บทที่ 4
การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบระบบควบคุมระดับของเหลวนั้น เราสามารถใช้โปรแกรม Mathlab Version 5.3.1 ที่กล่าวไว้ตอนท้ายของบทที่ 3 ในการจำลองระบบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงาน และทำการทดลองหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมระบบ ซึ่งแบ่งเป็น 3 การทดลองดังนี้

4.1 การทดลองหาค่าคงที่ของการควบคุมแบบ PI

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 : จำลองระบบที่สภาวะ Steady State และเปลี่ยนค่า Setpoint แบบ Set Change

1. จำลองระบบโดยปรับค่า K_C ตั้งแต่ 0 จนกระทั่งระบบไม่เกิดความเสถียรภาพ บันทึกผลของพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ทุกค่าของ K_C
2. จากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบ พิจารณาเลือก K_C ที่เหมาะสมโดยค่าตัวแปรที่ใช้พิจารณาคือ Setting Time
3. ใช้ค่า K_C ที่เลือกจำลองระบบโดยปรับค่า τ_I ตั้งแต่ 1 จนกระทั่งระบบไม่เกิดความเสถียรภาพ บันทึกผลของพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ทุกค่าของ τ_I
4. จากพฤติกรรมของระบบพิจารณาค่า τ_I ที่เหมาะสมกับระบบ โดยค่าตัวแปรที่ใช้พิจารณา คือ Setting Time

ขั้นตอนที่ 2 : จำลองระบบที่สภาวะ Steady State และเปลี่ยนค่าอัตราการไหลขาเข้า แบบ Step Change

1. จำลองระบบโดยใช้ค่า K_C กับ τ_I ที่เลือกจากขั้นตอนที่ 1 บันทึกพฤติกรรมของระบบ
2. ทำการปรับค่า K_C อีกครั้งเพื่อให้พฤติกรรมของระบบดีขึ้น เลือกค่า K_C ที่เหมาะสม
3. ทำการปรับค่า τ_I อีกครั้งเพื่อให้พฤติกรรมของระบบดีขึ้น เลือกค่า τ_I โดยค่าตัวแปรที่ใช้พิจารณา คือ Setting Time, Decay Ratio และ Peak

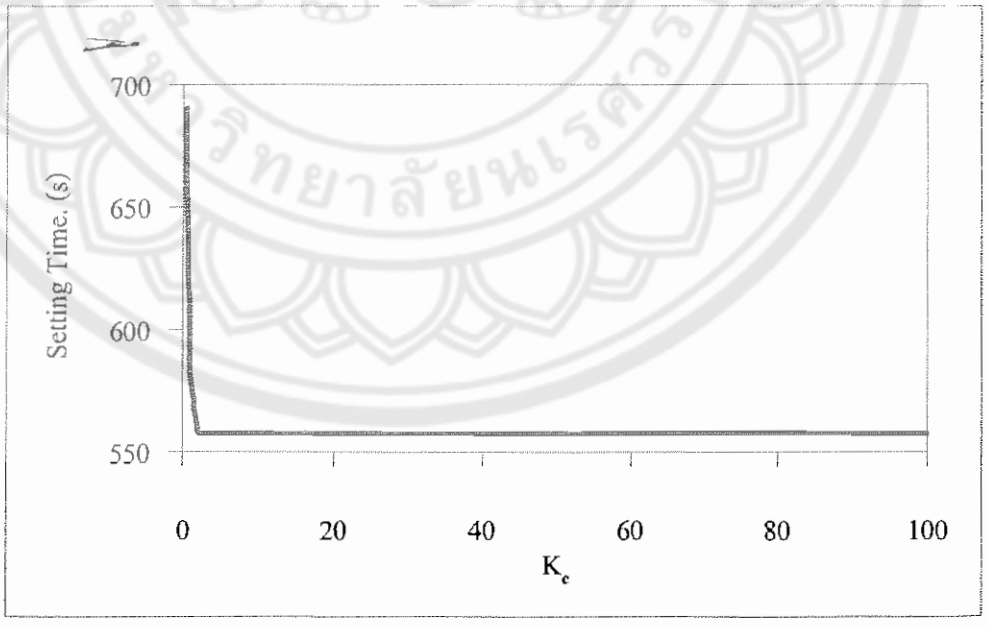
4.2 ผลการทดลองการหาค่าคงที่ของการควบคุมแบบ PI

ขั้นตอนที่ 1

➢ จากการศึกษาพฤติกรรมของระบบโดยการปรับค่า K_C ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และกราฟ 4.1

K_C	Setting Time	K_C	Setting Time
0.5	689.94	5	557.33
1	590.81	10	557.33
1.5	568.41	15	557.33
2	560.08	20	557.33
2.5	557.55	30	557.33
3	557.3	40	557.33
3.5	557.33	50	557.33
4	557.33	100	557.33
4.5	557.33		

ตาราง 4.1 แสดงการทดสอบหาค่า K_C เมื่อใช้ค่า $\tau_I = 42$



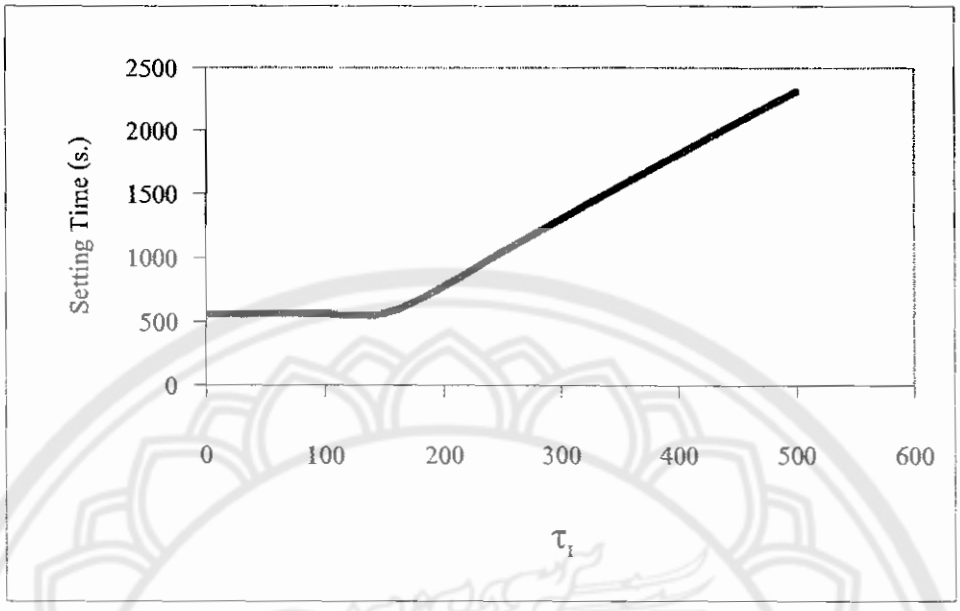
กราฟ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_C กับ Setting Time เมื่อใช้ค่า τ_I =42

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนค่า K_C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Setting Time น้อยมาก ดังนั้นสามารถเลือกปรับค่า K_C ได้ตั้งแต่ 2.5 ขึ้นไป ดังแสดงในกราฟ 4.1 แต่ขนาดของ K_C มีผลต่อการตอบสนองของตัวควบคุม คือ ถ้า K_C มีค่ามากการตอบสนองจะรุนแรงมากขึ้น ฉะนั้นจึงเลือก K_C ที่มีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.5

➢ เมื่อใช้ค่า K_C ที่เลือกทำการทดสอบเพื่อหาค่า τ_I ได้ผลดังตารางที่ 4.2

τ_I	Setting Time	τ_I	Setting Time
1	557.12	55	557.82
2	557.1	60	557.95
3	557.45	65	557.99
4	557.05	70	558.02
5	557.02	75	558.04
6	557.49	80	558.04
7	557.39	85	558.02
8	556.92	90	557.96
9	556.58	95	557.86
10	557.23	100	557.67
15	556.99	150	564.176
20	557.54	200	774.75
25	557.4	250	1041.96
30	556.74	300	1302.47
35	557.67	350	1559.923
40	557.66	400	1812.62
45	557.17	450	2064.53
50	**557.12**	**500**	**2315.87**

ตาราง 4.2 แสดงผลการทดลองหาค่า τ_I เมื่อค่า $K_C = 2.5$

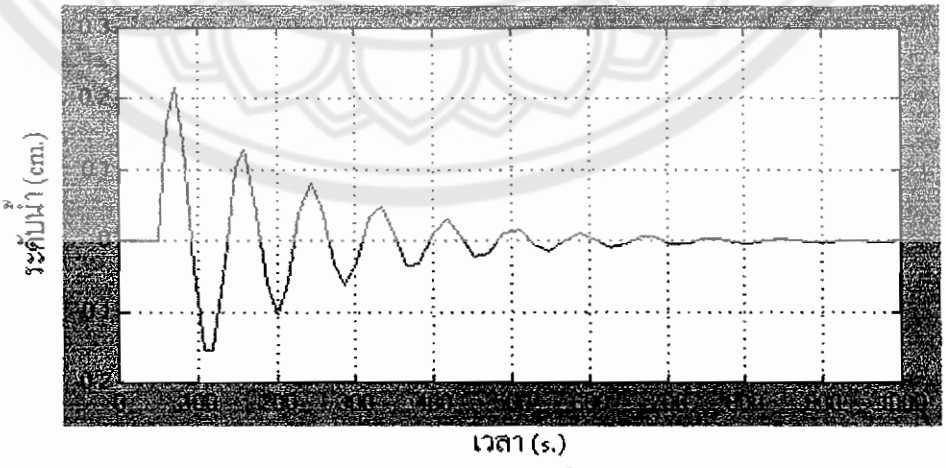


กราฟ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า τ_I กับ Setting Time เมื่อค่า $K_C = 2.5$

จากผลการทดลองปรับค่า τ_I โดยใช้ค่า $K_C = 2.5$ จากกราฟ 4.2 ค่า Setting Time มีแนวโน้มของ τ_I เป็นเส้นตรงในช่วง 0 ถึง 100 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ค่า τ_I มากกว่า100 ดังนั้นค่า τ_I ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

ขั้นตอนที่ 2

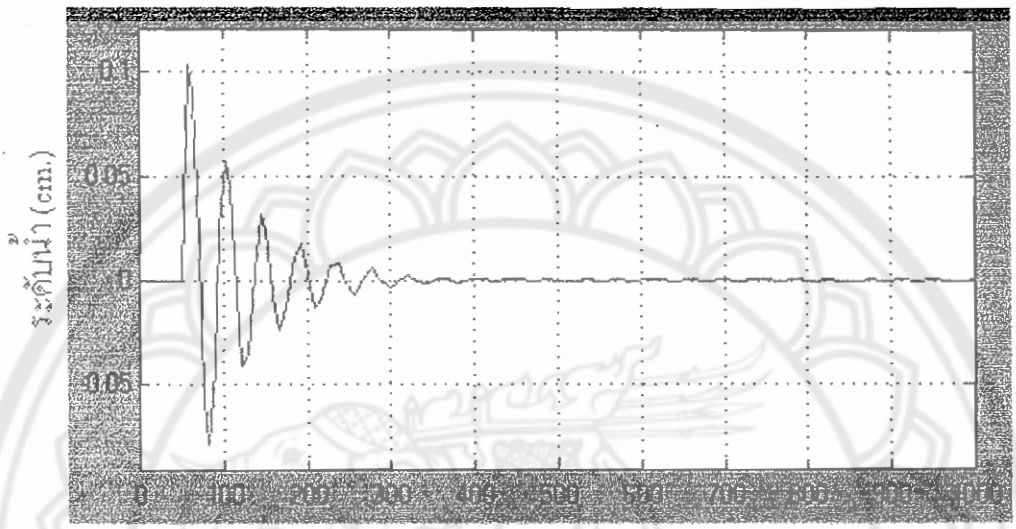
จากการทำงการทดลองพฤติกรรมระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลขาเข้า แบบ Step Change โดยใช้ค่า $K_C = 2.5$ และ $\tau_I = 1$ (τ_I ที่น้อยที่สุดของช่วงที่เหมาะสม) ได้ผลดังกราฟ 4.3



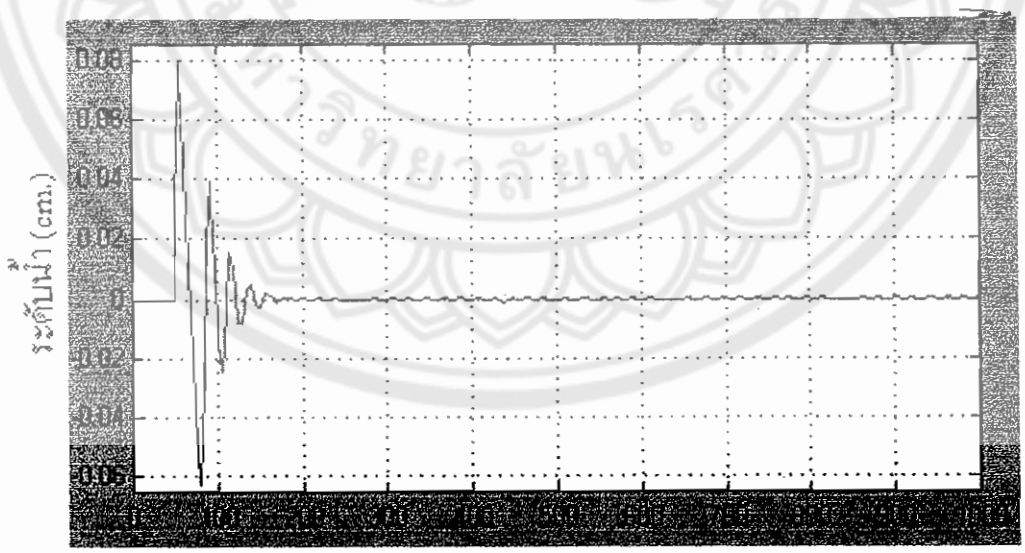
กราฟ 4.3 แสดงการตอบสนองของระบบที่ไม่เกิดความเสถียรภาพ

เมื่อใช้ $K_C = 2.5$ และ $\tau_I = 1$

จากกราฟ 4.3 จะเห็นว่าระบบขาดความเสถียรภาพ จึงต้องปรับค่า K_C และ τ_I อีกครั้ง เมื่อทดลองปรับค่า K_C พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า K_C ไม่มีผลต่อพฤติกรรมของระบบแสดงดังกราฟ 4.4 และ 4.5

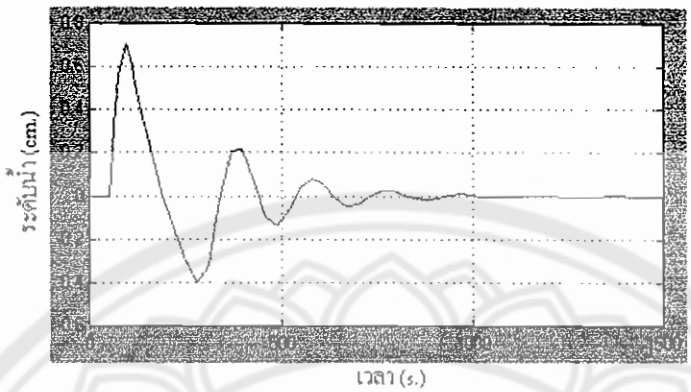


กราฟ 4.4 แสดงการตอบสนองของระบบที่ไม่เกิดความเสถียรภาพ
เมื่อใช้ค่า $K_C = 10$ และ $\tau_I = 1$



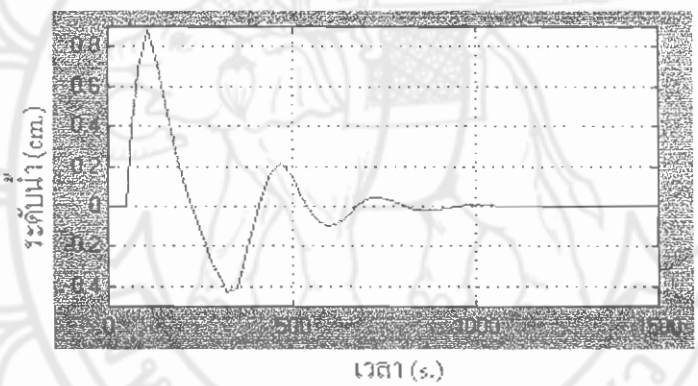
กราฟ 4.5 แสดงการตอบสนองของระบบที่ไม่เกิดความเสถียรภาพ
เมื่อใช้ค่า $K_C = 40$ และ $\tau_I = 1$

เมื่อทดลองปรับค่า τ_I เพิ่มขึ้นระบบจะเกิดความเสถียรภาพมากขึ้น ดังกราฟ 4.6, 4.7 และ 4.8



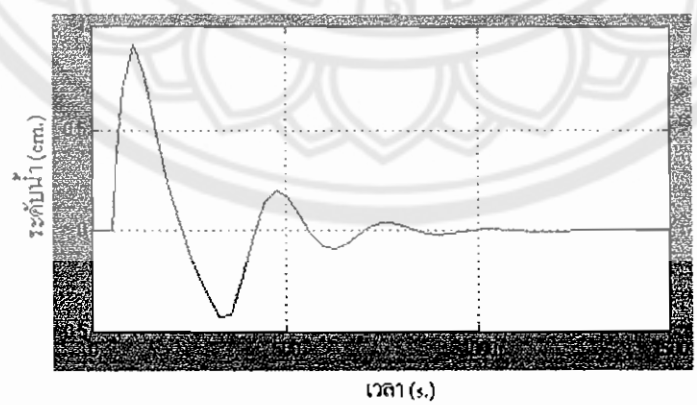
กราฟ 4.6 แสดงการตอบสนองของระบบ

เมื่อใช้ค่า $K_C = 2.5$ และ $\tau_I = 5$



กราฟ 4.7 แสดงการตอบสนองของระบบ

เมื่อใช้ค่า $K_C = 2.5$ และ $\tau_I = 9$



กราฟ 4.8 แสดงการตอบสนองของระบบ

เมื่อใช้ค่า $K_C = 2.5$ และ $\tau_I = 10$

➢ จากการทำการทดลองปรับค่าτ_I ได้ข้อมูลพฤติกรรมของระบบ ดังตาราง 4.3

K_C	τ_I	Peak	Decak Ratio	Setting Time
2.5	1	0.071	0.62	800
2.5	2	0.098	0.50	780
2.5	3	0.116	0.42	726
2.5	4	0.130	0.37	663
2.5	5	0.142	0.33	637
2.5	6	0.152	0.30	587
2.5	7	0.161	0.27	558
2.5	8	0.169	0.24	545
2.5	9	0.177	0.23	510
2.5	10	0.184	0.20	575
2.5	20	0.232	0.10	668
2.5	30	0.257	0.05	830
2.5	40	0.280	0.03	990
2.5	50	0.300	0.02	777
2.5	60	0.315	0.01	850
2.5	70	0.325	0.00	1460
2.5	80	0.332	0.00	1110
2.5	90	0.341	0.00	1250
2.5	100	0.350	0.00	1380

ตาราง 4.3 แสดงผลการทดลองปรับค่า K_C และ τ_I

จากพฤติกรรมของระบบที่ทำการศึกษา พบว่าระบบจะมีพฤติกรรมการตอบสนองที่ดีที่สุด คือ มีค่า Setting Time ต่ำ, ค่า Peak ต่ำ, และค่า Decay Ratio ไม่เกิน 0.25 และไม่แกว่งเมื่อระบบเข้าสู่เสถียรภาพ (Steady State) ในสภาวะใหม่

ดังนั้น ค่าคงที่ที่เลือกใช้ในการทดลองเป็นดังนี้

ค่าความรุนแรงของการตอบสนอง (K_C) = 2.5

อัตราการตอบสนองของระบบ (τ_I) = 9

4.3 การทดลองหาค่าการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI

ในการศึกษาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI หรือช่วงความสามารถในการควบคุมระบบเมื่อตัวแปรระบบ (Setpoint, อัตราการไหลขาเข้า) เปลี่ยนแปลงสามารถศึกษาได้จากการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของตัวแปรใน 2 รูปแบบ คือ สัญญาณแบบ Step Change และ Sine

4.3.1 การทดลองหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI เมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบ Step Change

ขั้นตอนที่ 1 : Setpoint เปลี่ยนแปลงแบบ Step Change, อัตราการไหลคงที่

1. ศึกษาพฤติกรรมของระบบโดยให้อัตราการไหลขาเข้าคงที่ คือ 9.7 cm^3/s
2. ปรับค่า Setpoint (การเปลี่ยนค่าระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ ที่ต้องการให้ระบบตอบสนอง) ตั้งแต่ –7 ถึง 7 บันทึกพฤติกรรมของระบบ
3. จากพฤติกรรมของระบบเลือกขอบเขตการเปลี่ยนแปลงค่า Setpoint ที่ตัวควบคุมได้ระดับน้ำเข้าสู่ Setpoint ที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2 : อัตราการไหลขาเข้า เปลี่ยนแบบ Step Change, Setpoint คงที่

1. ศึกษาพฤติกรรมของระบบโดยให้ Setpoint คงที่ คือ 25 cm.
2. ปรับค่าอัตราการไหลขาเข้า (การเปลี่ยนอัตราการไหลของปั๊ม) ตั้งแต่ 0 ถึง 19.3 cm^3/s บันทึกพฤติกรรมของระบบ
3. จากพฤติกรรมของระบบเลือกขอบเขตการเปลี่ยนแปลงค่า อัตราการไหลที่ตัวควบคุมสามารถควบคุม ให้ระดับน้ำเข้าสู่ Setpoint ที่กำหนด

4.3.2 การทดลองหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Sine

สำหรับการทดสอบสัญญาณป้อนเข้าแบบ Sine จะทำการทดสอบกับอัตาการไหลเข้าเพียงตัวเดียว เนื่องจากการตั้งค่า Sepoint ไม่นิยมตั้งค่าการเปลี่ยนแปลงแบบ Sine

1. ศึกษาพฤติกรรมของระบบโดยให้ Setpoint คงที่ ที่ค่าขอบเขตล่าง และขอบเขตของช่วงการเปลี่ยนแปลง Setpoint ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 ขั้นตอนที่ 1

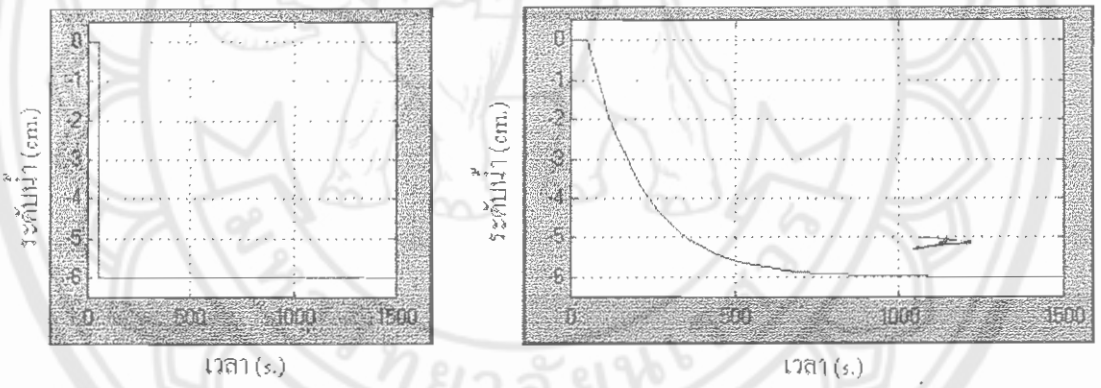
2. ปรับค่าสัญญาณป้อนเข้า (อัตราการไหลขาเข้า) แบบ Sine เพื่อหาค่าสูงสุดของค่า Amplitude ที่ตัวควบคุมระบบได้ โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวของระดับน้ำต้องไม่เกิน $\pm$ 5% ของ Setpoint ที่ตั้งไว้

4.4 ผลการทดลองการหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI

4.4.1 ผลการทดลองหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI เมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบ Step Change

ขั้นตอนที่ 1

- จากการทดลองหาพฤติกรรมการตอบสนองของระบบเมื่อให้อัตราการไหลคงที่ คือ 9.7 cm^3/s ปรับค่า Setpoint พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint น้อยที่สุด เมื่อให้สัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change ได้ดังกราฟ 4.9

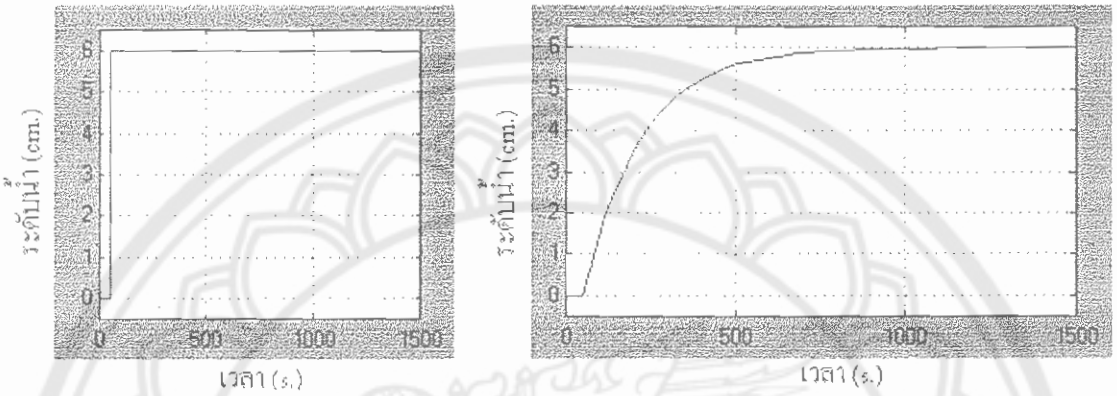


กราฟ 4.9 แสดงพฤติกรรการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint น้อยที่สุดที่ระบบควบคุมสามารถควบคุมได้เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change

- จากกราฟ 4.9 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

Rise Time	=	1180	s
Setting Time	=	557	s
Setpoint	=	-6	cm^3/s

➢ จากการทดลองหาพฤติกรรมการตอบสนองของระบบเมื่อให้อัตราการไหลคงที่ คือ 9.7 cm^3/s ปรับค่า Setpoint พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint มากที่สุด เมื่อให้สัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change ได้ผลดังกราฟ 4.10



สัญญาณป้อนเข้า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

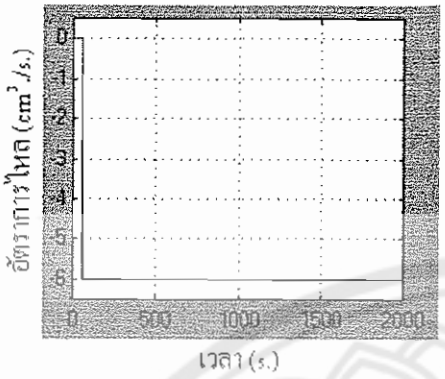
กราฟ 4.10 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint มากที่สุดที่ระบบสามารถควบคุมได้ เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Step change

➢ จากกราฟ 4.10 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

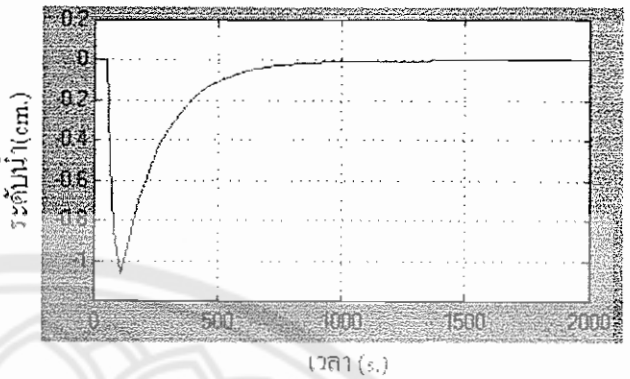
Rise Time	=	1188	s.
Setting Time	=	556	s.
Setpoint น้อยที่สุด	=	6	cm^3/s.

ขั้นตอนที่ 2

➢ จากการทดลองหาพฤติกรรมการตอบสนองของระบบเมื่อให้ Setpoint คือ 25 cm. ปรับอัตราการไหล พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint น้อยที่สุด เมื่อให้สัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change ได้ผลดังกราฟ 4.11



สัญญาณป้อนเข้า



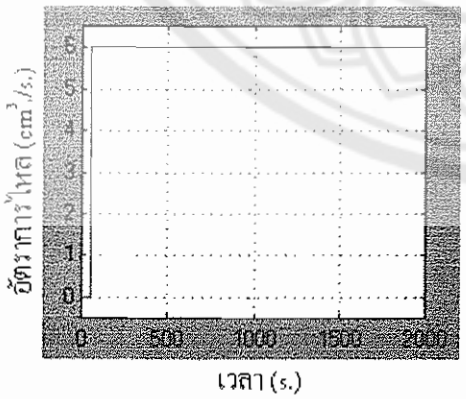
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

กราฟ 4.11 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า อัตราการไหล น้อยที่สุด ที่ระบบสามารถควบคุมได้ เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change

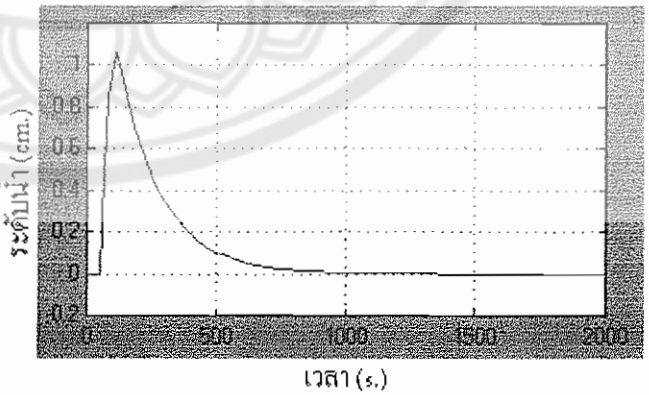
- จากกราฟ 4.11 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

Rise Time	=	1522	s.
Setting time	=	1018	s.
อัตราการไหล น้อยที่สุด	=	-6	$cm^3/s.$

- จากกราฟ 4.11 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบเมื่อให้ Set point คือ 25 cm. ปรับค่า อัตราการไหล พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Sepoint มากที่สุด เมื่อให้สัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change ได้ผลดังกราฟ 4.12



สัญญาณป้อนเข้า



การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถังแสดงระดับน้ำ

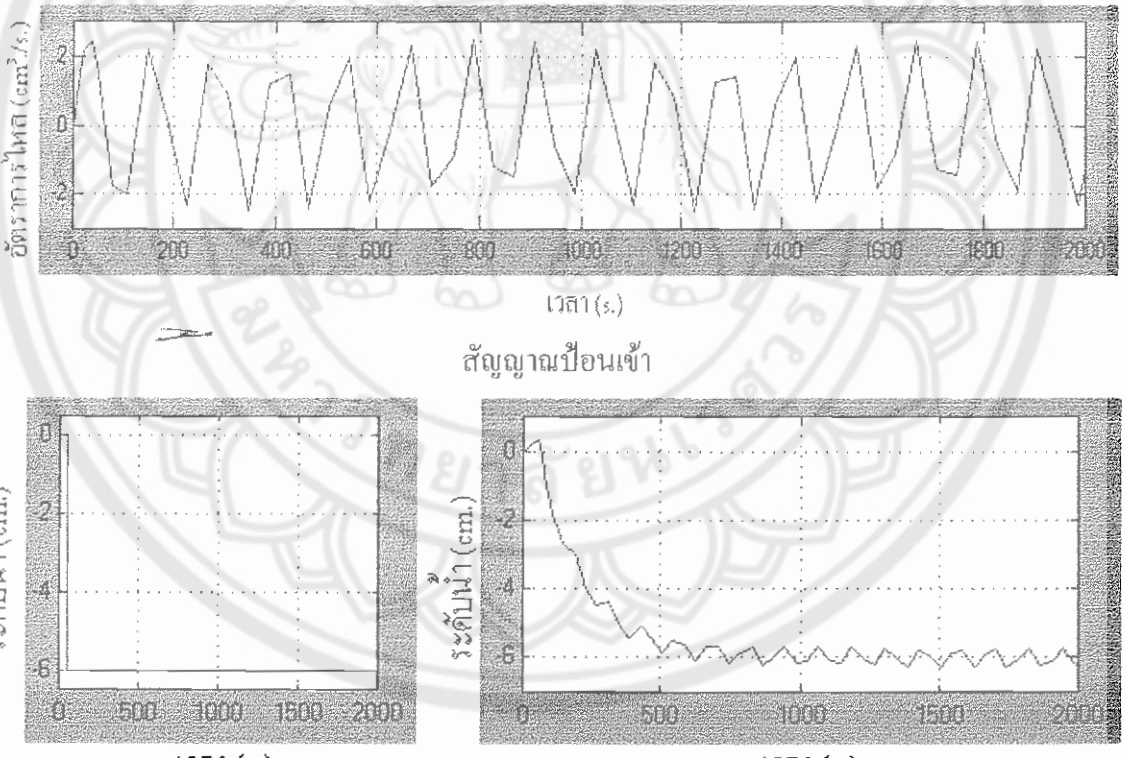
กราฟ 4.12 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า อัตราการไหล มากที่สุด ที่ระบบสามารถควบคุมได้เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Step Change

➢ จากกราฟ 4.12 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

Rise Time	=	1122	s.
Setting Time	=	1017	s.
อัตราการไหล มากที่สุด	=	6	$cm^3/s.$

4.4.2 ผลการทดลองหาช่วงการทำงานของตัวควบคุมแบบ PI เมื่อสัญญาณป้อนเข้าเป็นแบบ Sine

➢ จากการทดลองปรับค่าสัญญาณป้อนเข้าแบบ Sine เพื่อหาค่าสูงสุดของค่า Amplitude ที่ตัวควบคุมสามารถควบคุมได้ โดยพิจารณา setpoint น้อยที่สุด และใช้ความถี่ = 0.05 rad./s. ได้ผลดังกราฟ 4.13

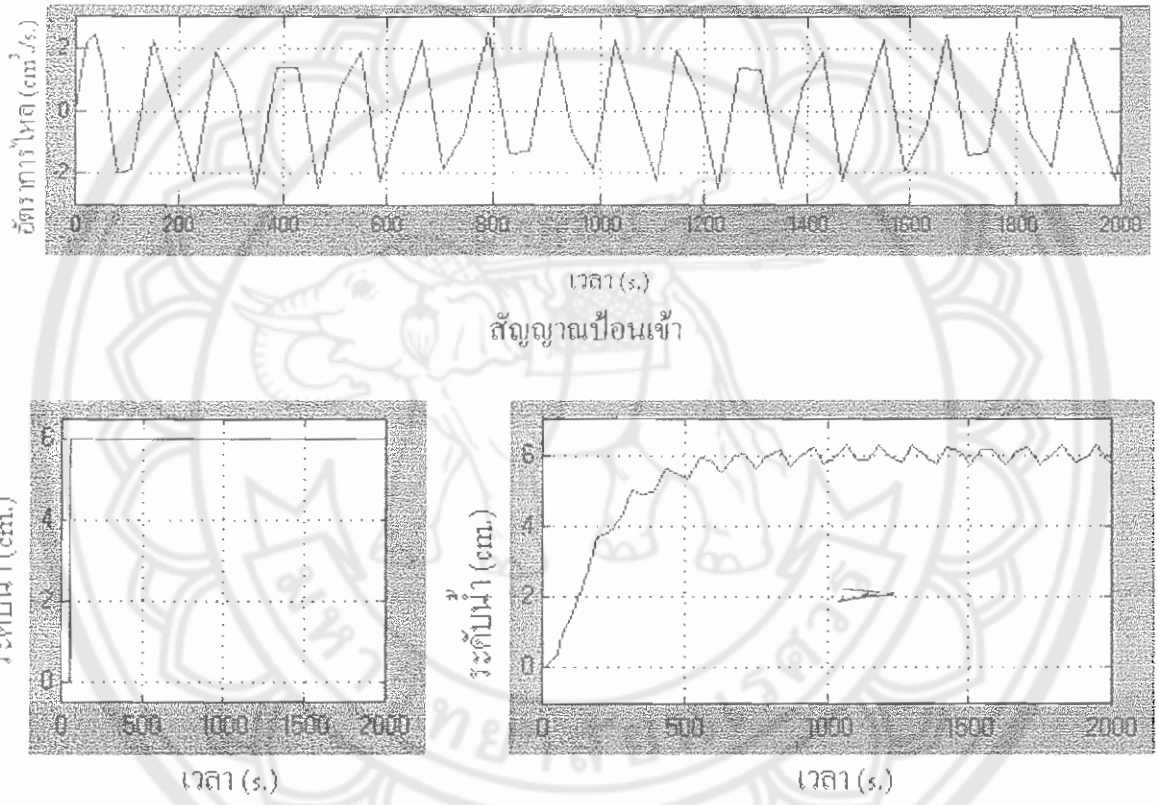


กราฟ 4.13 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint น้อยที่สุด ที่ระบบสามารถควบคุมได้ เมื่อสัญญาณป้อนเข้าเป็นแบบ Sine

➢ จากกราฟ 4.13 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

Rise Time	=	1005	s.
Setting Time	=	1005	s.
Amplitude มากที่สุด	=	2.5	$cm^3/s.$

➢ จากการทดลองปรับค่าสัญญาณป้อนเข้าแบบ Sine เพื่อหาค่าสูงสุดของค่า Amplitude ที่ตัวควบคุมสามารถควบคุมได้ โดยพิจารณาจาก setpoint มากที่สุด และใช้ความถี่ = 0.05 rad./s. ได้ผลดังกราฟ 4.14



กราฟ 4.14 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ค่า Setpoint มากที่สุด ที่ระบบสามารถควบคุมได้ เมื่อสัญญาณป้อนเข้าแบบ Sine

➢ จากกราฟ 4.14 พฤติกรรมการตอบสนองของระบบสามารถสรุปได้ดังนี้

Rise Time	=	1320	s.
Setting Time	=	1320	s.
Amplitude มากที่สุด	=	2.5	$cm^3/s.$

4.5 สรุปผลการทดลอง

4.5.1 การทดสอบหาค่าคงที่ของการควบคุมแบบ PI ได้ค่าคงที่ของการควบคุมดังนี้

- ค่าคงที่สำหรับความรุนแรงของการตอบสนอง (K_c) = 2.5
- ค่าคงที่สำหรับความรวดในการตอบสนอง (τ_I) = 9

4.5.2 การทดสอบเพื่อหาช่วงการทำงานที่ระบบสามารถควบคุมได้ (แสดงในหัวข้อ 4.2) เมื่อสัญญาณป้อนเข้าเป็นแบบ Step Change พบว่าตัวควบคุมที่ออกแบบ สามารถรองรับค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลขาเข้าแบบ Step Change ได้ในช่วง 3.7-15.6 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อวินาที และสามารถปรับตั้งค่าระดับของเหลวที่จะควบคุมได้ตั้งแต่ 19- 31 เซนติเมตร

4.5.3 การทดสอบเพื่อหาช่วงการทำงานที่ระบบสามารถควบคุมได้ (แสดงในหัวข้อ 4.3) เมื่อสัญญาณป้อนเข้าเป็นแบบ Sine พบว่าช่วง Amplitude ของสัญญาณป้อนเข้าที่ตัวควบคุมสามารถควบคุมได้ คือ 2.5 cm^3/s.