

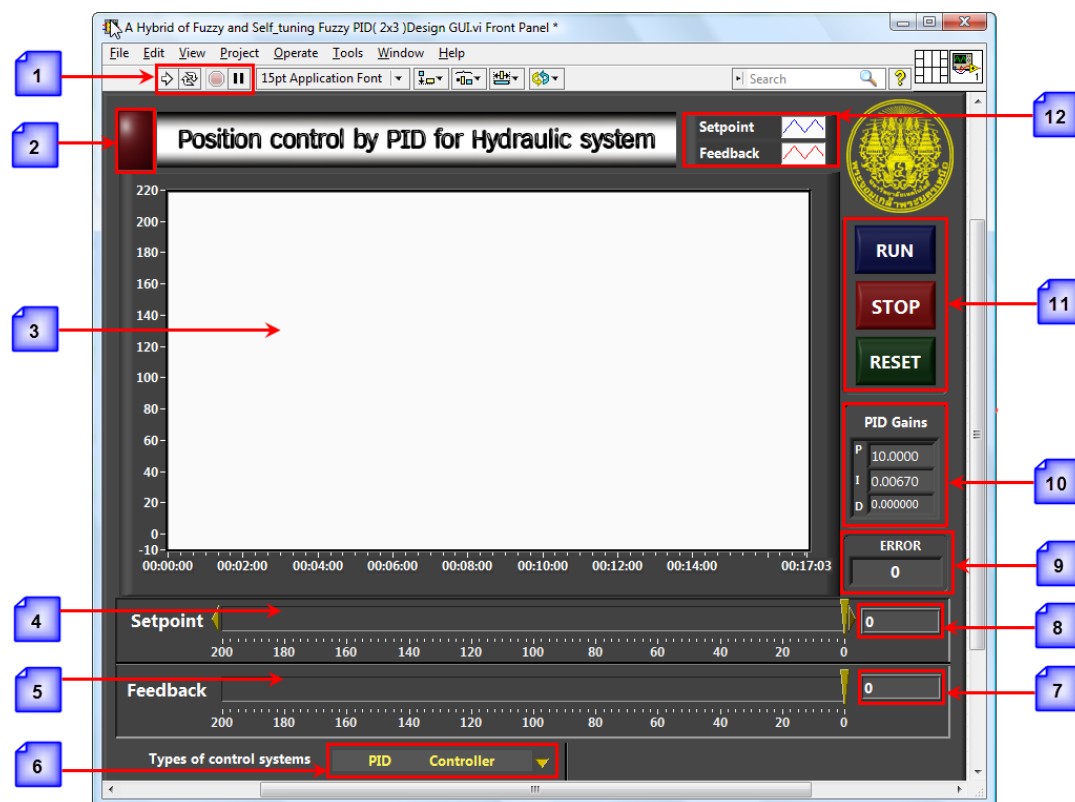
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและทดลอง

ในการดำเนินงานของโครงการควบคุมตำแหน่งลูกสูบในระบบไฮดรอลิกด้วยตัวควบคุม 5 ตัวควบคุมได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอดี, พีซซี, ไฮบริดพีซซีพีไอดี, พีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซซี และ ไฮบริดแบบพีซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซซี และได้มีการทดลองโดยระบุตำแหน่งต่าง ๆ ที่จุดกำหนด (Set-Point) และบันทึกผลการทดลองและหาค่าความแม่นยำในการเข้าสู่ตำแหน่งต่าง ๆ

4.1 หน้าต่างของโปรแกรมควบคุมทั้ง 5 ระบบ

โปรแกรมหลักในการควบคุมชุดควบคุมตำแหน่งลูกสูบในระบบไฮดรอลิกโดยใช้PID หน้าจอหลักจะเป็นโปรแกรมที่มีไว้สำหรับผู้ควบคุมสามารถใช้งานและทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของตำแหน่งลูกสูบในระบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 หน้าต่างของโปรแกรมควบคุมทั้ง 5 ระบบ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรมควบคุม มีดังนี้

หมายเลข 1 คือ ปุ่มRun เพื่อ เริ่มหรือหยุดการทำงานของโปรแกรม

หมายเลข 2 คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของโปรแกรม

หมายเลข 3 คือ กราฟแสดงผล ระหว่างจุดกำหนด (Set Point) และค่าป้อนกลับ (Feed Back)

หมายเลข 4 คือ สไลด์ควบคุมตำแหน่งของกระบอกสูบ

หมายเลข 5 คือ สไลด์แสดงตำแหน่งของค่าป้อนกลับ

หมายเลข 6 คือ Channel เลือกรูปแบบของระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบ

หมายเลข 7 คือ ช่องแสดงตำแหน่งของกระบอกสูบในรูปของตัวเลข

หมายเลข 8 คือ การกำหนดระยะทาง (Set point) ที่สามารถพิมพ์ค่าตัวเลขเพื่อระบุตำแหน่งที่ต้องการจากแป้นพิมพ์ (Keyboard) ได้เลย และมีการกำหนดระยะทางที่สามารถใช้เมาส์ลากไปยังตำแหน่งหรือระยะทางที่ต้องการได้

หมายเลข 9 คือ การแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(Error) ที่ได้จากการคำนวณ

หมายเลข 10 คือ ปุ่มปรับกำหนดค่า Proportional (Kp) Integral (Ti) Derivative (Td) เพื่อให้ระบบมีความเสถียรกับระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเลือกรูปแบบระบบควบคุม

หมายเลข 11 คือ ปุ่มควบคุมการหยุด(Stop) และการกำหนดใหม่ (Reset) ของโปรแกรม

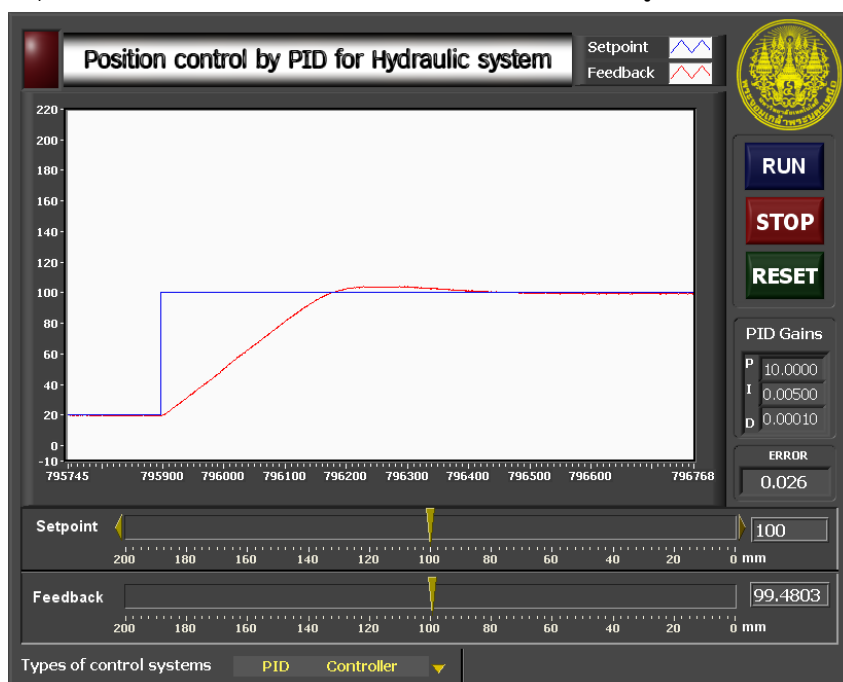
หมายเลข 12 คือ แสดงชื่อของเส้นกราฟและสำหรับปรับค่าสีของเส้นกราฟ

4.2 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมพีไอดี จำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar

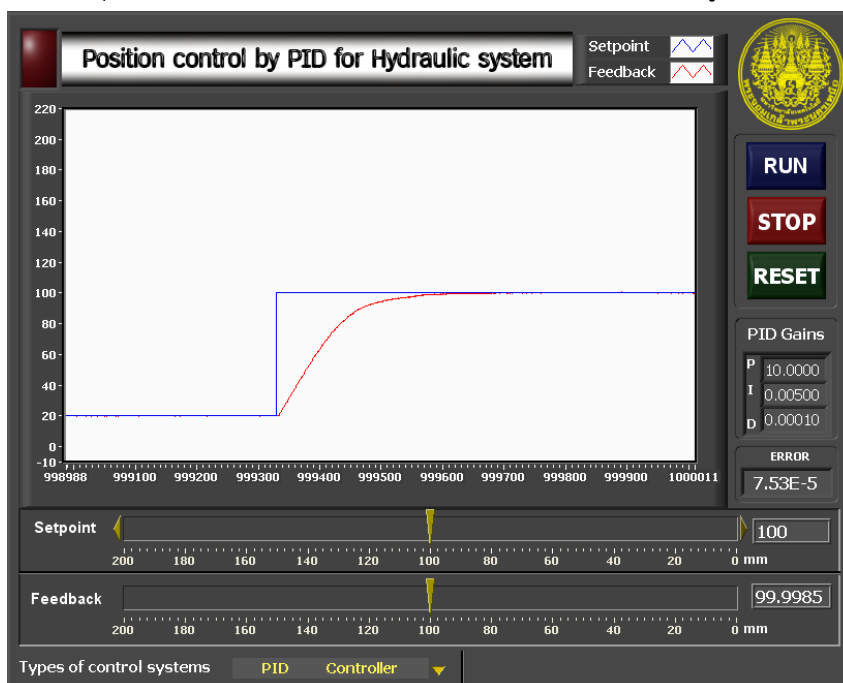
ลำดับการทดลอง	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง						
		ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน			ค่าความผิดพลาด(Error) ที่ความดัน		
			10 Bar	30 Bar	50 Bar	10 Bar	30 Bar	50 Bar
1	0-50	50	49.622	50.082	49.957	0.019	-0.004	0.002
2	50-0	0	-0.162	-0.044	0.086	0.008	0.002	-0.004
3	0-100	100	99.697	99.946	99.932	0.015	0.003	0.003
4	100-0	0	-0.143	-0.004	0.250	0.007	0.002	-0.012
5	0-150	150	149.082	149.836	150.308	0.046	0.008	-0.015
6	150-0	0	-0.129	-0.103	-0.234	0.006	0.005	0.011
7	0-200	200	199.792	199.91	199.949	0.010	0.004	0.002
8	200-0	0	-0.090	-0.083	0.113	0.005	0.004	-0.005

ทดลองควบคุมที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



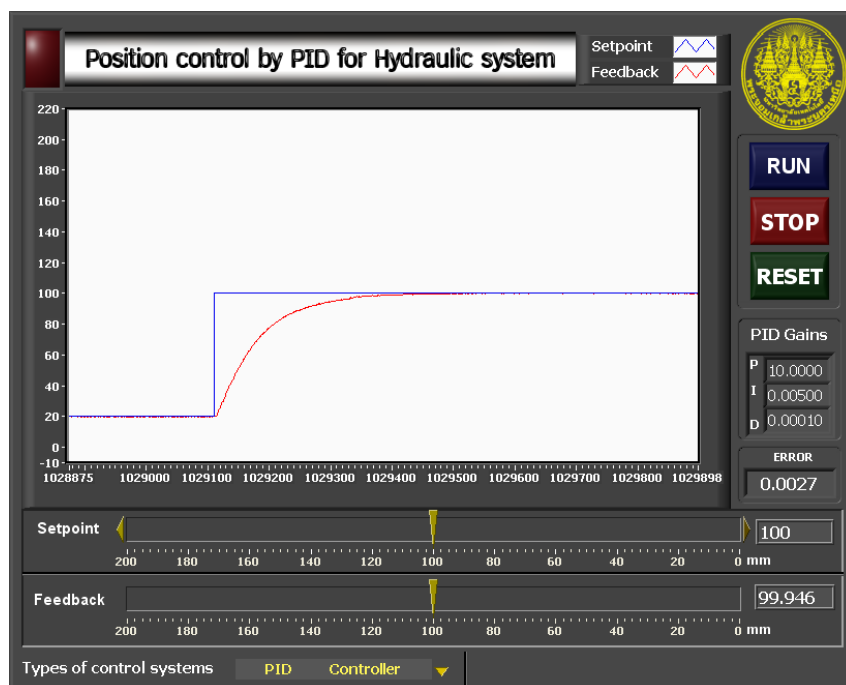
ภาพที่ 4.2 การควบคุมแบบพีไอดีที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

ทดลองควบคุมที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

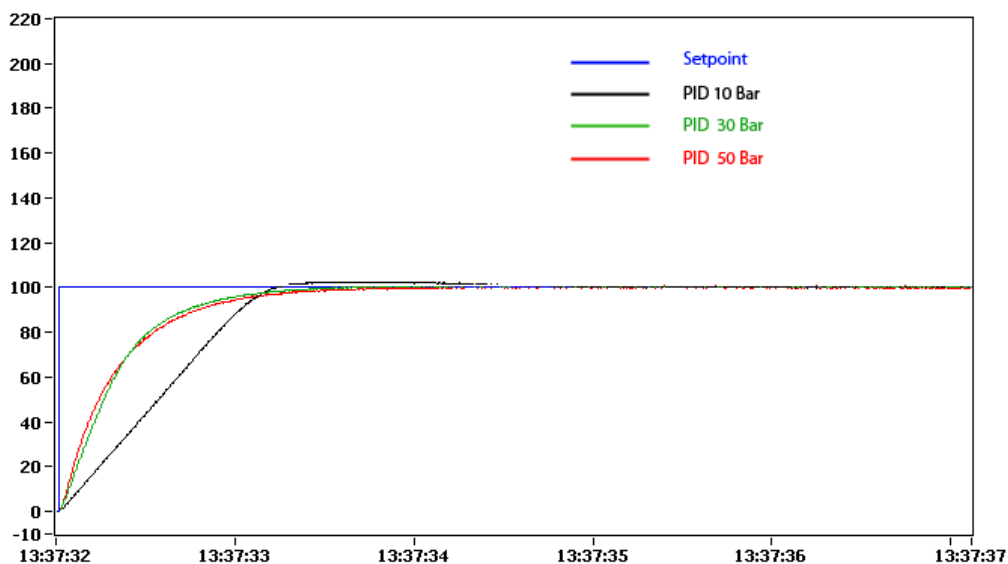


ภาพที่ 4.3 การควบคุมแบบพีไอดีที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

ทดลองควบคุมที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



ภาพที่ 4.4 การควบคุมแบบพีไอดี ที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบพีไอดี เมื่อเปลี่ยนความดัน 10 bar ,30 bar และ 50 bar จากการทดลองการควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบด้วยการควบคุมแบบพีไอดีโดยกำหนดค่าเกน (Gain) คงที่ ค่าเกน $(K_p) = 10$, ค่าเกน $(K_i) = 0.005$ และค่าเกน $(K_d) = 0.0001$ เมื่อระบบมีการ

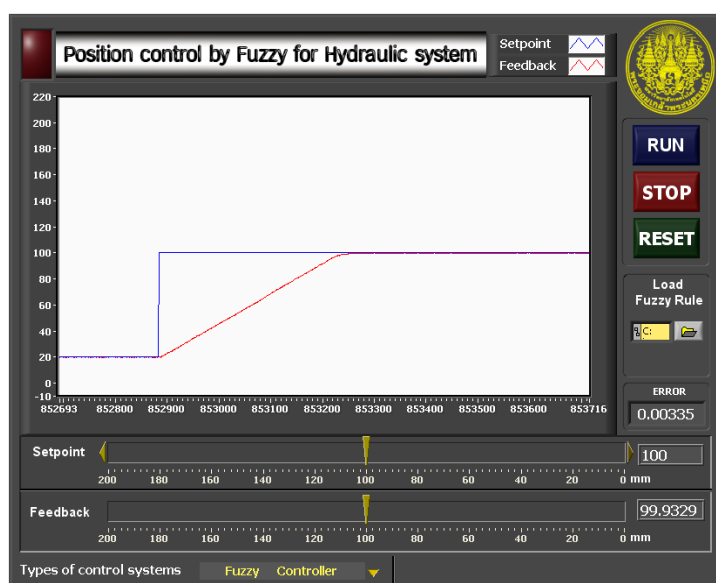
เปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือความดัน จะเปรียบเสมือนมีโหลดมากระทำ ทำให้ระบบมีค่าพุ่งเกิน(Overshoot)เพิ่มขึ้นสังเกตจากรูปผลการทดลองที่4.2 ทำให้ส่งผลเสียต่อระบบ จึงต้องมีการปรับจูนค่าเกนอยู่เสมอ

4.3 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบฟัซซี่

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมฟัซซี่ จำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar

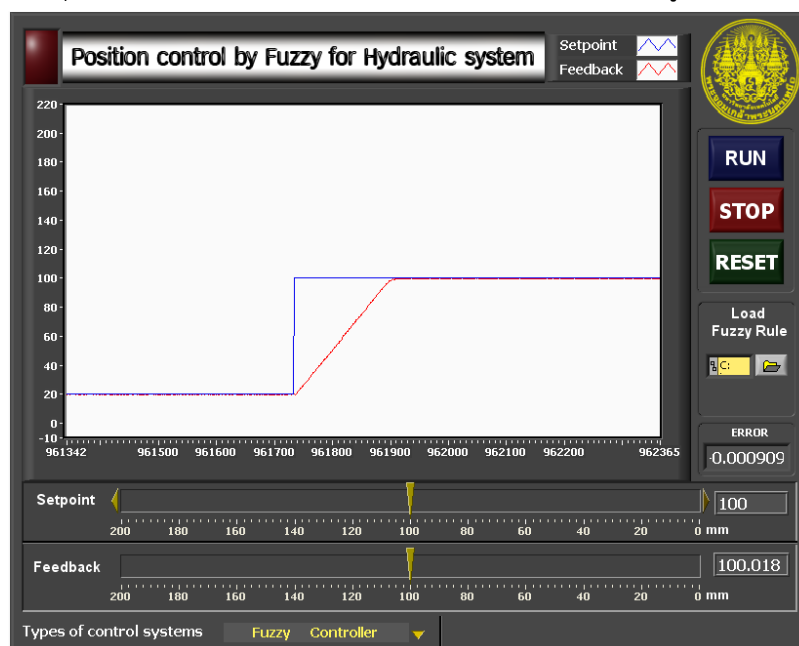
ลำดับการทดลอง	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง						
		ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน			ค่าความผิดพลาด(Error) ที่ความดัน		
			10 Bar	30 Bar	50 Bar	10 Bar	30 Bar	50 Bar
1	0-50	50	50.272	49.895	49.964	-0.014	0.007	0.002
2	50-0	0	-0.050	-0.109	-0.149	0.003	0.005	0.007
3	0-100	100	99.874	99.959	99.919	0.006	0.002	0.004
4	100-0	0	0.113	0.093	-0.109	-0.006	-0.004	0.005
5	0-150	150	149.95	149.984	149.895	0.002	0.002	0.005
6	150-0	0	0.047	-0.090	-0.044	-0.002	0.004	0.002
7	0-200	200	199.969	199.917	199.949	0.002	0.004	0.002
8	200-0	0	-0.018	-0.057	-0.024	0.001	0.002	0.001

ทดลองควบคุมที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



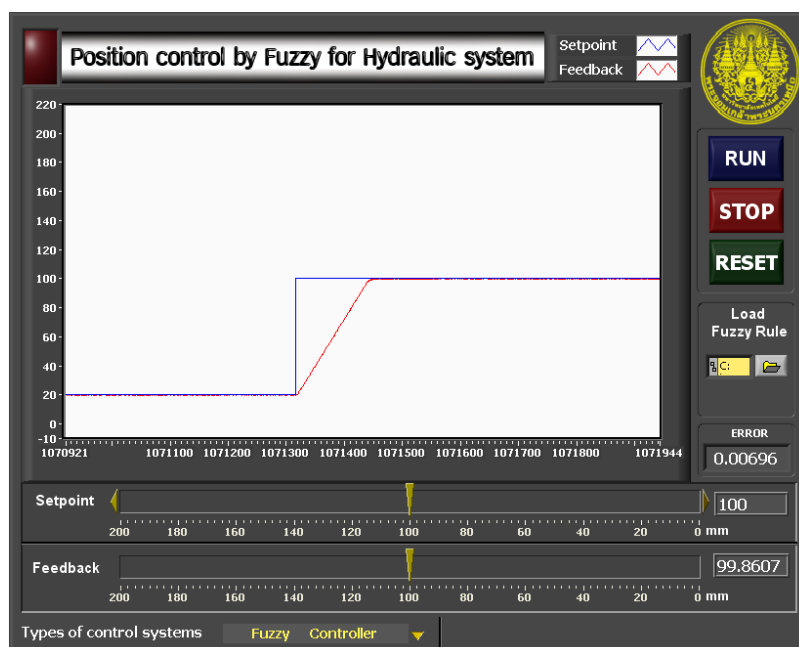
ภาพที่ 4.6 การควบคุมแบบฟัซซี่ ที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

ทดลองควบคุมที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

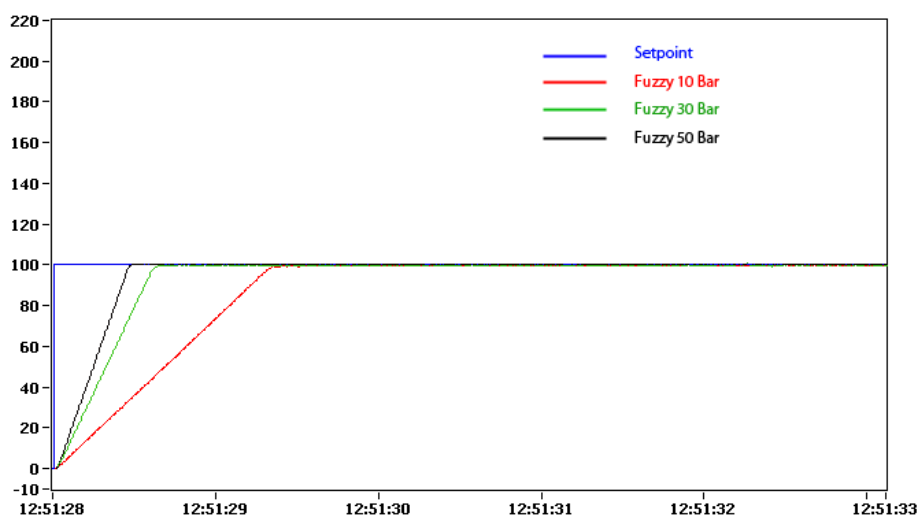


ภาพที่ 4.7 การควบคุมแบบฟัซซี่ ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก

ทดลองควบคุมที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



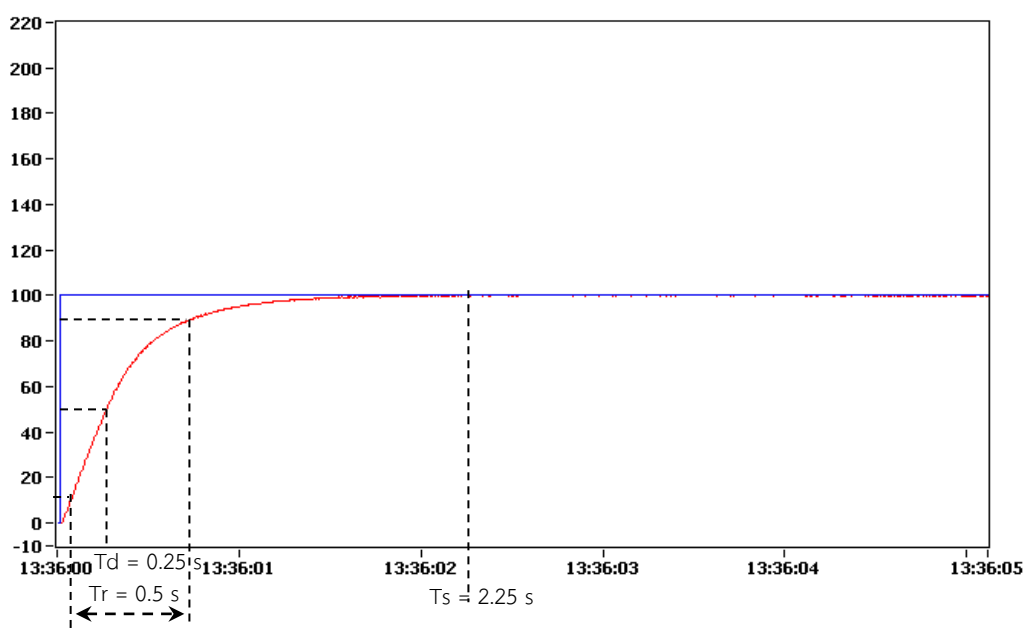
ภาพที่ 4.8 การควบคุมแบบฟัซซี่ ที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



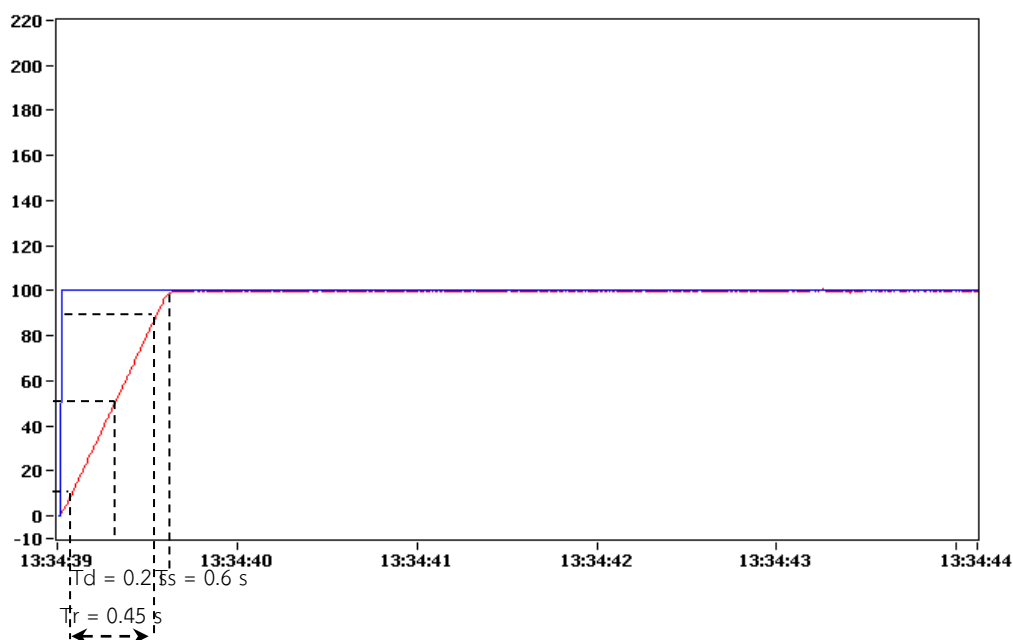
ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบฟัซซี่ เมื่อเปลี่ยนความดัน 10 bar ,30 bar และ 50 bar

จากการทดลองการควบคุมตำแหน่งกระบอกสูบด้วยการควบคุมแบบ Fuzzy จะสังเกตเห็นว่าเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงความดันเท่าไรก็ไม่ส่งผลเสียต่อระบบยังคงรักษาการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง (Set point) ได้เหมือนเดิมแต่ในช่วงเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงนั้นไม่สามารถควบคุมแรงดันให้กระบอกสูบค่อยๆ เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้เหมือนพีไอดี

เปรียบเทียบความเร็วในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง (Set point) ของการควบคุมแบบพีไอดี และ ฟัซซี่ ที่ความดัน 50 bar ระยะ 100 mm ดังนี้



ภาพที่ 4.10 การควบคุมแบบพีไอดี ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อนออก



ภาพที่ 4.11 การควบคุมแบบฟัซซี่ ที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 100mm ขณะกระบอกสูบเลื่อน
ออก

จากรูปการเปรียบเทียบระบบควบคุมแบบฟัซซี่ และ ฟัซซี่ โดยสังเกตจากกราฟแบบฟัซซี่ใช้ เวลา $T_s = 2.25$ s ถึงจะเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงและเวลาช่วงขาขึ้น $T_r = 0.5$ s แต่แบบฟัซซี่ ใช้ เวลา $T_s = 0.6$ s และ $T_r = 0.45$ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี่ ดังนั้น ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ จะเร็วกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี่ จากข้อดีของการควบคุมทั้งสองแบบจึงได้นำมารวมกัน เป็นการควบคุมแบบHybrid ซึ่งเมื่อกระบอกสูบเริ่มเคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจะทำการควบคุมแบบFuzzy และเมื่อเริ่มเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงให้ค่อยๆเข้าโดยจะให้การควบคุมแบบฟัซซี่

4.4 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบไฮบริดฟัซซี่ฟัซซี่

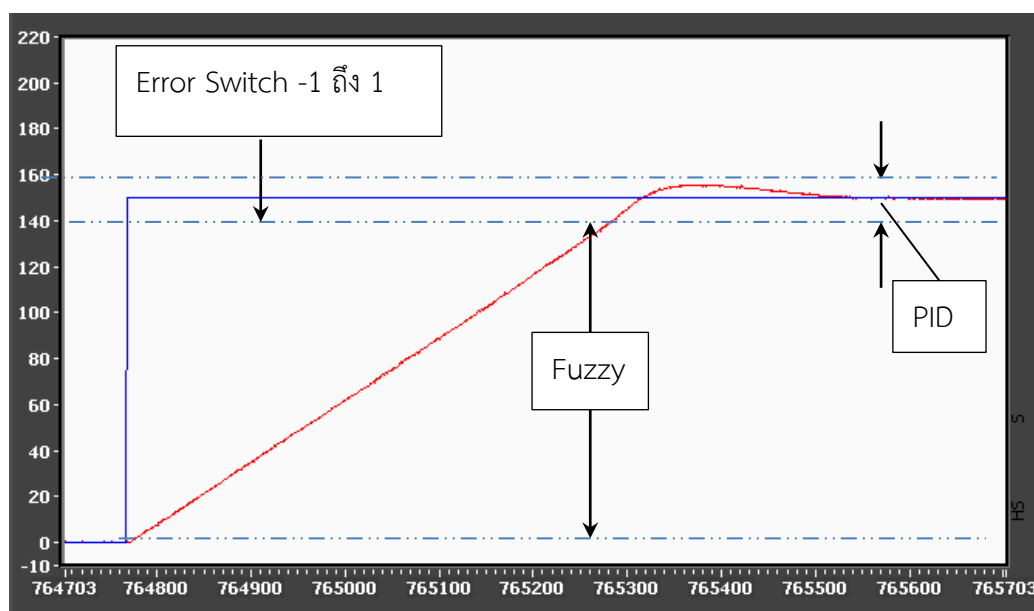
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดฟัซซี่ฟัซซี่ เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch

ลำดับการทดลอง	Error Switch	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง				
			ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน		ค่าความผิดพลาด (Error) ที่ความดัน	
				10 Bar	50 Bar	10 Bar	50 Bar
1	-0.1 ถึง 0.1	0-100	100	100.202	100.012	-0.010	-0.0006
2	-0.3 ถึง 0.3	0-100	100	100.156	100.064	-0.007	-0.0032
3	-0.5 ถึง 0.5	0-100	100	100.169	100.294	-0.008	-0.015
4	-0.7 ถึง 0.7	0-100	100	100.189	100.261	-0.009	-0.013
5	-1 ถึง 1	0-100	100	100.117	100.372	-0.005	-0.018
6	-2 ถึง 2	0-100	100	100.123	99.985	-0.006	0.0007

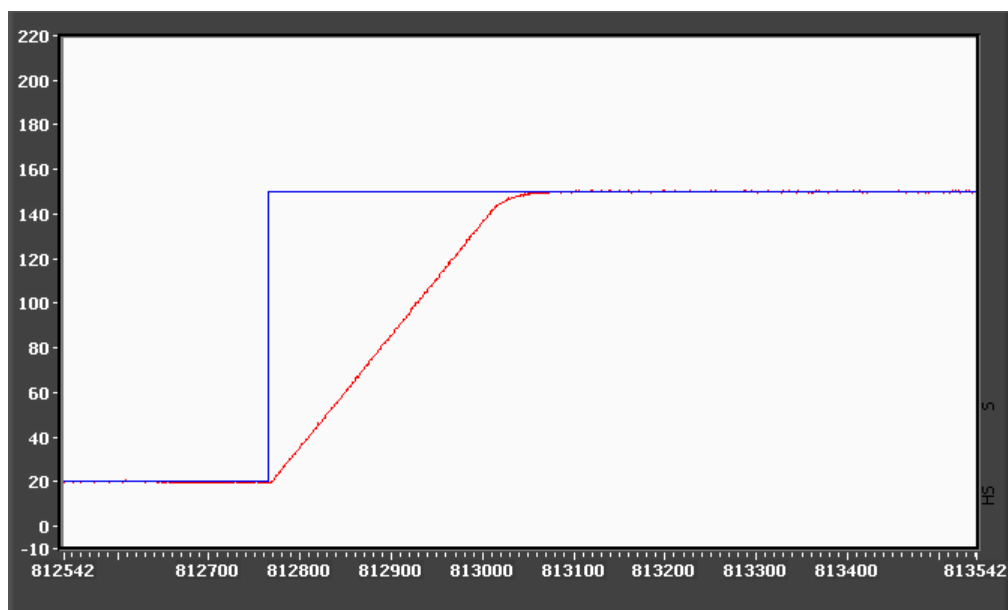
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดฟuzzyพีไอดี จำกัดความดันที่10 Bar,30Bar,50Bar

ลำดับการทดลอง	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง						
		ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน			ค่าความผิดพลาด(Error) ที่ความดัน		
			10 Bar	30 Bar	50 Bar	10 Bar	30 Bar	50 Bar
1	0-50	50	50.212	50.141	49.588	-0.011	-0.007	0.015
2	50-0	0	-0.122	-0.122	-0.326	0.006	0.006	0.016
3	0-100	100	99.889	99.854	99.952	0.001	0.007	0.002
4	100-0	0	-0.201	-0.201	-0.063	0.010	0.010	0.003
5	0-150	150	149.646	149.843	149.974	0.018	0.007	0.001
6	150-0	0	-0.149	-0.149	-0.018	0.007	0.007	0.001
7	0-200	200	199.772	199.93	199.759	0.011	0.003	0.012
8	200-0	0	-0.129	-0.083	-0.011	0.006	0.004	0.0006

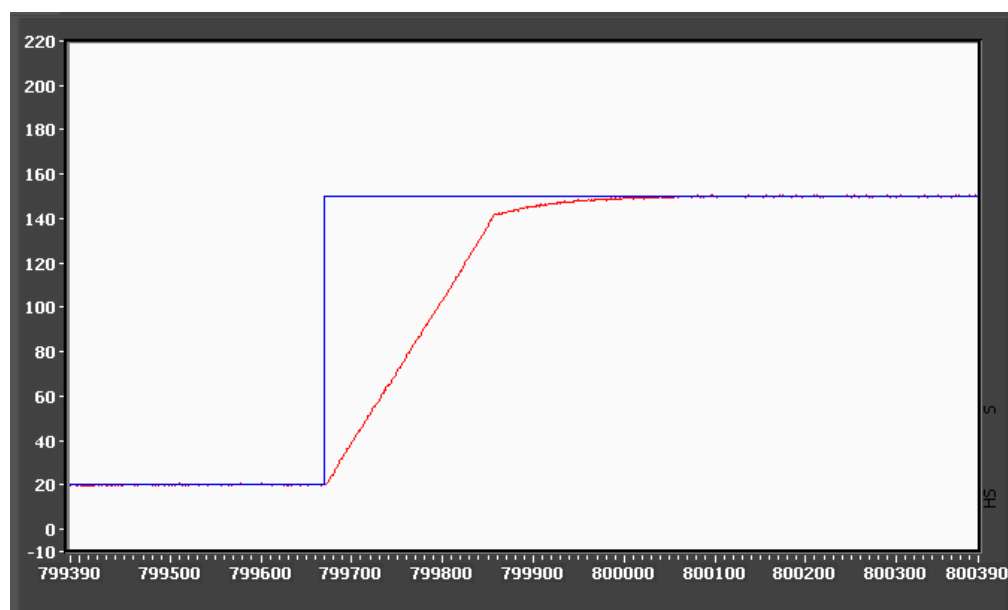
ทดลองกับระบบจริงโดยกำหนดค่าเกน(Gain)ของพีไอดีให้มีค่าคงที่ ได้ผลการทดลองดังนี้



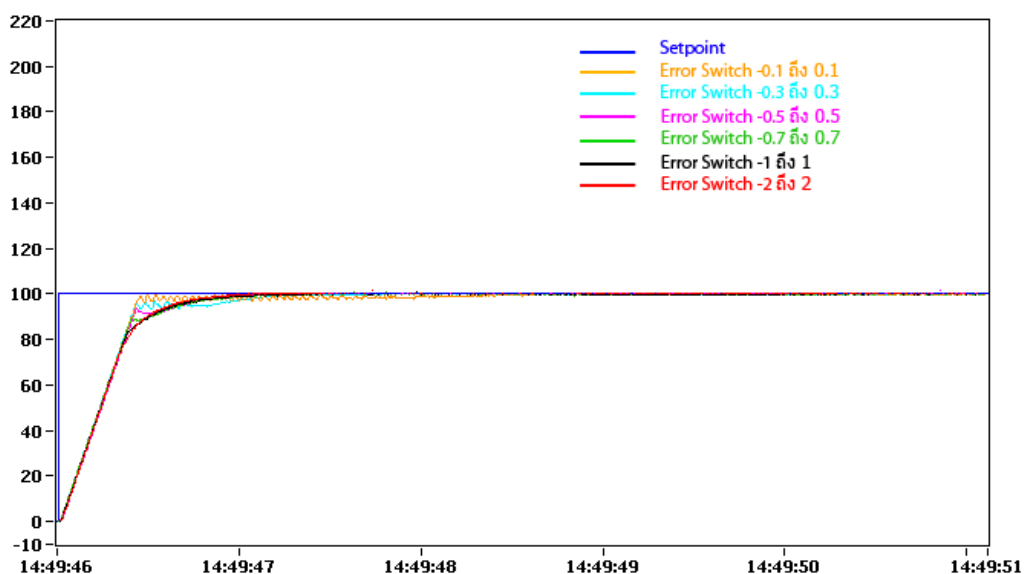
ภาพที่ 4.12 กระจกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 10 bar ตำแหน่ง 150 mm สำหรับระบบ ไฮบริดฟuzzyพีไอดี



ภาพที่ 4.13 กระบอกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 30 bar ตำแหน่ง 150 mm
สำหรับระบบ ไฮบริดฟิวซีฟเอ็ด



ภาพที่ 4.14 กระบอกสูบเคลื่อนออกที่ความดัน 50 bar ตำแหน่ง 150 mm
สำหรับระบบ ไฮบริดฟิวซีฟเอ็ด



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบระบบควบคุมไฮบริดพีซีพีไอดี ที่ความดัน 50 bar
เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch

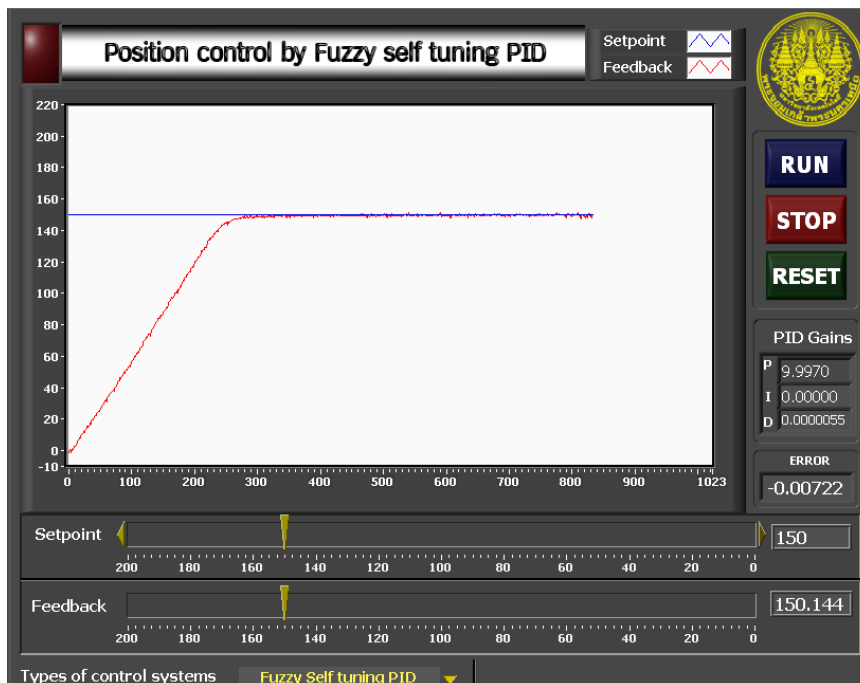
จากการทดลองสรุปได้ว่าระบบควบคุมแบบไฮบริดพีซีพีไอดี สามารถทำงานได้จริงและสามารถลดปัญหาเนื่องจากความล่าช้าขณะระบบเริ่มทำงานอันเนื่องมาจากPIDได้ แต่ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ การเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ทำให้ได้ระบบที่มีความสมบูรณ์เพียงค่าเกณฑ์ที่เราได้ตั้งไว้ ดังนั้นเพื่อเป็นการกำจัดข้อเสียตรงนี้จึงต้องศึกษา ระบบการควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี

4.5 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซี

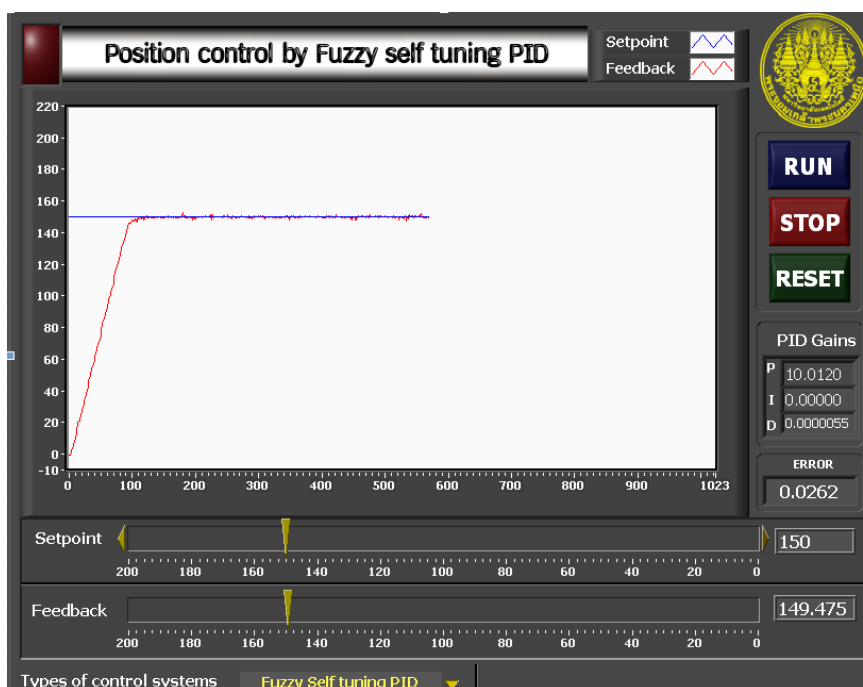
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมพีไอดีที่ปรับค่าด้วยพีซีจำกัดความดันที่10,30และ50Bar

ลำดับการทดลอง	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง						
		ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน			ค่าความผิดพลาด(Error) ที่ความดัน		
			10 Bar	30 Bar	50 Bar	10 Bar	30 Bar	50 Bar
1	0-50	50	49.642	49.793	49.741	0.018	0.010	0.013
2	50-0	0	0.080	-0.103	-0.280	-0.004	0.005	0.014
3	0-100	100	99.513	99.657	99.860	0.024	0.017	0.006
4	100-0	0	0.034	0.283	-0.090	-0.001	-0.014	0.004
5	0-150	150	149.534	149.777	149.882	0.023	0.011	0.005
6	150-0	0	0.198	-0.031	-0.267	-0.009	0.001	0.013

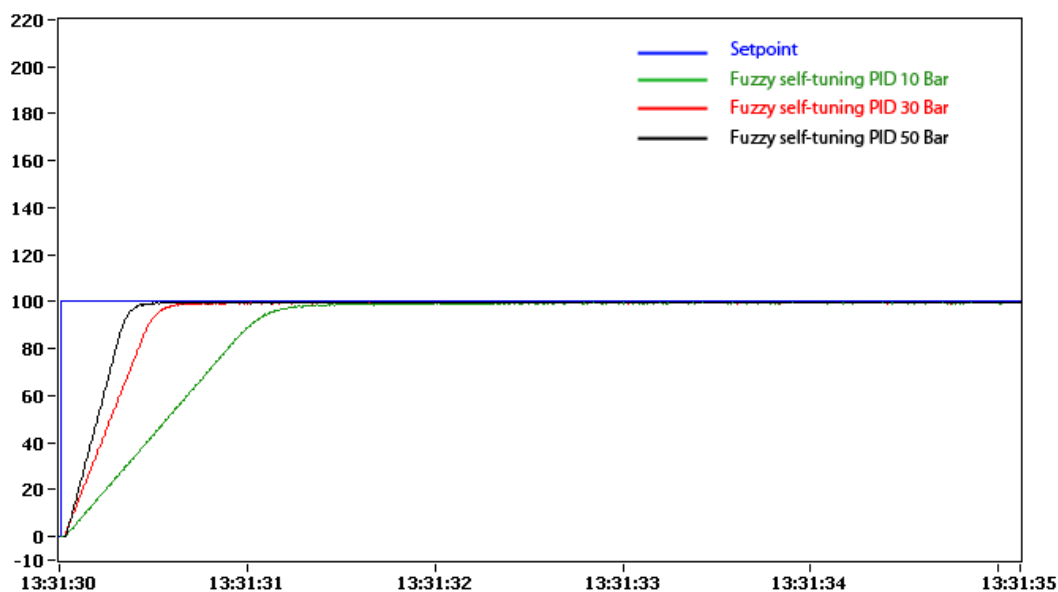
ผลที่ได้ทดลองโปรแกรมกับระบบไฮดรอลิก



ภาพที่ 4.16 ระบบควบคุมพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี่ที่ความดัน 10 bar ระยะ 150 mm



ภาพที่ 4.17 ระบบควบคุมพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี่ที่ความดัน 50 bar ระยะ 150 mm



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบระบบควบคุมพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซีที่ความดัน 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar

ทดลองใช้ พีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซีโดยใช้ Fuzzy 5x5 เมื่อ พารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนไป ระบบควบคุมสามารถรักษาการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ได้เหมือนเดิม โดยมีการปรับค่า เกนของ ตัวควบคุมแบบ พีไอดี คือ สามารถจูนค่า K_p และ K_d แบบ Auto ได้ แต่ ไม่สามารถจูนค่า K_i แบบ Auto ได้เนื่องจากระบบไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบ K_i เพราะระบบมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) น้อยมาก

4.6 ผลการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี

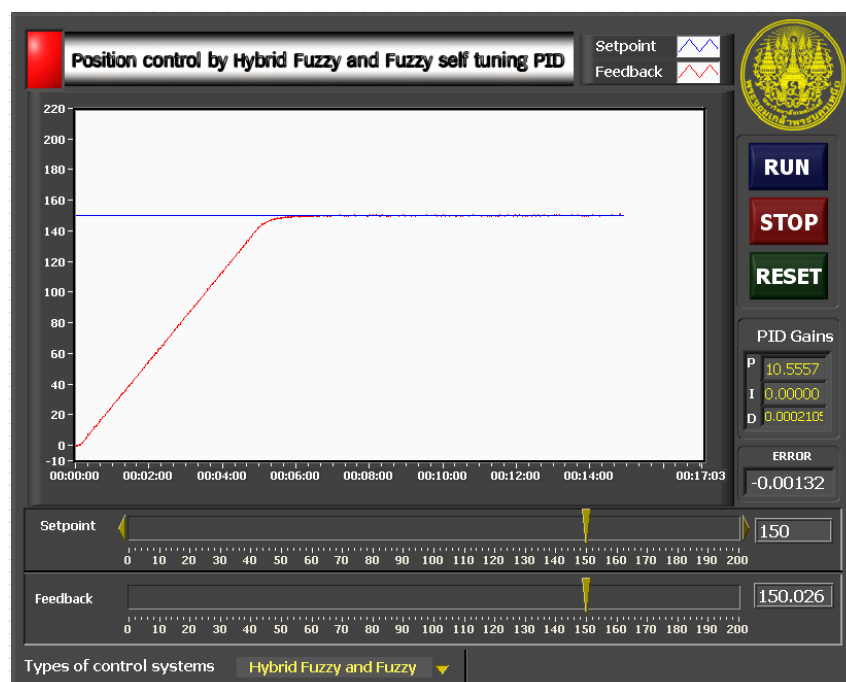
จำกัดความดันที่ 10 Bar, 30 Bar และ 50 Bar

ลำดับการทดลอง	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง						
		ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน			ค่าความผิดพลาด(Error) ที่ความดัน		
			10 Bar	30 Bar	50 Bar	10 Bar	30 Bar	50 Bar
1	0-50	50	49.905	49.944	49.924	0.005	0.003	0.003
2	50-0	0	0.060	-0.129	-0.175	-0.003	0.006	0.008
3	0-100	100	99.847	99.900	99.552	0.007	0.005	0.022
4	100-0	0	0.231	-0.083	-0.077	-0.011	0.004	0.003
5	0-150	150	149.895	150.033	150.013	0.005	-0.002	-0.0006
6	150-0	0	0.664	0.185	-0.031	-0.033	-0.009	0.001

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี
เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch

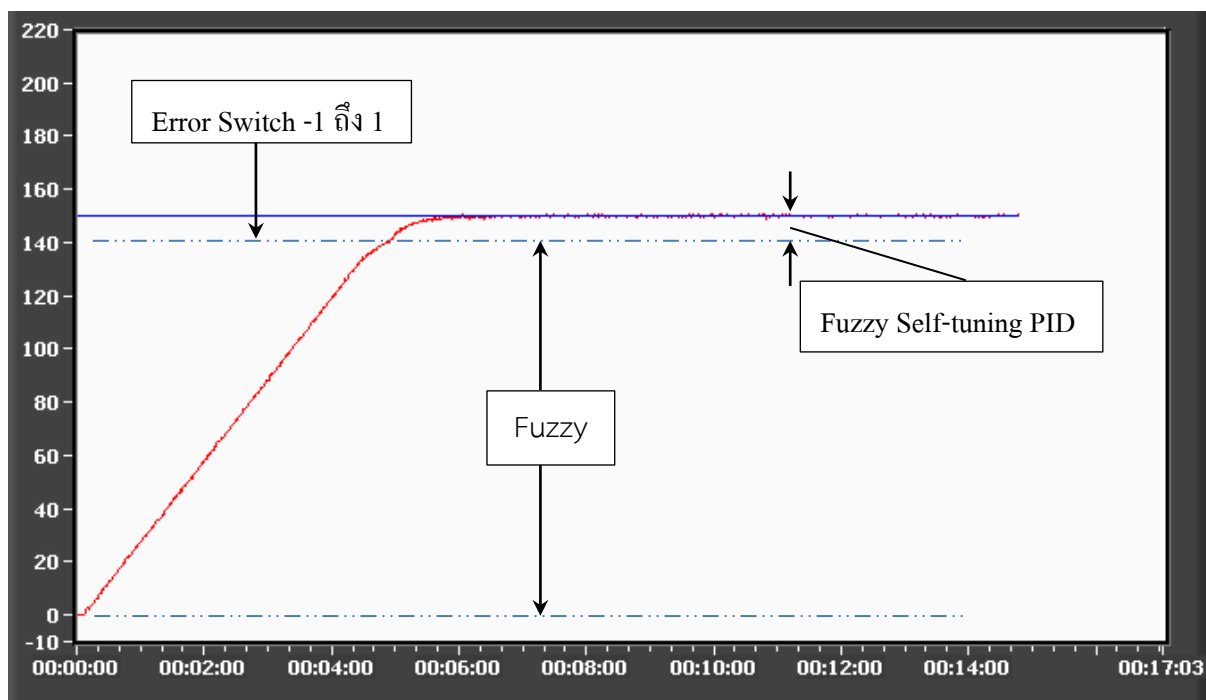
ลำดับการทดลอง	Error Switch	ระยะทางในการทดลอง (mm.)	ผลตอบสนองของการทดลอง				
			ระยะทาง (mm) set point	ระยะทาง(mm) Output ที่ความดัน		ค่าความผิดพลาด (Error) ที่ความดัน	
				10 Bar	50 Bar	10 Bar	50 Bar
1	-0.1 ถึง 0.1	0-100	100	99.932	99.873	0.003	0.006
2	-0.3 ถึง 0.3	0-100	100	100.261	100.058	-0.013	-0.002
3	-0.5 ถึง 0.5	0-100	100	99.907	99.887	0.004	0.005
4	-0.7 ถึง 0.7	0-100	100	99.959	99.913	0.002	0.004
5	-1 ถึง 1	0-100	100	100.031	100.077	-0.001	-0.003
6	-2 ถึง 2	0-100	100	99.795	99.821	0.010	0.008

ผลการทดลองใช้โปรแกรมกับระบบจริง

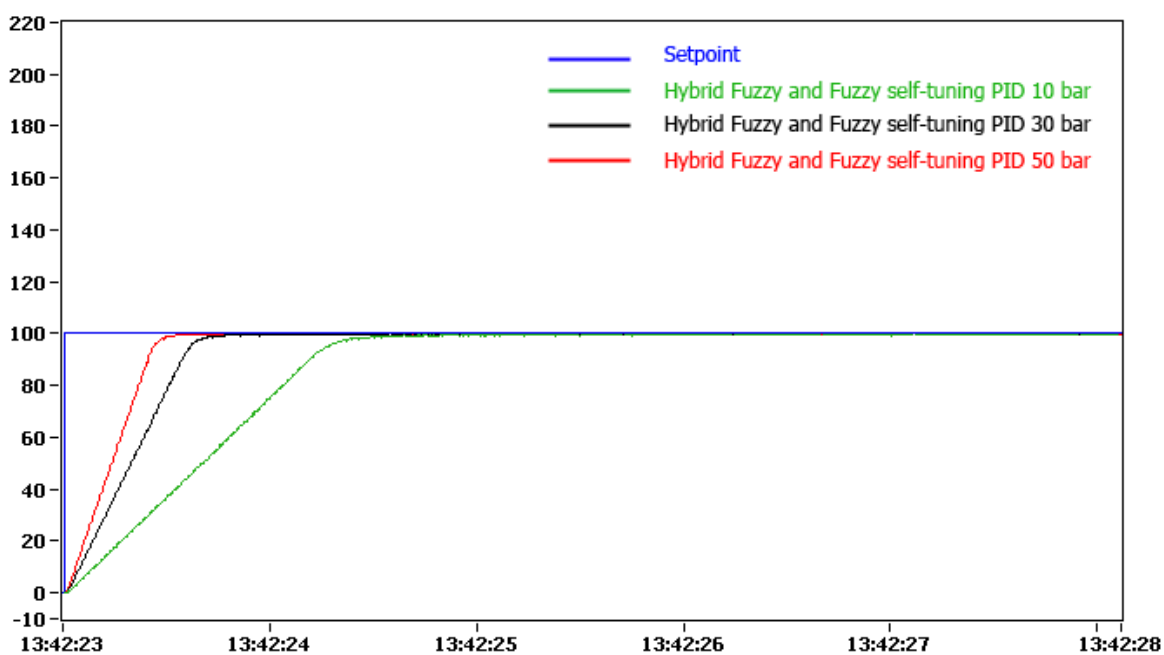


ภาพที่ 4.19 ไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซีที่ Error Switch -0.5 ถึง 0.5
ระยะ 150 mm ความดัน 30 bar

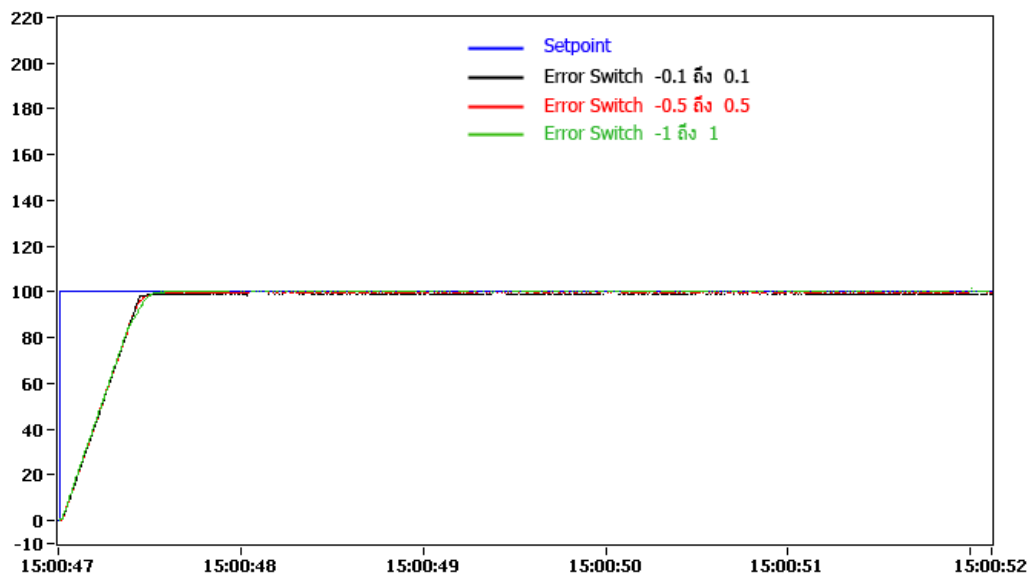
ที่ Error Switch -1 ถึง 1 ระยะ 150 mm ความดัน 30 bar



ภาพที่ 4.20 ช่วงการทำงานของระบบ ไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี



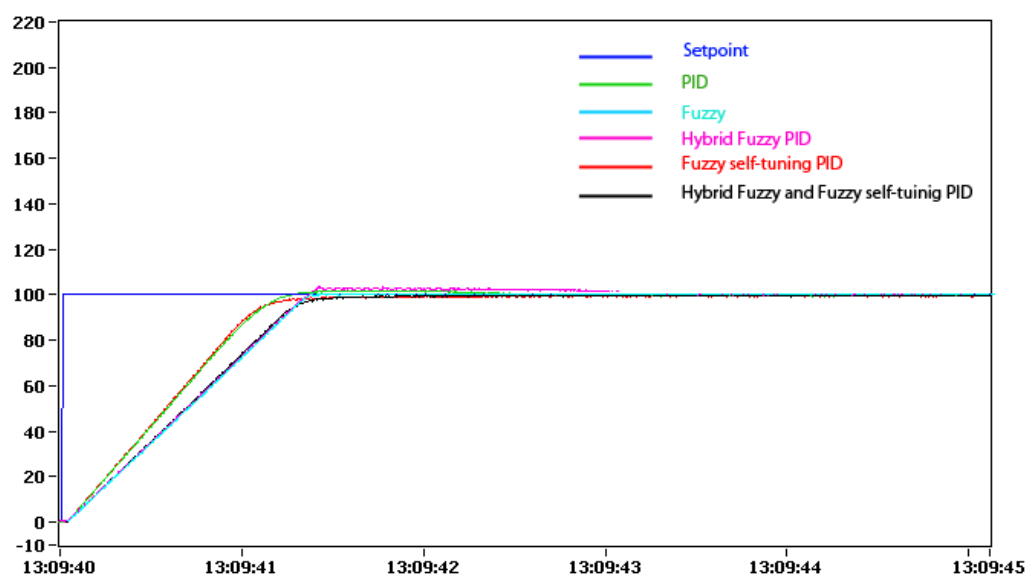
ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบระบบควบคุมไฮบริดแบบฟัซซีและพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี
ที่ความดัน 10 Bar ,30Bar และ 50 Bar



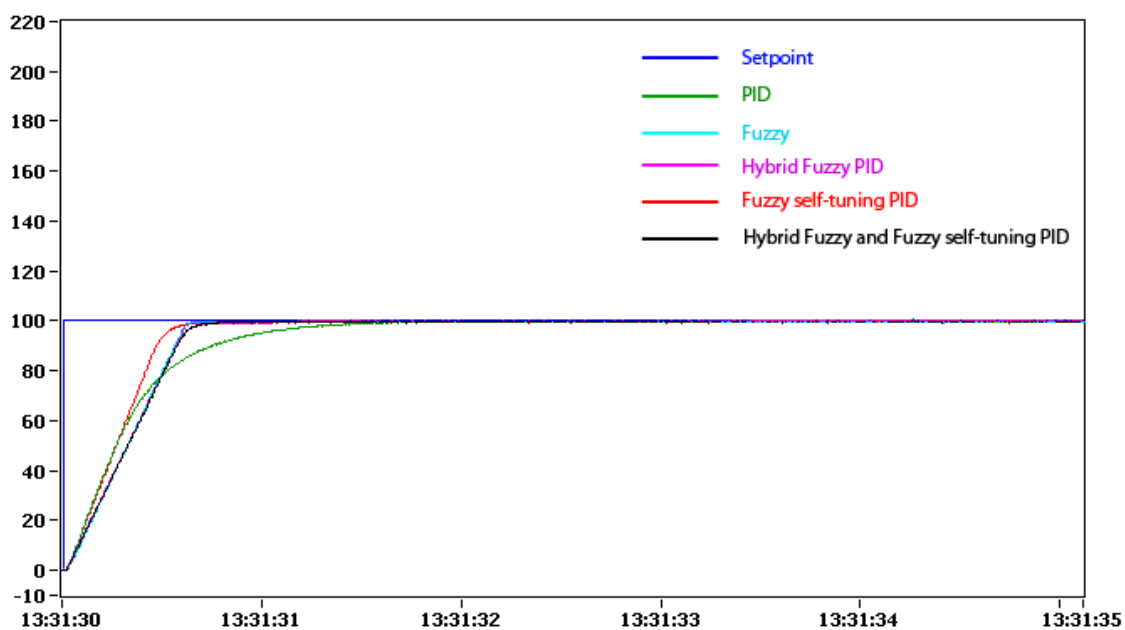
ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบระบบควบคุม ไฮบริดแบบฟัซซี่และพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี่ ที่ความดัน 50 bar เมื่อปรับเปลี่ยน Error Switch

ระบบควบคุมแบบ ไฮบริดแบบฟัซซี่และพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี่สามารถเลือกช่วงการทำงานเป็นสองทำงานได้คือ ขณะเริ่มให้เป็นระบบควบคุมแบบฟัซซี่และเมื่อถึงค่า Error Switch ที่กำหนดไว้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนไปใช้ระบบควบคุมแบบพีไอดีที่ปรับค่าด้วยฟัซซี่สามารถรักษาการเข้าสู่ค่าที่กำหนดไว้(Setpoint) ได้อย่างไม่มีค่าพุ่งเกิน(Over Shoot)

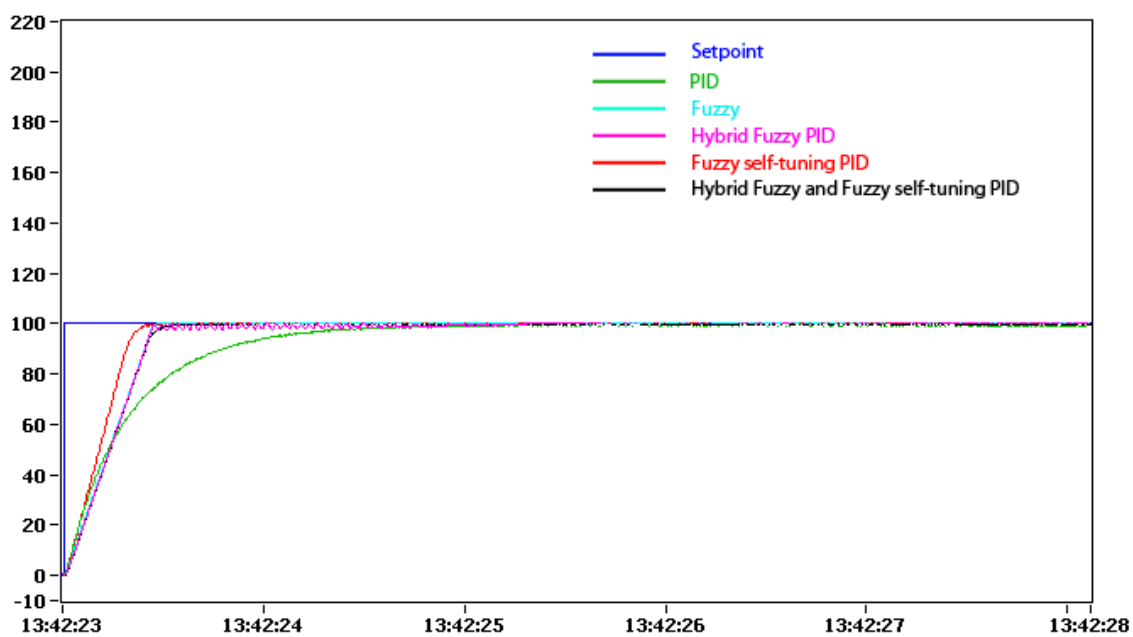
4.7 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบ



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 10 bar ระยะทาง 100 mm



ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 30 bar ระยะทาง 100 mm



ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบระบบควบคุมทั้ง 5 ระบบที่ความดัน 50 bar ระยะทาง 100 mm

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมทั้ง 5 ระบบ จำกัดความดันลมที่ 10 บาร์

ระบบควบคุม	ระยะทาง (mm.)	ผลตอบแทนของการทดลอง		$P.O.=\frac{M_o}{F_v}\times 100$ % Overshoot	Rise time (T_r)(s)	Time delay (T_d)(s)	Settling Time (T_s)(s)
		ระยะทาง(mm) Output	ค่าความผิดพลาด (Error)				
PID	0 -100	99.697	0.015	2.5	0.875	0.55	2.45
Fuzzy	0 -100	99.874	0.006	0	1	0.7	1.7
Hybrid Fuzzy PID	0 -100	99.889	0.001	3	1	0.7	3.05
Fuzzy Self-tuning PID	0 -100	99.513	0.024	0	0.825	0.55	2.6
Hybrid Fuzzy and Fuzzy self-tuning PID	0 -100	99.847	0.007	0	1	0.4	1.8

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองด้วยชุดควบคุมทั้ง 5 ระบบ จำกัดความดันลมที่ 50 บาร์

ระบบควบคุม	ระยะทาง (mm)	ผลตอบแทนของการทดลอง		$P.O.=\frac{M_o}{F_v}\times 100$ % Overshoot	Rise time (T_r)(s)	Time delay (T_d)(s)	Settling Time (T_s)(s)
		ระยะทาง(mm) Output	ค่าความผิดพลาด (Error)				
PID	0 -100	99.932	0.003	0	0.675	0.25	2.15
Fuzzy	0 -100	99.919	0.004	0	0.325	0.25	0.5
Hybrid Fuzzy PID	0 -100	99.952	0.002	0	0.325	0.25	2.6
Fuzzy Self-tuning PID	0 -100	99.860	0.006	0	0.25	0.2	0.525
Hybrid Fuzzy and Fuzzy self-tuning PID	0 -100	99.552	0.022	0	0.325	0.2	0.525