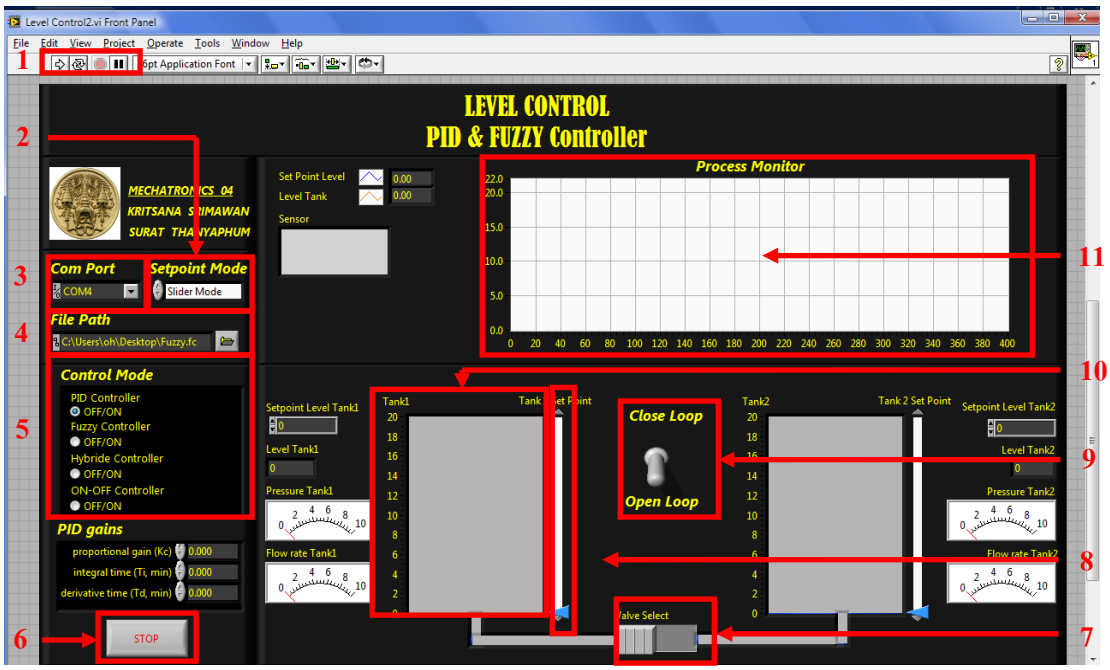
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการดำเนินงานของโครงงานชุดควบคุมระดับน้ำ ได้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller), ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) และตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) แบ่งระบบออกเป็น 2 แบบ คือ การควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถังและ 2 ถัง และได้มีการทดลองโดยระบุระดับน้ำต่างๆ ที่จุดกำหนด (Set Point) และบันทึกผลการทดลอง ซึ่งในผลการดำเนินงานและการทดลอง ประกอบด้วย

4.1 หน้าต่างของโปรแกรมการควบคุมระดับน้ำ โดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด, พีไอดี และฟัซซี

โปรแกรมหน้าหลักในการควบคุมชุดควบคุมระดับน้ำโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด, พีไอดี และฟัซซี หน้าจอหลักจะเป็นโปรแกรมที่มีไว้สำหรับผู้ควบคุมสามารถใช้งานและทำการควบคุม



รูปที่ 4.1 หน้าต่างควบคุมระดับน้ำโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด, พีไอดี และฟัซซี

4.1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมการควบคุมระดับน้ำ มีดังนี้

4.1.1.1 หมายเลข 1 คือ ปุ่มเริ่มการทำงานหรือหยุดการทำงานของโปรแกรม

4.1.1.2 หมายเลข 2 คือ ปุ่มเลือกวิธีป้อนจุดกำหนดโดยเลือกได้ 2 วิธีคือแบบใช้เมาส์และใช้คีย์บอร์ดในการป้อนจุดกำหนด

4.1.1.3 หมายเลข 3 คือ ปุ่มเลือกพอร์ต USB ที่ใช้ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.1.4 หมายเลข 4 คือ ปุ่มเลือกที่เก็บไฟล์นามสกุล .fc ที่ใช้เก็บการตั้งฐานกฎของฟัซซี

4.1.1.5 หมายเลข 5 คือ ปุ่มเลือกชนิดตัวควบคุม (Controller Type) ของระบบ

4.1.1.6 หมายเลข 6 คือ ปุ่มควบคุมการหยุด (Stop) ของโปรแกรม

4.1.1.7 หมายเลข 7 คือ ปุ่มเลือกระบบการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถังหรือ 2 ถัง

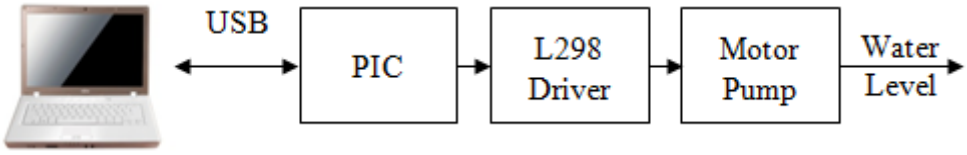
4.1.1.8 หมายเลข 8 คือ แถบเลื่อนกำหนดค่าจุดกำหนด

4.1.1.9 หมายเลข 9 คือ สวิตช์เลือกระบบแบบลูปเปิดหรือลูปปิด

4.1.1.10 หมายเลข 10 คือ แถบแสดงระดับน้ำปัจจุบันของถังน้ำ

4.1.1.11 หมายเลข 11 คือ กราฟแสดงผลระหว่างจุดกำหนด สีน้ำเงิน และสัญญาณป้อนกลับ (Feedback) สีแดง

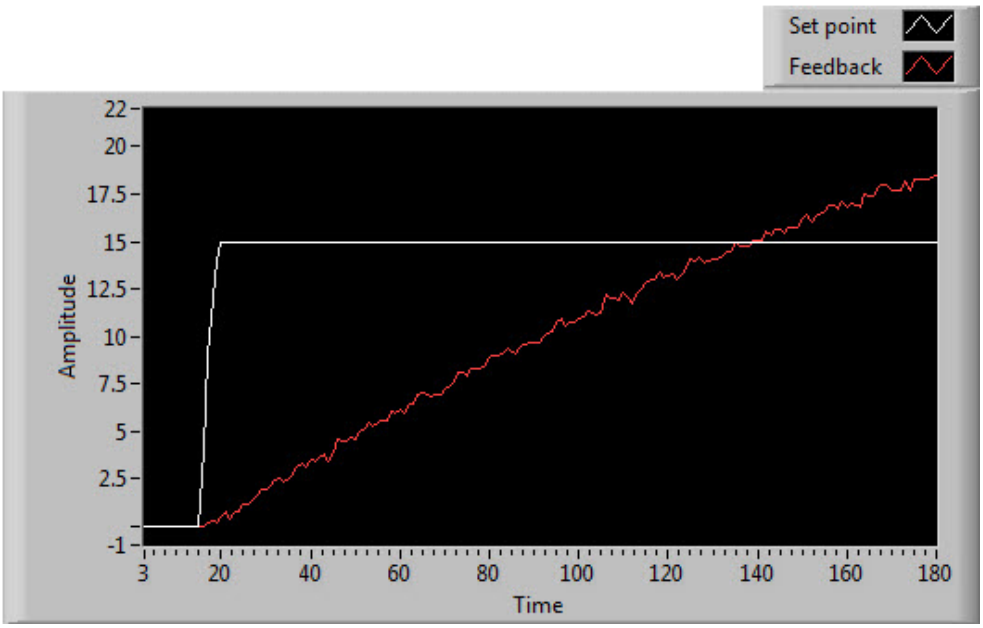
4.2 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 1 ถัง (Liquid Level Control) แบบลูปเปิด (Open -Loop)



รูปที่ 4.2 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปเปิด

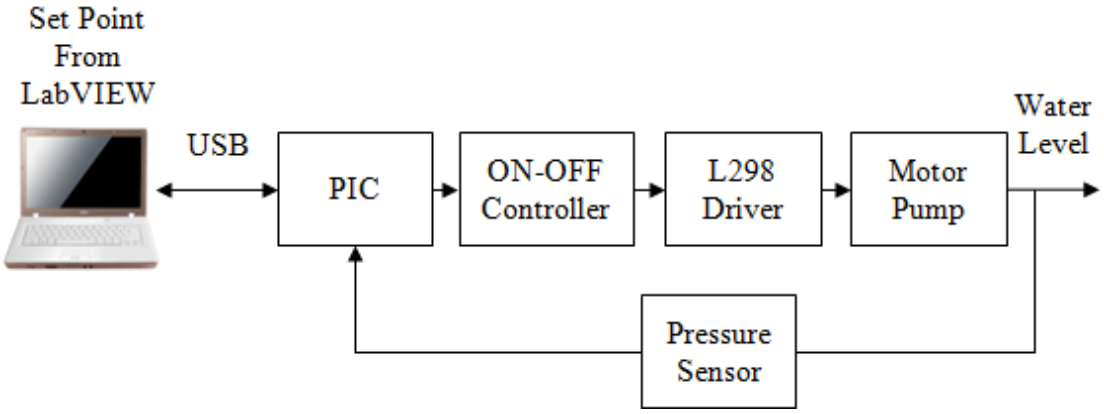
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เป็นผลการตอบสนองของระบบแบบเปิดวาล์วและปิดวาล์วตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่สามารถควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามจุดกำหนดได้เนื่องจากไม่มีสัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์

ค่าจุดกำหนดเท่ากับ 15 แสดงด้วยเส้นสีขาว สัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์แสดงด้วยเส้นสีแดง



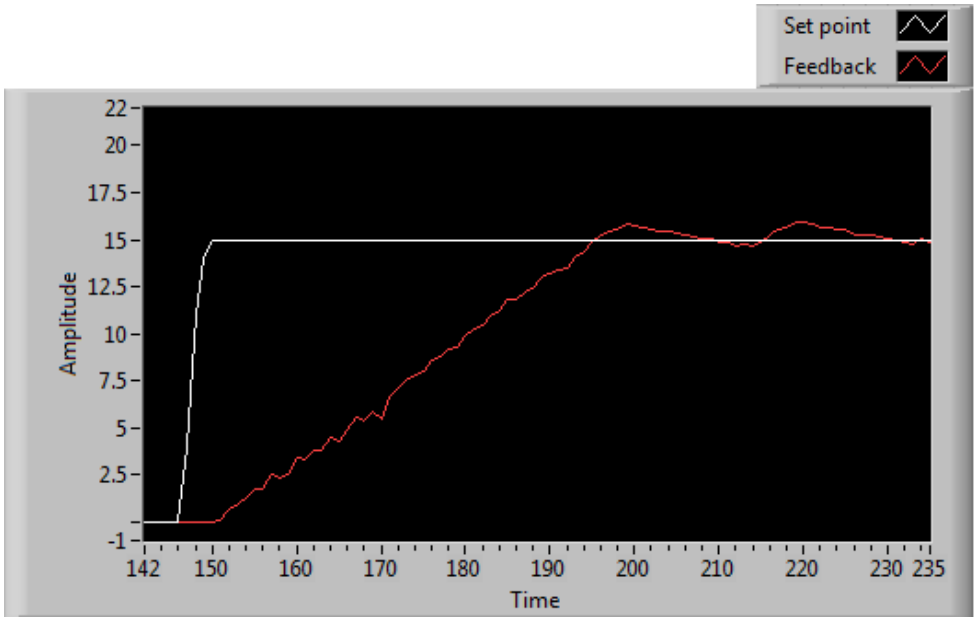
รูปที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปเปิด

4.3 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 1 ถัง แบบลูปปิด (Close-Loop) โดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด



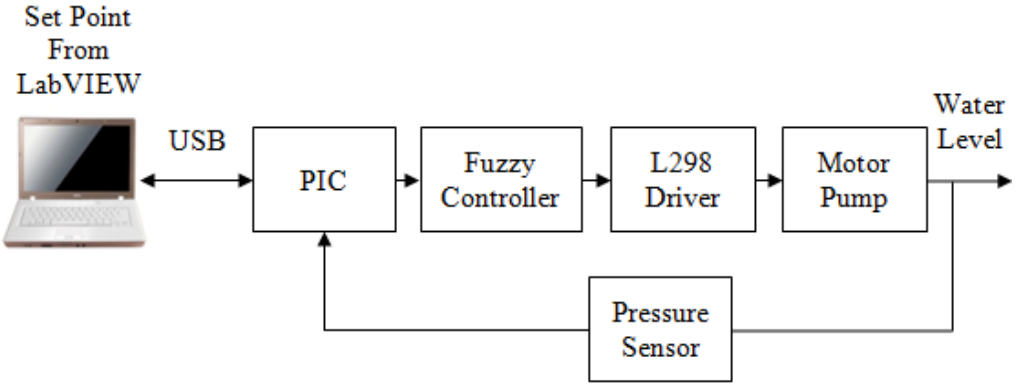
รูปที่ 4.4 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

จากรูปที่ 4.5 เป็นผลการตอบสนองของระบบแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด การทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิดจะทำให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเต็มที่เมื่อระดับน้ำยังไม่ถึงค่าจุดกำหนด และมอเตอร์จะหยุดการทำงานทันทีโดยไม่มีการลดความเร็วเมื่อระดับน้ำถึงค่าจุดกำหนด แล้ว จากกราฟจะเห็นได้ว่าเกิดการหน่วงเวลาระหว่างการเปิดและปิดของมอเตอร์ทำให้เกิดการพุ่งเกิน (Overshoot) เป็นคาบเวลาที่แน่นอนหรือเรียกว่าการเกิดฮีสเตอรีซีส



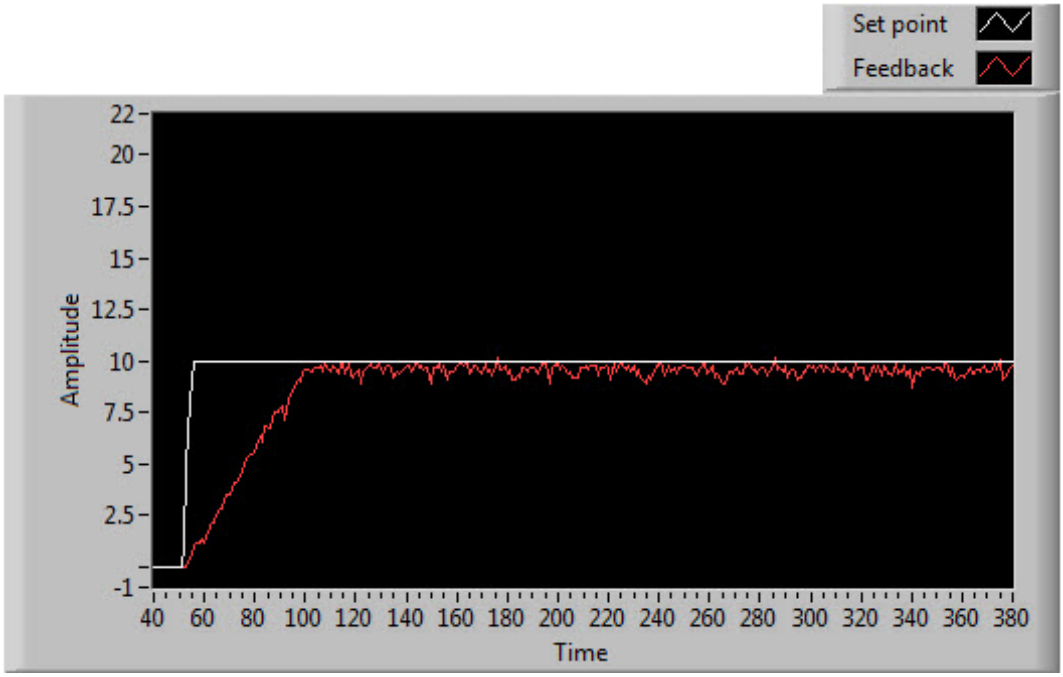
รูปที่ 4.5 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด

4.4 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

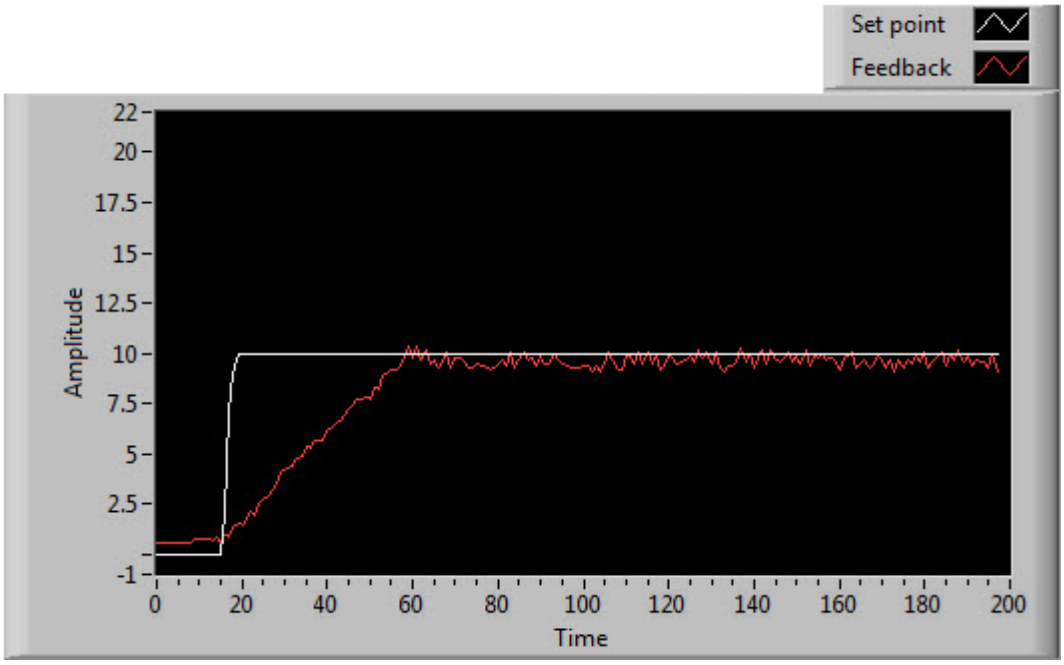


รูปที่ 4.6 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 เป็นผลการตอบสนองของระบบ การทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีจะทำให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเต็มที่เมื่อระดับน้ำยังไม่ถึงค่าจุดกำหนดและจะหรี่ลงเรื่อยๆ เมื่อระดับน้ำใกล้ถึงค่าจุดกำหนด ทั้งนี้ระดับการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับฐานกฎและจำนวนสมาชิกที่ตั้งไว้ ในที่นี้ใช้จำนวนสมาชิกแบบ 3 และ 5 ตัว ซึ่งจำนวนสมาชิกแบบ 5 ตัวจะสามารถปรับ ความละเอียดของสัญญาณเอาต์พุตได้มากกว่าแบบจำนวนสมาชิก 3 ตัว

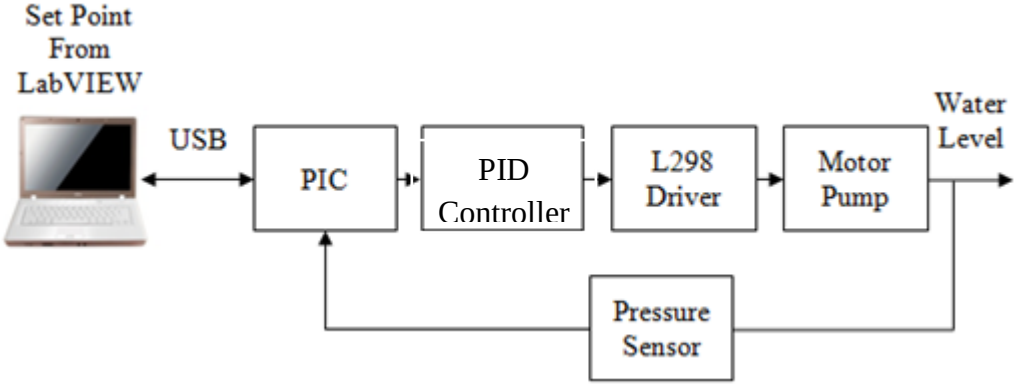


รูปที่ 4.7 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ-ฟัซซี (จำนวนสมาชิก 3 ตัว)



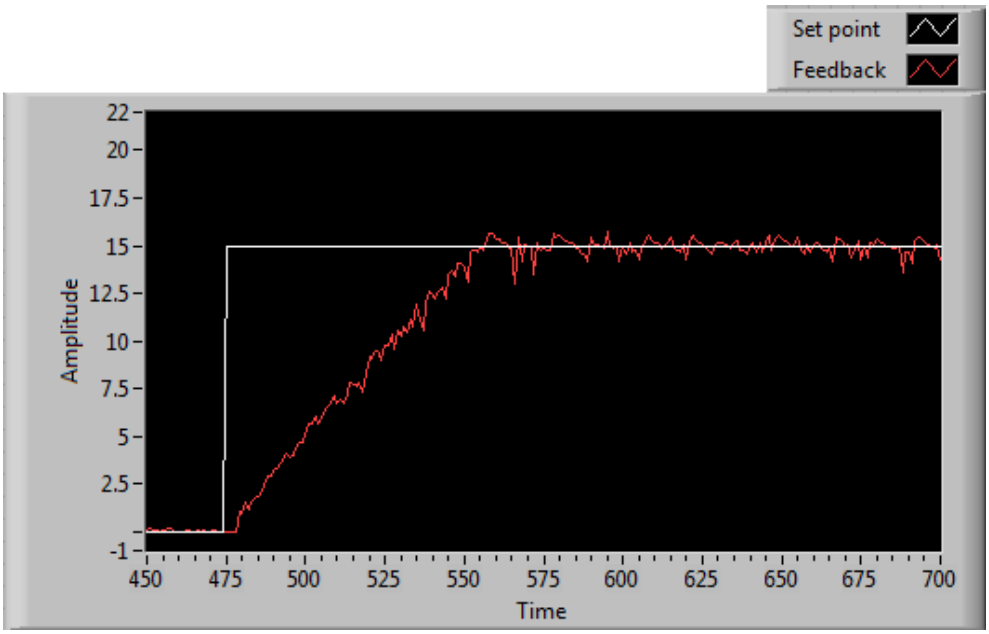
รูปที่ 4.8 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบ-ฟัซซี (จำนวนสมาชิก 5 ตัว)

4.5 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID-Controller)

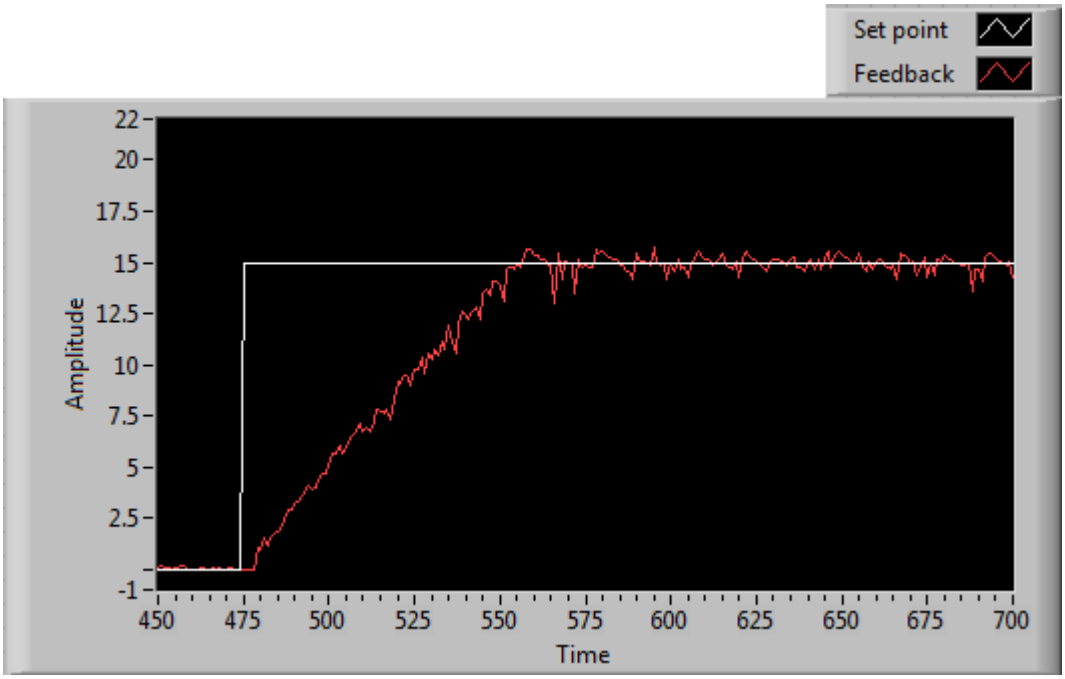


รูปที่ 4.9 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 เป็นผลการตอบสนองของระบบ การทำงานของตัวควบคุม-แบบพีไอดี จะเห็นได้ว่าระบบใช้อัตราขยาย Kp เพียงค่าเดียวจะทำให้ระบบมีผลตอบสนองดีที่สุด การปรับค่าด้วยวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) แบบวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle-Method) และแบบการตอบสนองของกระบวนการ (Process Reaction Method) ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราขยาย Kp มากขึ้นแล้วระบบไม่เกิดการแกว่ง (Oscillate) และ ค่า L = 0

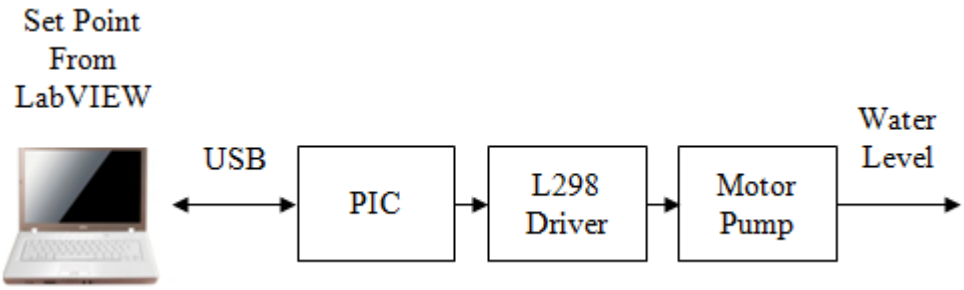


รูปที่ 4.10 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี (Kp = 80)



รูปที่ 4.11 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 1 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี (Kp = 10,000)

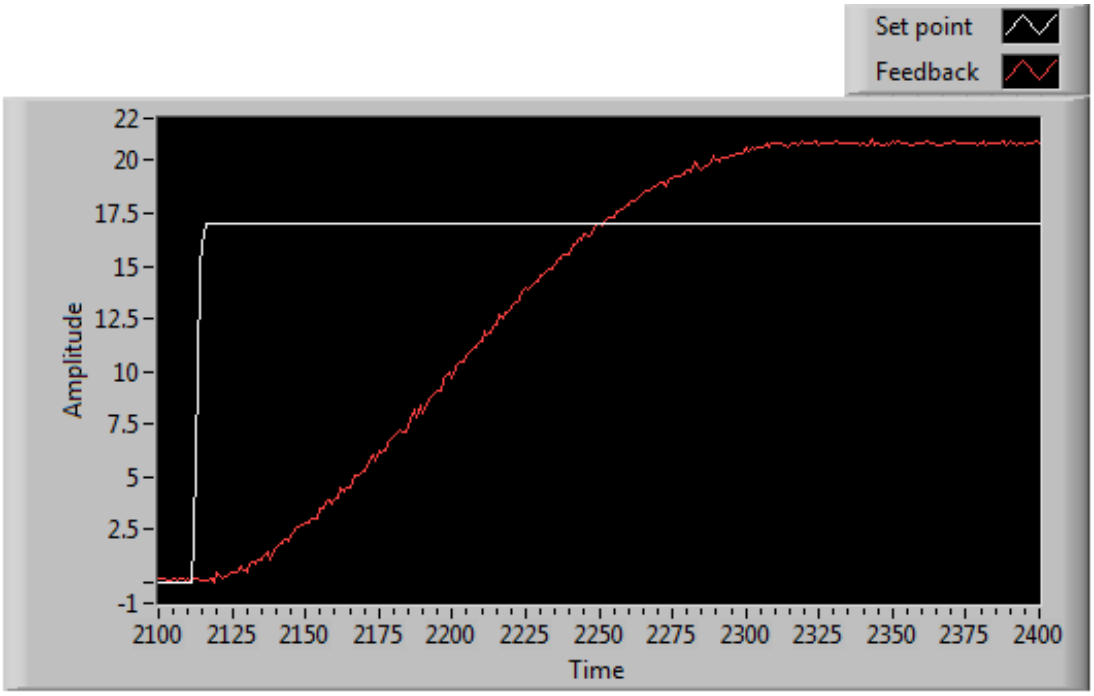
4.6 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 2 ถัง แบบลูปเปิด



รูปที่ 4.12 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปเปิด

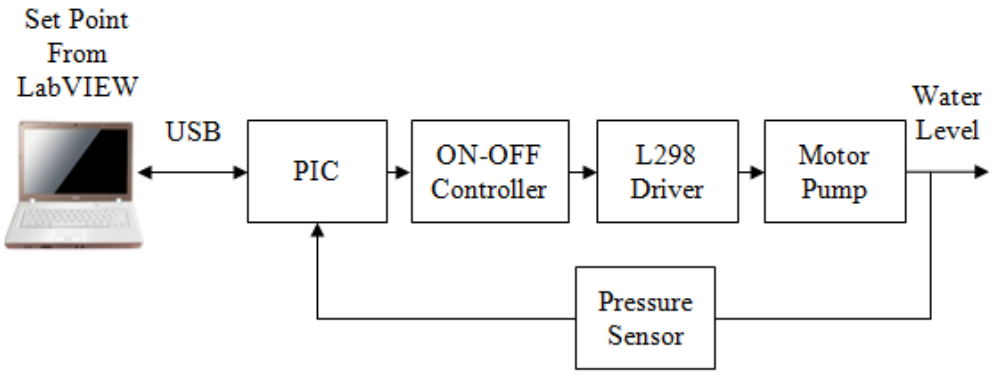
จากรูปที่ 4.13 เป็นผลการตอบสนองของระบบแบบลูปเปิด จะเห็นได้ว่าไม่สามารถควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามจุดกำหนดได้เนื่องจากไม่มีสัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์

ค่าจุดกำหนด = 17 แสดงด้วยเส้นสีขาว สัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์แสดงด้วยเส้นสีแดง จากกราฟสามารถหาค่าตัวแปรของวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ได้ดังนี้ P = 17, M = 21 , T = 12, R = 1.75, L = 2



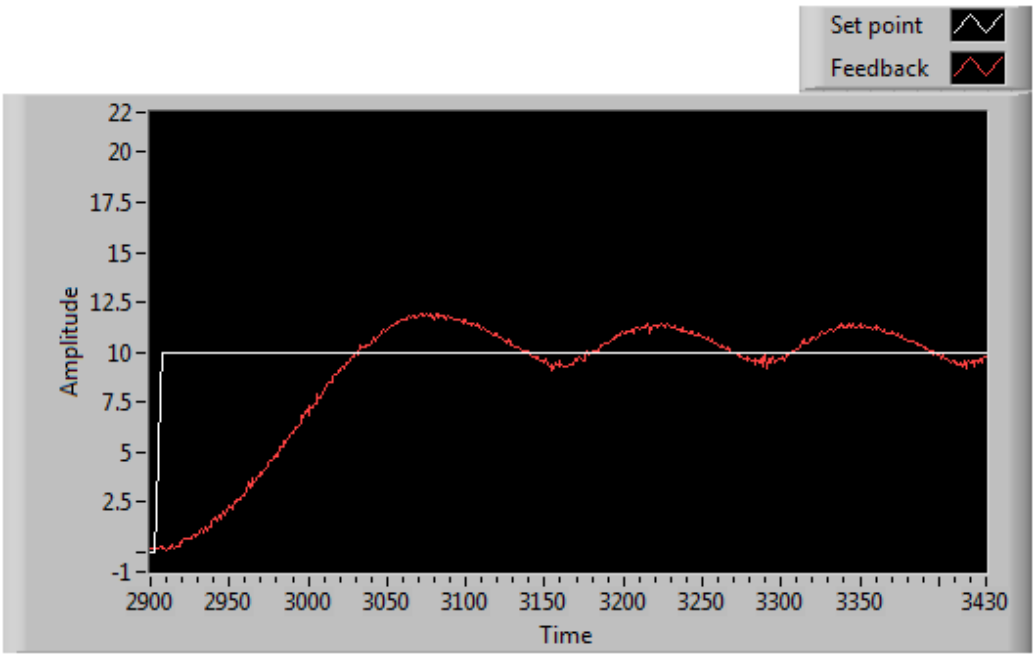
รูปที่ 4.13 แสดงผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปเปิด

4.7 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด



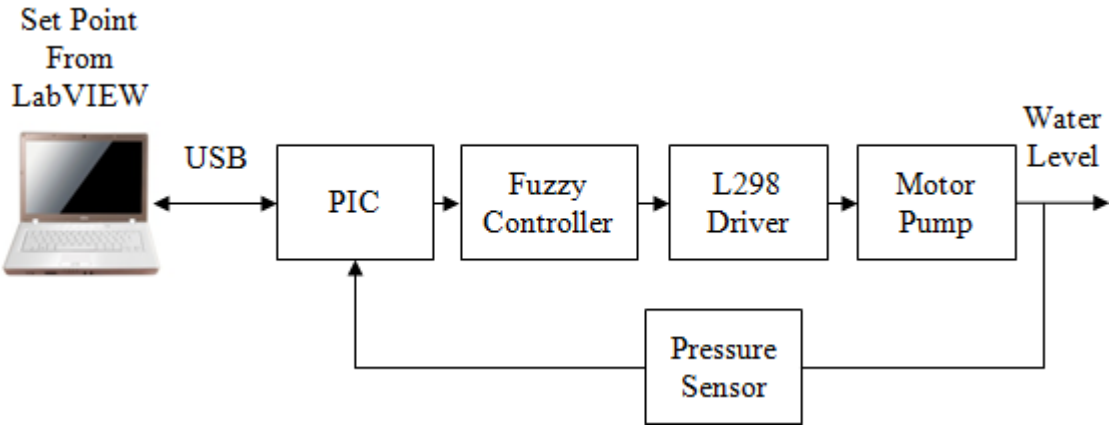
รูปที่ 4.14 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบเปิด-ปิด

จากรูปที่ 4.15 เป็นผลการตอบสนองของระบบ การทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิดจะทำให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเต็มที่เมื่อระดับน้ำยังไม่ถึงค่าจุดกำหนด และมอเตอร์จะหยุดการทำงานทันทีเมื่อถึงค่าจุดกำหนดแล้ว แต่การควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถังจะ เกิดการพุ่งเกินจากการถ่ายเทน้ำจากถังที่ 1 ไปถังที่ 2 ครั้งแรก จากกราฟจะเห็นได้ว่าเกิดการหน่วงเวลาระหว่างการเปิด และปิดของมอเตอร์ทำให้เกิดการพุ่งเกินเป็นคาบเวลาที่แน่นอนหรือเรียกว่าการเกิดฮีสเตอรีซีส



รูปที่ 4.15 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบเปิด-ปิด

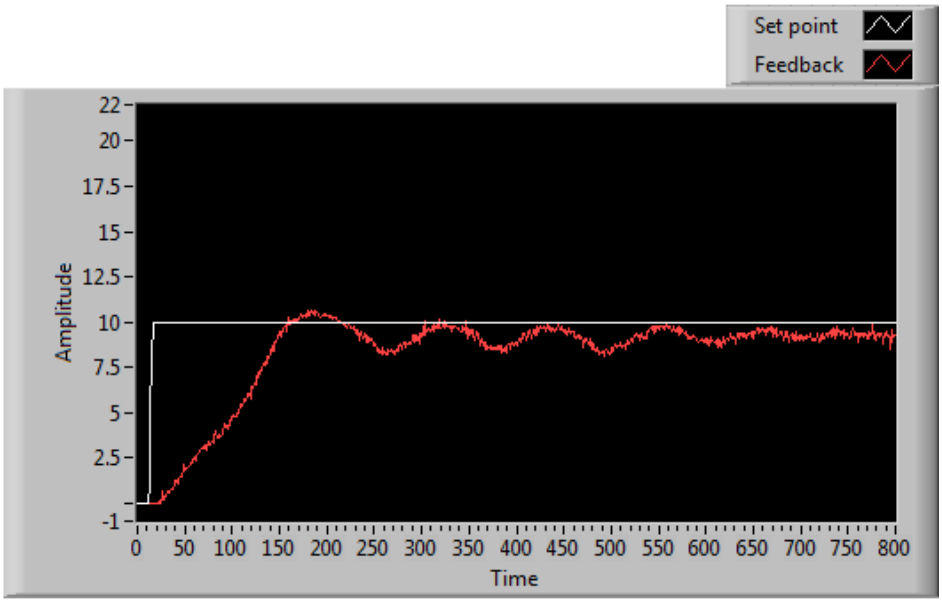
4.8 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวคบคุมแบบฟัซซี



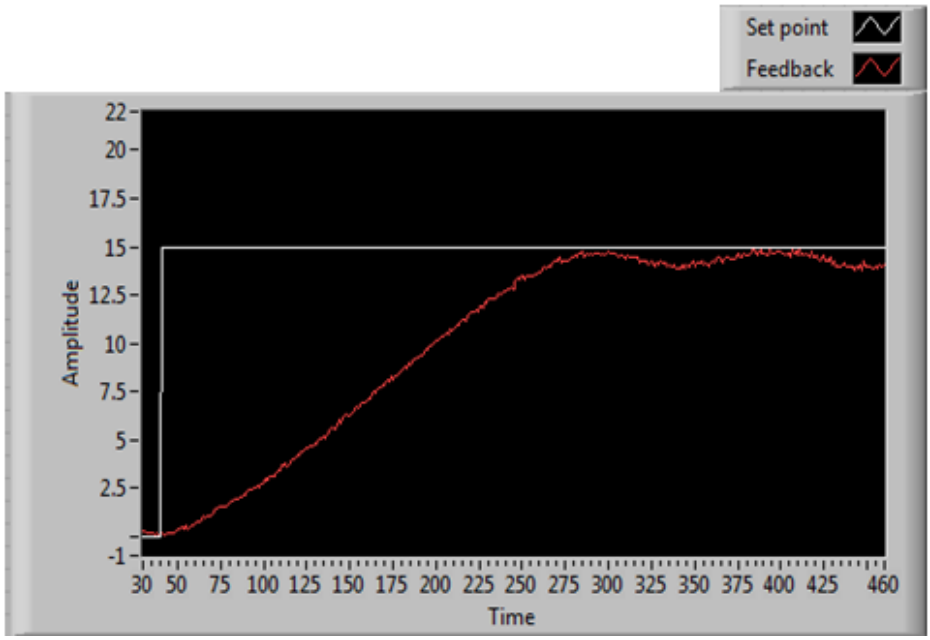
รูปที่ 4.16 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบฟัซซี

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นผลการตอบสนองของระบบ การทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีจะทำให้มอเตอร์ปั๊มทำงานเต็มที่เมื่อระดับน้ำยังไม่ถึงค่าจุดกำหนดและจะหรี่ลงเรื่อยๆเมื่อระดับน้ำใกล้ถึงค่าจุดกำหนด การควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถังจะทำให้เกิดการพุ่งเกินจากการถ่ายเทน้ำจากถังที่ 1 ไปถังที่ 2 ทั้งนี้ระดับการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับฐานกฎและจำนวนสมาชิกที่ตั้งไว้

ในที่นี้ใช้จำนวนสมาชิก 3 และ 5 ตัว ซึ่งจำนวนสมาชิกแบบ 5 ตัวจะสามารถปรับความละเอียดของสัญญาณเอาต์พุตได้มากกว่าแบบจำนวนสมาชิก 3 ตัว

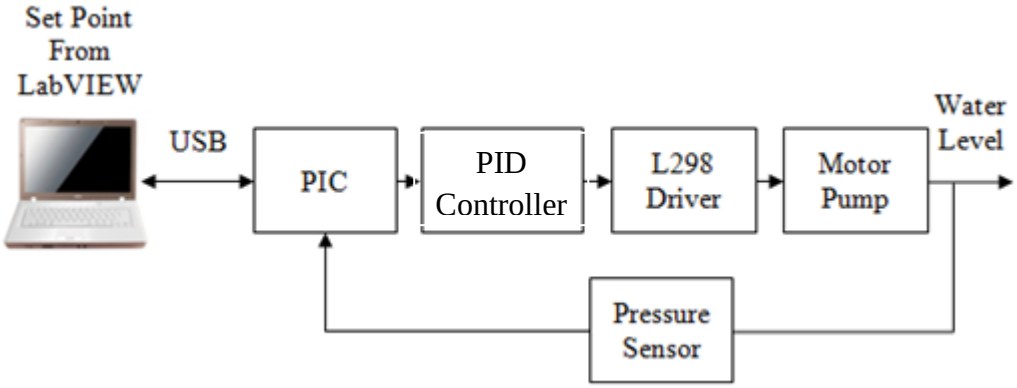


รูปที่ 4.17 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบฟัซซี (จำนวนสมาชิก 3 ตัว)



รูปที่ 4.18 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบฟัซซี (จำนวนสมาชิก 5 ตัว)

4.9 การทดลองการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

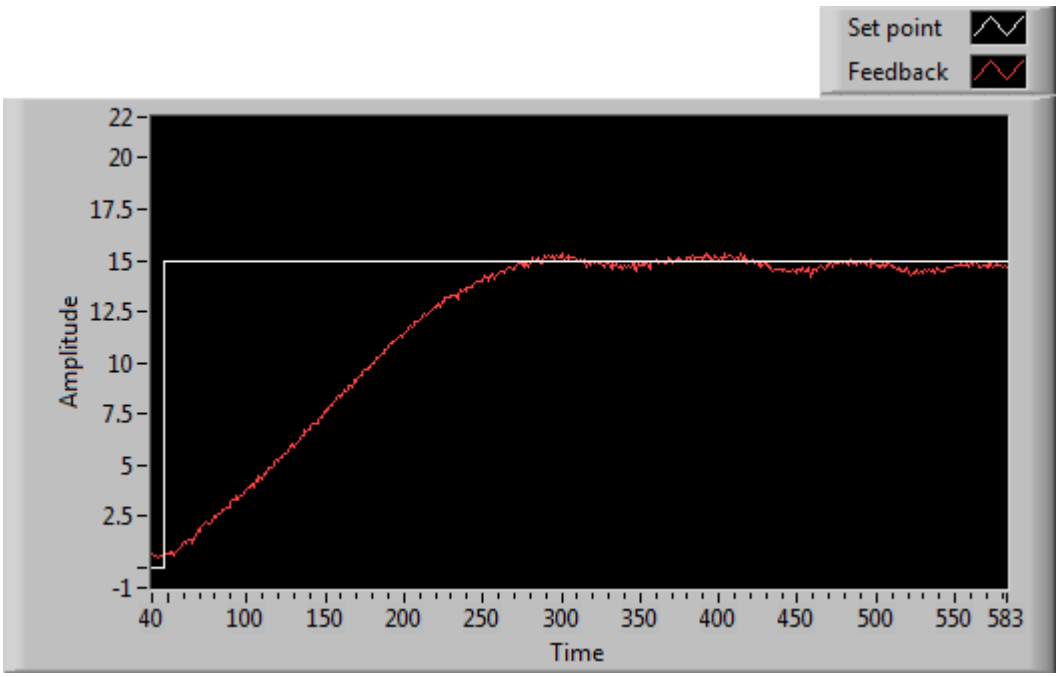


รูปที่ 4.19 แผนภาพบล็อกของการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี

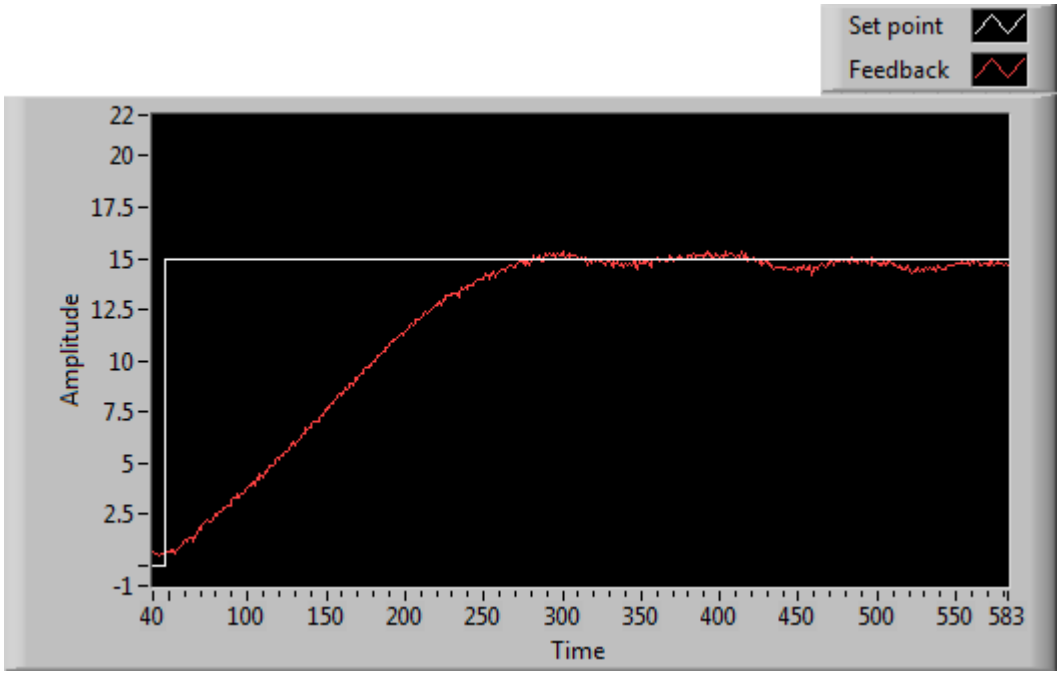
จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นผลการตอบสนองของระบบ การทำงานของตัวควบคุมแบบพีไอดี จะเห็นได้ว่าระบบใช้อัตราขยาย Kp เพียงค่าเดียวจะทำให้ระบบมีผลตอบสนองดีที่สุด การปรับค่าด้วยวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์แบบวัฏจักรท้ายสุด ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่า Kp มากขึ้นแล้วระบบไม่เกิดการแกว่ง แต่แบบการตอบสนองของกระบวนการ สามารถทำได้ ซึ่งได้ค่าตัวแปรต่างๆดังนี้ P = 17, M = 21 , T = 12, R = 1.75, L = 2 นำค่าที่ได้แทนลง ในตารางที่ 2.3 จะได้ ค่าดังตารางที่ 4.1 และจะได้ผลการตอบสนองของระบบดังรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการตอบสนองของระบบจะช้ากว่าแบบใช้อัตราขยาย Kp เพียงตัวเดียว นอกจากนั้น ยังเกิดการพุ่งเกินขึ้น และระบบไม่เข้าสู่ค่าจุดกำหนด จึงสรุปได้ว่าใช้อัตราขยาย Kp เพียงค่าเดียวจะทำให้ระบบตอบสนองได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงการหาค่าอัตราขยายต่างๆโดยใช้วิธี ซีเกลอร์-นิโคลส์แบบปฏิกิริยาของกระบวนการ

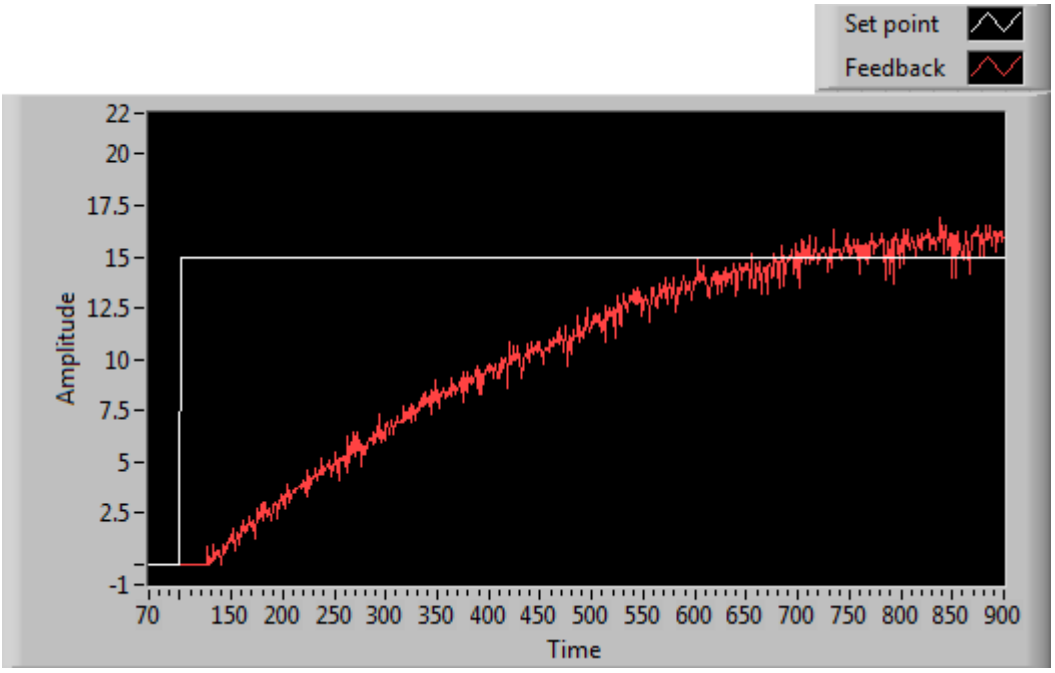
วิธีซีเกลอร์-นิโคลส์แบบปฏิกิริยาของกระบวนการ			
ชนิดของตัวควบคุม	Kp	Ki	Kd
พี	4.85	-	-
พีไอ	4.37	0.15	-
พีไอดี	5.83	0.25	1



รูปที่ 4.20 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี (Kp = 80)



รูปที่ 4.21 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี (Kp = 10,000)



รูปที่ 4.22 ผลการตอบสนองของระบบการควบคุมระดับน้ำ 2 ถังแบบลูปปิดโดยใช้ตัวควบคุม-แบบพีไอดี (Kp = 5.83 , Ki = 0.25, Kd = 1)

4.10 เปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบด้วยการใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ

4.10.1 การควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของเวลา (Time Response)

		ชนิดของตัวควบคุม			
		เปิด-ปิด	พีไอดี	ฟัซซี	
				3 สมาชิก	5 สมาชิก
Time Response	Tr (วินาที)	3.7	6.25	4.65	4
	Ts (วินาที)	6.9	9	4.7	4.6
	Tp (วินาที)	5.3	8.5	6.5	4.4
	Mp (%)	6.67	6	0	0

4.10.2 การควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของเวลา

		ชนิดของตัวควบคุม			
		เปิด-ปิด	พีไอดี	ฟัซซี	
				3 สมาชิก	5 สมาชิก
Time Response	Tr (วินาที)	8.5	16	11	21
	Ts (วินาที)	25	49	65	30
	Tp (วินาที)	17.5	25	17	15
	Mp (%)	20	0.5	2	0.3

4.11 การวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิต

ผู้จัดทำได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิตที่สร้างขึ้น โดยการรวบรวมแบบสอบถามและใบประเมิน จากผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินและตรวจสอบชุดสาธิต แล้วหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้านคุณภาพชุดสาธิตของระดับความคิดเห็น โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.11.1 หาค่าเฉลี่ย (Mean) ของคะแนนจากสูตร

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (4.1)$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ยของคะแนน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดที่ผู้เชี่ยวชาญประเมิน

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

4.11.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2}{N\left(N - 1\right)}} \qquad (4.2)$$

เมื่อ $S.D.$ แทน ความแปรปรวนของเครื่องมือวัดฉบับนั้น

X แทน ผลคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญประเมิน

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

การวิเคราะห์คุณภาพของชุดสาธิต ผู้ประเมินเป็นอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ คณะครุศาสตร์-อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ วิศวกรของมหาวิทยาลัย-เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวน 5 ท่าน ดังต่อไปนี้ 1. อาจารย์พรจิต ประทุมสุวรรณ 2. อาจารย์วัชรินทร์ โพธิ์เงิน 3. ผ.ศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ 4. นายณัฐพล จะสูงเนิน 5. อาจารย์อาคม ลักษณะสกุล ซึ่งเป็นค่าที่วิเคราะห์ได้จากการประเมินคุณภาพ จำนวน 2 ด้าน คือ 1. ด้าน-ประสิทธิภาพการจัดการสอนแบบสาธิต 2. ด้านการออกแบบชุดสาธิต ที่กำหนดไว้ ซึ่งปรากฏผลการวิเคราะห์คะแนน แบบประเมินคุณภาพดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อแบบประเมินคุณภาพชุดสาธิต

คำถาม	ผู้เชี่ยวชาญ					$\sum X$	$\overline{X}$	$S.D.$
	คนที่1	คนที่2	คนที่3	คนที่4	คนที่5			
ก. ด้านประสิทธิภาพการจัดการสอนแบบสาธิต								
1	4	4	4	5	5	22	4.4	0.55
2	3	4	4	4	3	18	3.6	0.55
3	4	3	4	4	4	19	3.8	0.45
4	5	5	4	5	4	23	4.6	0.55
5	5	4	4	5	4	22	4.4	0.55
6	5	4	4	4	4	21	4.2	0.45
7	4	4	4	4	3	19	3.8	0.45
รวม	30	28	28	31	27	144	4.11	0.51
ข. ด้านการออกแบบชุดสาธิต								
1	3	3	4	4	4	18	3.6	0.55
2	3	4	4	3	4	18	3.6	0.55
3	3	3	4	4	3	17	3.4	0.55
4	3	4	4	4	4	19	3.8	0.45
5	3	4	4	4	3	18	3.6	0.55
6	3	4	4	4	4	19	3.8	0.45
7	3	4	4	3	3	17	3.4	0.55
รวม	21	26	28	26	25	126	3.6	0.52

ตารางที่ 4.5 สรุปคุณภาพของชุดสาธิต

รายการประเมินชุดการสอน	ผลเฉลี่ย	แปลความ
ก. ด้านประสิทธิภาพการจัดการสอนแบบสาธิต		
1.1 ความเหมาะสมกับระดับการเรียน	4.4	ระดับดี
1.2 ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์การสอน	3.6	ระดับดี
1.3 ความสะดวกในดำเนินการสอน	3.8	ระดับดี
1.4 ชุดประลองให้เกิดแรงจูงใจในกานเรียน	4.6	ระดับดีมาก
1.5 ชุดประลองให้เกิดประสบการณ์ในการเรียนรู้	4.4	ระดับดี
1.6 ชุดประลองให้เกิดแรงจูงใจในการค้นคว้า	4.2	ระดับดี
1.7 คุณค่าทางวิชาการที่ได้รับจากการใช้ชุดประลอง	3.8	ระดับดี
ข. ด้านการออกแบบชุดประลอง		
1.1 ชุดประลองมีขนาดเหมาะสม	3.6	ระดับดี
1.2 ความปลอดภัยในการใช้ขณะทำการประลอง	3.6	ระดับดี
1.3 ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆบนชุดประลอง	3.4	ระดับปานกลาง
1.4 ความแข็งแรงของชุดประลอง	3.8	ระดับดี
1.5 ความสะดวกในการติดตั้งและถอดเก็บเมื่อเสร็จการประลอง	3.6	ระดับดี
1.6 ความสะดวกในการบำรุงรักษา	3.8	ระดับดี
1.7 วัสดุที่ใช้ในการผลิตชุดประลองที่มีความเหมาะสม	3.4	ระดับปานกลาง
เฉลี่ยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	3.54	ระดับดี

จากคะแนนเมื่อนำมาเฉลี่ย สรุปได้ว่าชุดสาธิตมีคุณภาพอยู่ใน ระดับปานกลาง

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อด้านประสิทธิภาพการจัดการสอนแบบสาธิตมีความคิดเห็นสอดคล้องกันอยู่ในระดับปานกลาง

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อด้านด้านการออกแบบชุดสาธิตมีความคิดเห็นสอดคล้องกันอยู่ในระดับปานกลาง