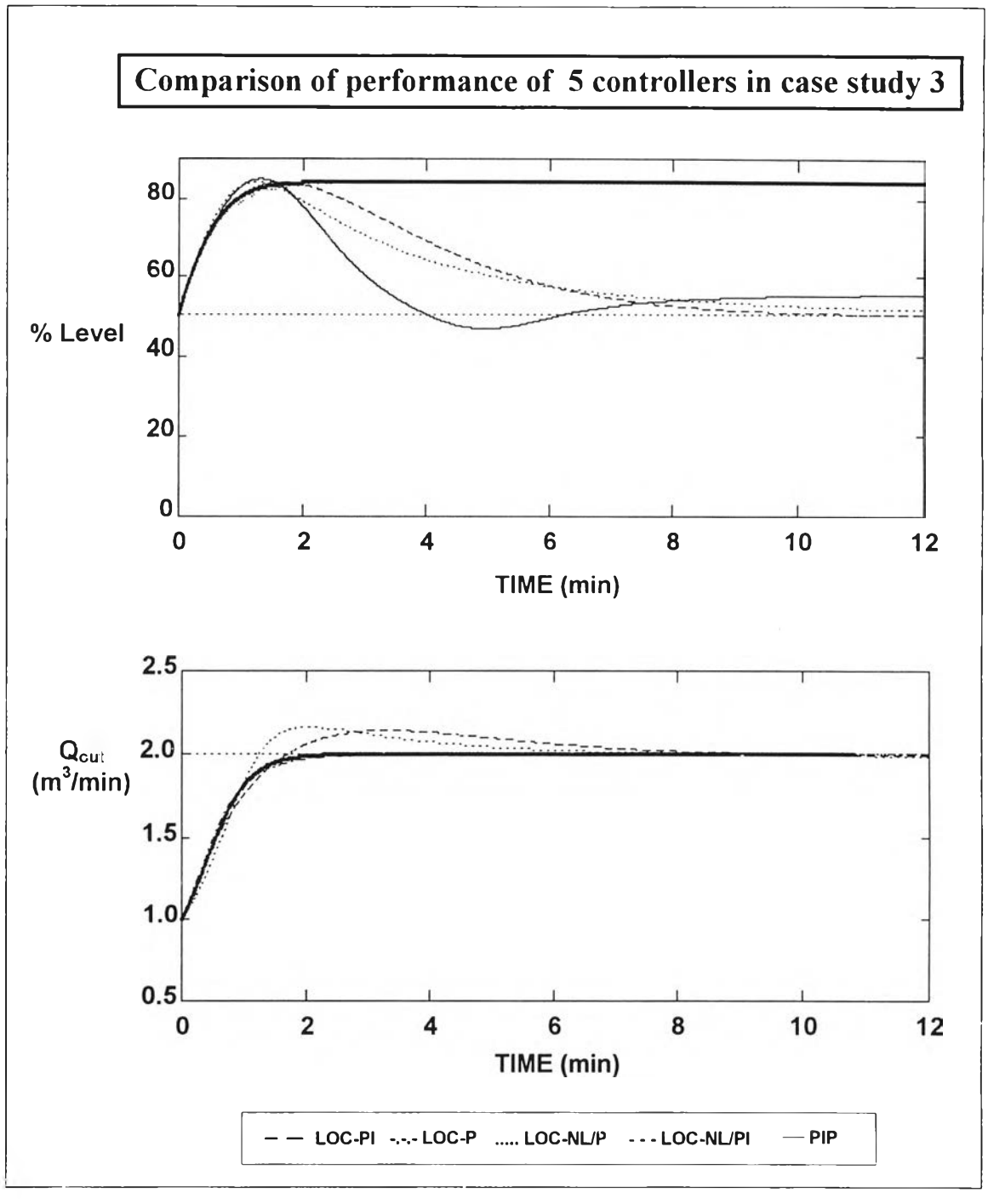
ตารางที่ 6.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 3

ชนิดตัวควบคุม	LOC-PI controller		LOC-P controller	LOC-NL/P controller		LOC-NL/PI controller			PIP controller	
พารามิเตอร์ที่ใช้	K_C	τ_I	K_C	K	K_{CO}	K	K_{CO}	τ_{I0}	K_C	τ_I
ในการปรับจูน	0.535	3.00	0.91	0.375	0.328	0.395	0.217	10.00	0.30	0.33

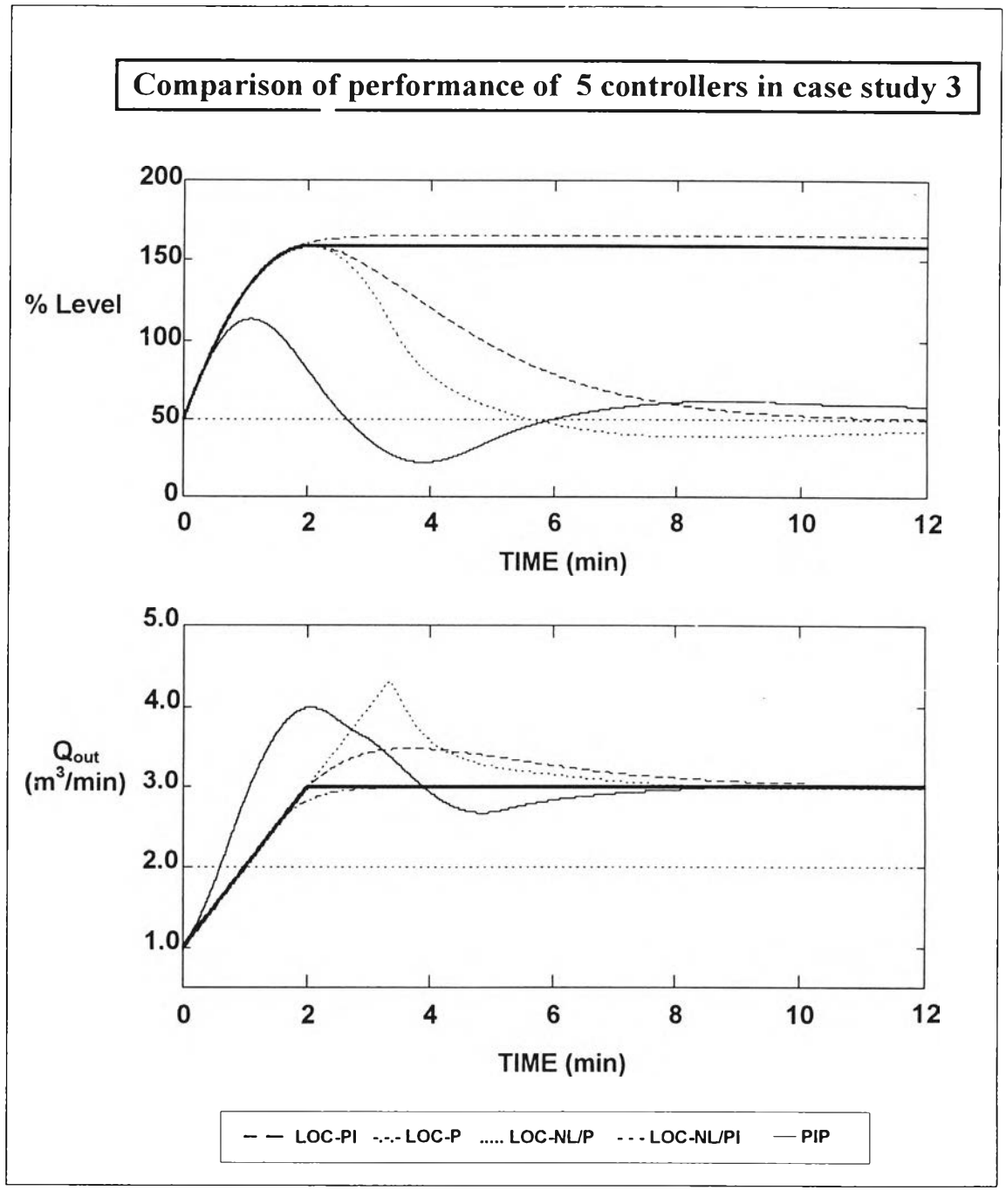
ตารางที่ 6.9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมทั้ง 5 ชนิดในกรณีศึกษาที่ 3

(กำหนดให้ค่า MPH = 35 % และค่า MRCO = 1.00 $(m^3/min)/min$)

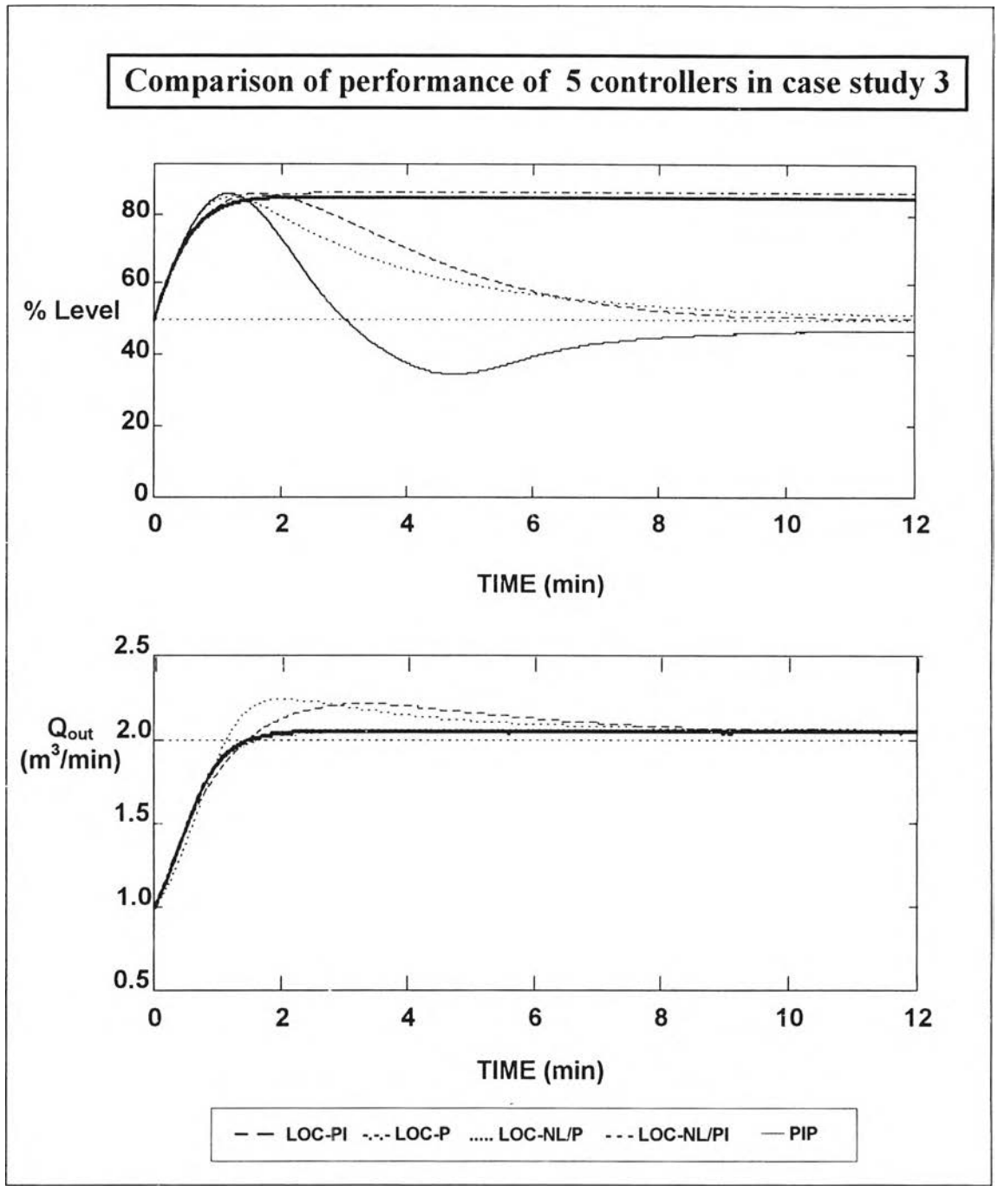
ชนิดของตัวควบคุม	ค่าที่ได้ตามข้อกำหนด		โอเวอร์ชูท (%)	ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับ		การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด		ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน	
	MPH (%)	MRCO (m^3/min/min)		offset (%)	เวลา(นาที)	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม	%MPH ที่เพิ่ม	%MRCO ที่เพิ่ม
LOC-PI controller	34.16	1.00	15.09	0.00	20.00	218.68	0.00	6.12	0.00
LOC-P controller	34.15	1.00	0.00	100.00	3.50	238.71	0.00	8.05	0.00
LOC-NL/P controller	34.16	0.99	0.00	100.00	2.20	218.56	0.52	4.10	0.52
LOC-NL/PI controller	34.14	1.00	17.56	100.00	18.00	218.63	1.00	1.76	0.00
PIP controller	34.14	1.00	16.40	11.12	12.50	80.44	114.12	4.33	0.13



รูปที่ 6.8 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 6.9 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 200% สเต็พ ในกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 6.10 ผลการตอบสนองที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย ทั้ง 5 ชนิด เมื่อเกิดการรบกวนการไหลขาเข้าขนาด 100% สเต็พและสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ในกรณีศึกษาที่ 3

จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยลำดับที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก และตัวควบคุมแบบพีไอพี โดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบชนิดต่าง ๆ จากกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณี พบว่าผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ได้สอดคล้องกับตารางสรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ดังนั้นจึงสามารถมั่นใจได้ว่าการสรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ได้จากการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ

จากข้อมูลที่ได้จากผลการวิจัยนี้พบว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 สามารถสรุปข้อมูลของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจากผลการวิจัยนี้และจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบพี

ตัวควบคุมแบบพีเป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่ได้มีการค้นพบและนิยมใช้กันมาเป็นเวลานาน พบว่าตัวควบคุมแบบพีมีข้อดีที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย คือ ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกและให้สัญญาณการไหลขาออกที่ราบเรียบ แต่อย่างไรก็ตามตัวควบคุมแบบพีมีข้อเสีย คือ เกิดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว การปรับจูนทำได้ค่อนข้างยาก และมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดต่ำกว่าตัวควบคุมชนิดอื่นมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตัวควบคุมแบบพีมีสมรรถนะในการควบคุมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น โดยมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำรองจากตัวควบคุม

แบบช่วงกว้างซึ่งมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำที่สุด สำหรับการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดและความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมแบบพีมีค่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ

2. ตัวควบคุมแบบพีไอ

ตัวควบคุมแบบพีไอเป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่ได้มีการค้นพบและนิยมใช้กันมาเป็นเวลานานเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพี พบว่าตัวควบคุมแบบพีไอช่วยลดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว แต่มีข้อเสีย คือ เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออก ทำให้การไหลขาออกไม่ราบเรียบ นอกจากนั้นในระบบของถังพักที่วางต่อเนื่องกันการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอส่งผลให้ขนาดของการแกว่ง (oscillation) เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นข้อเสียที่สำคัญสำหรับการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย พบว่าตัวควบคุมแบบพีไอมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดดีกว่าตัวควบคุมแบบพีมาก อย่างไรก็ตามการปรับจูนยังคงทำได้ค่อนข้างยากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น ส่วนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดและความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมีค่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ เช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพี จากการเปรียบเทียบพบว่าตัวควบคุมแบบพีไอมีสมรรถนะในการควบคุมดีกว่าตัวควบคุมแบบพีเล็กน้อย

3. ตัวควบคุมแบบพีแอล

ตัวควบคุมแบบพีแอลเป็นตัวควบคุมที่เสนอขึ้นเพื่อลดข้อเสียที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีและพีไอ จัดเป็นตัวควบคุมที่มีความสามารถในการควบคุมอยู่ระหว่างตัวควบคุมแบบพีและ

พีไอ โดยช่วยลดอ็อพเซ็ทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีและช่วยลดโอเวอร์ชูทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีไอ อย่างไรก็ตามตัวควบคุมแบบพีแอลมีข้อเสีย คือ การปรับจูนที่เสนอขึ้นในรูปแผนภาพการปรับจูน (Cheung และ Luyben, 1980) ทำได้ในช่วงแคบ ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลายเท่าที่ควรและมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดต่ำ นอกจากนั้นเนื่องจากตัวควบคุมแบบพีแอลเป็นตัวควบคุมแบบป้อนหน้า/ป้อนกลับ ดังนั้นในการเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีแอลต้องเสียค่าใช้จ่ายทางด้านอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบป้อนหน้ามากขึ้น ส่วนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดและความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมแบบพีแอลมีค่าใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบพีและพีไอมาก จากการเปรียบเทียบพบว่าตัวควบคุมแบบพีแอลมีสมรรถนะในการควบคุมดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอ

4. ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างเป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่เสนอขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การตอบสนองช้าเมื่อความผิดพลาดมีค่าน้อย และให้การตอบสนองเร็วขึ้นเมื่อความผิดพลาดมีค่ามาก พบว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย และมีความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ในเกณฑ์ดี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากคุณสมบัติความไม่เชิงเส้นของตัวควบคุมดังกล่าวทำให้การทำนายผลการตอบสนองและการปรับจูนตัวควบคุมแบบช่วงกว้างทำได้ยากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ พบว่าคุณสมบัติในการกรองสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมแบบช่วงกว้างจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น ทำให้สัญญาณ

การไหลขาออกมีลักษณะแหลมคม และส่งผลให้โอเวอร์ชูทที่เกิดขึ้นในสัญญาณการไหลขาออกมีค่าสูง นอกจากนั้นตัวควบคุมแบบช่วงกว้างยังมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดและความทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่าตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีข้อเสียค่อนข้างมาก ทำให้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ

5. ตัวควบคุมแบบพีไอพี

ตัวควบคุมแบบพีไอพีเป็นตัวควบคุมแบบแบ่งช่วงการควบคุมที่เสนอขึ้นเพื่อเลียนแบบข้อดีและลดข้อเสียที่เกิดจากตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง โดยการปรับจูนตัวควบคุมแบบพีไอพีสามารถทำได้ง่ายกว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง, ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอและตัวควบคุมแบบพีแอล ในขณะที่สามารถให้ผลการตอบสนองที่เร็วเมื่อความผิดพลาดมีค่าน้อย และให้การตอบสนองที่ช้าเมื่อความผิดพลาดมีค่ามากเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง นอกจากนั้นตัวควบคุมแบบพีไอพียังมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง และมีความสามารถในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ส่วนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดมีค่าใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบพี, พีไอ และพีแอล อย่างไรก็ตามตัวควบคุมแบบพีไอพีมีข้อเสีย คือ เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว แต่อ็อพเซ็ทดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าอ็อพเซ็ทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีมาก จัดเป็นตัวควบคุมที่ให้สมรรถนะในการควบคุมดีรองจากตัวควบคุมแบบจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก หรือให้สมรรถนะในการควบคุมดีที่สุดในกรณีที่พิจารณาเฉพาะตัวควบคุมที่ไม่ได้ทำการ

จำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

6. ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี

ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพีเป็นตัวควบคุมแบบแบ่งช่วงการควบคุมที่เสนอขึ้น เพื่อเลียนแบบข้อดีและลดข้อเสียที่เกิดจากตัวควบคุมแบบช่วงกว้างเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพีไอพี ดังนั้นคุณสมบัติและสมรรถนะในการใช้งานจึงคล้ายคลึงกับตัวควบคุมแบบพีไอพี สิ่งที่แตกต่างจากตัวควบคุมแบบพีไอพี คือ ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพีไม่เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว และเกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกมากกว่าตัวควบคุมแบบพีไอพี นอกจากนั้นความสามารถในการทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพีจะน้อยกว่าตัวควบคุมแบบพีไอพี ส่วนการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดจะดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอพี ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพีจัดว่ามีสมรรถนะในการควบคุมใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบพีไอพีมาก โดยมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำกว่าตัวควบคุมแบบพีไอพีเพียงเล็กน้อย

7. ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกจัดเป็นตัวควบคุมชนิดหนึ่งที่จัดอยู่กลุ่มตัวควบคุมที่มีสมรรถนะในการควบคุมดีที่สุด โดยมีสมรรถนะในการควบคุมใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก เนื่องจากการนำคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้ ช่วยให้ตัวควบคุมแบบพีมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดดีขึ้นมาก และทำให้การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยให้ความทนทานต่อ

สัญญาณรบกวนและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดดีขึ้น สิ่งที่สำคัญ คือ ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกสามารถทำการควบคุมโดยไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออก ซึ่งจัดเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการควบคุมระดับแบบเฉลี่ย จากข้อดีที่กล่าวมาจึงส่งผลให้ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกจัดเป็นตัวควบคุมที่มีสมรรถนะในการควบคุมดีที่สุดชนิดหนึ่ง อย่างไรก็ตามตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมีข้อเสีย คือ เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว พบว่าตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกสามารถนำมาใช้งานได้ดี เมื่อการอ็อพเซ็ทไม่เกิดผลกระทบที่สำคัญในกระบวนการ

8. ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกจัดเป็นตัวควบคุมอีกชนิดหนึ่งที่มีสมรรถนะในการควบคุมดีที่สุด โดยมีสมรรถนะในการควบคุมใกล้เคียงตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาก การนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้ช่วยให้ตัวควบคุมแบบพีไอมีสมรรถนะในการควบคุมดีขึ้นมาก ทำนองเดียวกับการนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้กับตัวควบคุมแบบพี สิ่งที่แตกต่างจากตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก คือ ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกช่วยลดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว แต่ให้โอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออก โดยสามารถเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกแทนตัวควบ

คุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก เมื่อการเกิดอ็อพเซ็ทเกิดผลกระทบที่สำคัญในกระบวนการ

9. ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก จัดเป็นตัวควบคุมที่มีสมรรถนะในการควบคุมรองลงมาจากตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก การนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้ช่วยให้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นมีสมรรถนะในการควบคุมดีขึ้นมาก ทำนองเดียวกับการนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้กับตัวควบคุมแบบพีและพีไอ นอกจากนั้นการนำเอาคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้กับตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นมีประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่ง คือ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น เนื่องจากไม่สามารถทำนายพฤติกรรมของตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นได้อย่างสมบูรณ์ทำให้การใช้งานตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นอาจเกิดอันตรายขึ้นได้ อย่างไรก็ตามพบว่าคุณสมบัติความไม่เชิงเส้นของตัวควบคุมดังกล่าว ทำให้การปรับจูนทำได้ยากกว่าตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก นอกจากนั้นตัวควบคุมดังกล่าวมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้น้อยกว่าตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ทำให้มีสมรรถนะในการควบคุมต่ำกว่าตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก เนื่องจากเป็นตัว

ควบคุมที่ไม่ใช้การกระทำในส่วนของอินทิกรัลเข้ามาช่วยทำให้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมีข้อเสีย คือ เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว เช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพีและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ดังนั้นสามารถเลือกใช้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกเมื่อการอ็อพเซ็ทไม่เกิดผลกระทบที่สำคัญในกระบวนการเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

10. ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก จัดเป็นตัวควบคุมอีกชนิดหนึ่งที่มีสมรรถนะในการควบคุมรองลงมาจากตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกเช่นเดียวกับตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกโดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบสมรรถนะชนิดต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับตัวควบคุมพีแบบเชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาก สิ่งที่แตกต่างกัน คือ ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกช่วยลดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว และมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า แต่ให้โอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกมีค่ามาก นอกจากนั้นเนื่องจากเป็นตัวควบคุมที่นำเอาตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมาจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ทำให้พีกการไหลขาออกมีลักษณะค่อนข้างแหลมคมเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกแทนตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก เมื่อการเกิดอ็อพเซ็ทเกิดผลกระทบที่สำคัญในกระบวนการ

จากข้อมูลของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปในตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 สรุปข้อมูลของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่สนใจศึกษา

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
-	ตัวควบคุมแบบพี (Proportional Controller)	$CO = Bias + K_c e$	เป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่นิยมใช้กันมานาน	K_c	• ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกทำให้การไหลขาออกราบเรียบ	• เกิดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว • ความสามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดต่ำ • การปรับจูนทำได้ค่อนข้างยาก
-	ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional integral Controller)	$CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t edt$	เป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่นิยมใช้กันมานาน	K_c, τ_I	• ไม่เกิดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว • ความสามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดค่อนข้างดี	• เกิดโอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออกทำให้การไหลขาออกไม่ราบเรียบ • การปรับจูนทำได้ค่อนข้างยาก
1976 Shunda & Fehervari	ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง (Wide-range Controller)	$CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t edt$ $K_c = (1 + lel\ K \ln 25)(25^{lelK})$ (K_{c0}) $\tau_I = \frac{\tau_{I0}}{(1 + lelK \ln 25)(25^{lelK})}$	ให้ผลการตอบสนองที่ช้าเมื่อการรบกวนมีค่าน้อย และให้ผลการตอบสนองที่เร็วเมื่อการรบกวนมีค่ามาก	K, K_{c0}, τ_{I0}	• สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีมาก • ไม่เกิดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว	• การปรับจูนและการทำนายผลการตอบสนองทำได้ยาก • การกรองสัญญาณรบกวนทำได้ดีเฉพาะในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำพีกการไหลขาออกจึงแหลมคมและโอเวอร์ชูทมีค่ามาก • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่ำและตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ไม่ดี

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
1977 Luyben & Buckley	ตัวควบคุมแบบพีแอล (Proportional-lag controller)	$CO1 = K_c e$; $CO2 = e^{-\Delta t/\tau_F}(CO0) + (1- e^{-\Delta t/\tau_F})Qin0$ $CO0 = CO2$ $Qin0 = Qin$ $CO = Bias + (CO1+CO2)$	เพื่อลดข้อเสียที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีและพีไอ	K_c, τ_F	• ช่วยลดอ็อพเซ็ทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีและช่วยลดโอเวอร์ชูทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีไอ	• การใช้งานมีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถทำการปรับจูนได้ในบางกรณี • ต้องเสียค่าใช้จ่ายทางด้านอุปกรณ์มากขึ้น
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมแบบพีไอพี (Proportional-integral/ proportional controller)	For $\|e\| \le e_b$ $CO = Bias + K_c e$ For $\|e\| \ge e_b$ $CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t (e \pm e_b)dt$	เพื่อเลียนแบบข้อดีและลดข้อเสียที่เกิดจากตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	K_c, τ_I	• สามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดี • การปรับจูนทำได้ง่ายกว่าตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง	• เกิดอ็อพเซ็ทที่สภาวะคงตัว ทำให้ระดับของเหลวไม่สามารถเข้าสู่เซ็ทพอยน์ที่ต้องการแต่อ็อพเซ็ทที่เกิดมีค่าน้อยกว่าอ็อพเซ็ทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีมาก

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี (Dual Range Integral/ Proportional Controller)	For $\|e\| \le e_b$ $CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_{I2}} \int_0^t edt$ For $\|e\| \ge e_b$ $CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_{I1}} \int_0^t edt$ เมื่อ $\tau_{I2} > \tau_{I1}$	เช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพีไอพี	K_c , τ_{I1} , τ_{I2}	• สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีเช่นเดียวตัวควบคุมพีไอพี • การปรับจูนทำได้ง่ายเช่นเดียวกับตัวควบคุมแบบพีไอพี • ช่วยลดอ็อพเซ็ททำให้ระดับของเหลวเข้าสู่สภาวะคงตัวได้	• เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออก
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก (Proportional Controller With Limited Output Change)	CO = Bias + K_ce COnew = CO ΔCO = COnew - COold if ΔCO<= COmax(=MRCO x Ts) CO = COnew else if e < 0 CO = COold + COmax else CO = COold - COmax end end	เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบพี	K_c	• ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบพี • สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีมาก • การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่ไม่ได้กำจัดการเปลี่ยนแปลงขาออก • ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกทำให้การไหลขาออกราบเรียบ • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูงและตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ดี	• เกิดอ็อพเซ็ทที่สภาวะคงตัวทำให้ระดับของเหลวไม่สามารถเข้าสู่เซ็ทพอยน์ที่ต้องการ

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก (Proportional-integral controller with limited output change)	$CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t edt$ COnew = CO ΔCO = COnew - COold if ΔCO<= COmax (=MRCOxTs) CO = COnew else if e < 0 CO = COold + COmax else CO = COold - COmax end end	เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบพีไอ	K_c, τ_I	• ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบพีไอ • สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีมาก • การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้กำจัดการเปลี่ยนแปลงขาออก • ไม่เกิดอ็อฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว • ช่วยลดโอเวอร์ชูทที่เกิดจากตัวควบคุมแบบพีไอ • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูงและตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ดี	• ยังคงเกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณไหลขาออกทำให้การไหลขาออกไม่ราบเรียบเท่าที่ควร

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก (Nonlinear proportional controller with limited output change)	$CO = Bias + K_c e$ $K_c = (1 + \text{lel K ln } 25)(25^{\text{lelK}})(K_{c0})$ COnew = CO ΔCO = COnew - COold if $\Delta CO <=$ COmax (=MRCOxTs) CO = COnew else if e < 0 CO = COold + COmax else CO = COold - COmax end end	เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น	K_c , K_{c0}	• ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น • สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีมาก • การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้กำจัดการเปลี่ยนแปลงขาออก • ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกทำให้การไหลขาออกราบเรียบ • ตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ดี	• เกิดอ็อฟเซ็ทที่สภาวะคงตัวทำให้ระดับของเหลวไม่สามารถเข้าสู่เซ็ทพอยน์ที่ต้องการ • การปรับจูนทำได้ยากกว่าตัวควบคุมแบบจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกชนิดอื่น ๆ • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่ำ

ปี, ชื่อผู้คิดค้น	ชื่อตัวควบคุม	ลักษณะหรือสมการของตัวควบคุม	จุดมุ่งหมายหลัก	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน	สรุปข้อดีและข้อเสีย	
					ข้อดี	ข้อเสีย
1980 Cheung & Luyben	ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก (Nonlinear PI controller with limited output change)	$CO = Bias + K_c e + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t edt$ $K_c = (1 + \text{lel K ln } 25)(25^{\text{lel K}})(K_{c0})$ $\tau_I = \frac{\tau_{I0}}{(1 + \text{lelK ln } 25)(25^{\text{lelK}})}$ COnew = CO ΔCO = COnew - COold if ΔCO<= COmax(=MRCO x Ts) CO = COnew else if e < 0 CO = COold + COmax else CO = COold - COmax end end	เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	K_c, K_{co}, τ_{Io}	• ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง • สามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดได้ดีมาก • การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้กำจัดการเปลี่ยนแปลงขาออก • ไม่เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว • มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูงและตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ดี	• การปรับจูนทำได้ยากกว่าตัวควบคุมแบบจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกชนิดอื่น ๆ • พีกการไหลขาออกมีลักษณะแหลมคมและโอเวอร์ชูทมีค่ามาก

6.3 บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

ก. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่ได้มีผู้เสนอขึ้นในผลงานวิจัยที่ผ่านมา โดยในผลงานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมดังกล่าวไว้อย่างชัดเจน จากผลสรุปที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ที่ได้ในงานวิจัยนี้ ทำให้สามารถลำดับสมรรถนะในการควบคุมของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยแต่ละชนิดและสามารถจัดกลุ่มตัวควบคุมที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกันได้

ข. เพื่อตรวจสอบผลสรุปที่ได้จากการวิจัย ได้ทำกรณีศึกษาในการเลือกใช้ตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ดีสุดในลำดับ 1 ถึง 5 จากผลสรุปที่ได้จากการวิจัย พบว่าสมรรถนะของตัวควบคุมที่ได้จากการทำกรณีศึกษามีความสอดคล้องกับผลสรุปสมรรถนะของตัวควบคุมที่ได้จากการวิจัย นอกจากนั้นพบว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา ผลงานที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงมีความน่าเชื่อถือสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีและเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวควบคุมชนิดอื่นต่อไป

ค. ในผลงานวิจัยที่ผ่านมา (Cheung, 1980) ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย 4 ชนิด ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอลและตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง โดยใช้เกณฑ์ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด (ควบคุมให้ได้ค่า MPH และค่า MRCO ที่ต้องการ) เพียงอย่างเดียว พบว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมี

ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดดีที่สุด ในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าถึงแม้ว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้างจะมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดดีกว่าตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ แต่จากเกณฑ์อื่น ๆ ที่ได้กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่าตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีข้อเสียในการใช้งานหลายข้อ ทำให้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีสมรรถนะในการควบคุมต่ำที่สุด

ง. เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีซึ่งเป็นตัวควบคุมที่ให้สัญญาณการไหลขาออกที่ราบเรียบหรือไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณขาออกกับตัวควบคุมแบบพีไอซึ่งเกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออก ดูเหมือนว่าตัวควบคุมแบบพีน่าจะมีสมรรถนะในการควบคุมดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอ เนื่องจากในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจะพิจารณาถึงความราบเรียบของสัญญาณการไหลขาออกที่ราบเรียบมากกว่าการควบคุมให้ได้ระดับตามต้องการ แต่ตัวควบคุมแบบพีมีดีกรีความเป็นอิสระ (degree of freedom) เพียงตัวเดียวในการปรับจูนจึงต้องเลือกพิจารณาว่าต้องการให้ผลการตอบสนองที่ได้เป็นไปตามค่า MPH หรือค่า MRCO ที่กำหนดไว้ ทำให้การปรับจูนตัวควบคุมแบบพีเพื่อให้ได้ทั้งค่า MPH และค่า MRCO ที่ต้องการเป็นไปได้ยากมาก หรือกล่าวได้ว่าตัวควบคุมแบบพีมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดต่ำกว่าตัวควบคุมแบบพีไอซึ่งมีดีกรีความเป็นอิสระ 2 ตัวมาก ทำให้ในการเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพี อาจส่งผลให้ระดับของเหลวเกิดการไหลล้นจากถังพัก หรืออาจให้ค่าอัตราการไหลขาออกสูงกว่าที่กำหนดไว้มาก ดังนั้นการเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอจึงมีความปลอดภัยในการใช้งานได้มากกว่า อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อนำคุณสมบัติการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้กับตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิง

เส้นและตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น ทำให้ตัวควบคุมดังกล่าวมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดใกล้เคียงกัน พบว่าตัวควบคุมที่ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกและตัวควบคุมที่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกมีสมรรถนะในการควบคุมใกล้เคียงกันมาก ตัวควบคุมที่ไม่เกิดโอเวอร์ชูทในสัญญาณการไหลขาออกจึงสามารถนำมาใช้งานได้ดีกว่าในกรณีที่การเกิดอ็อพเซ็ทไม่เกิดผลกระทบที่สำคัญในกระบวนการ

จ. ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาผลของเดดไทม์ (dead time) ทำให้ตัวควบคุมแบบป้อนหน้า / ป้อนกลับ คือ ตัวควบคุมแบบพีแอลให้การตอบสนองช้ากว่าตัวควบคุมแบบพีไอ เนื่องจากตัวควบคุมแบบพีแอลใช้ตัวควบคุมแบบพีเป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ อย่างไรก็ตามในกรณีที่เปรียบเทียบตัวควบคุมแบบพีแอลกับตัวควบคุมแบบพีจะให้ผลการตอบสนองใกล้เคียงกัน

ฉ. ในงานวิจัยนี้ได้ทำเลือกเปรียบเทียบสมรรถนะตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเพียงบางส่วน โดยตัวควบคุมที่ไม่ได้ทำการศึกษา ยกตัวอย่าง เช่น ตัวควบคุมแบบไดนามิกแมทริกซ์, ตัวควบคุมแบบออพติมัลและตัวควบคุมแบบออพติมัลพรีดิคทีพ เนื่องจากการควบคุมระดับเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมาก จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมดังกล่าวซึ่งมีความซับซ้อนและความยุ่งยากในการประยุกต์ใช้งานมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นตัวควบคุมที่ได้เลือกศึกษามีข้อดี คือ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและผลการควบคุมจัดอยู่ในระดับที่น่าพอใจ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานได้ดี

ช. การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในรูปแผนภาพการปรับจูน ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้แพร่หลายเท่าที่ควรและอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านกราฟได้ง่าย อย่างไรก็ตามในการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยสามารถใช้พารามิเตอร์ในการปรับจูนได้หลายค่า เนื่องจากเป็นการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้เท่านั้น ทำให้ไม่เกิดปัญหาในการควบคุมมากนัก

ซ. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของตัวควบคุมระดับเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ จากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แม็ทแลบ ในงานวิจัยชิ้นต่อไปสามารถนำผลการวิจัยที่ได้จากการวิจัยนี้มาทำการศึกษาถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองโดยใช้ชุดเครื่องมือการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจริง